

## IMPACTO ANTRÓPICO NOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: UMA ANÁLISE GEOESPACIAL DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

**Camilla Siqueira da Fonseca**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil

E-mail: [camillasfsf@hotmail.com](mailto:camillasfsf@hotmail.com)

**Viviane Souza do Amaral**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil

E-mail: [vi.mariga@gmail.com](mailto:vi.mariga@gmail.com)

**Julio Alejandro Navoni**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil

E-mail: [navoni.julio@gmail.com](mailto:navoni.julio@gmail.com)

### Resumo

O estado do Rio Grande do Norte (RN) possui em grande parte do seu território regiões semiáridas com déficit hídrico e vulnerabilidade socioambiental. Dentro desta perspectiva, este estudo teve como objetivo verificar o impacto antrópico sobre a vulnerabilidade ambiental de reservatórios de água utilizados para abastecimento público através de uma análise geoespacial do uso e ocupação e da qualidade da água no período compreendido entre os anos de 2008 e 2017. Atividades de mineração, loteamento urbano, piscicultura e indústria de cerâmica, apresentaram um crescimento polarizado, destacando o crescimento generalizado da agricultura. Mudanças físico-químicas e microbiológicas foram documentadas, demonstrando a degradação ambiental dos reservatórios. Como fator mais relevante observado salienta-se a ausência de controle ambiental representada pela invasão das Áreas de Proteção Ambiental, incrementando o potencial poluidor sobre os recursos hídricos. Assim, esta pesquisa fornece um panorama da vulnerabilidade socioambiental da região, destacando a necessidade da implementação de políticas públicas visando a recuperação, manejo e preservação dos recursos hídricos.

**Palavras-chaves:** Semiárido; Uso e ocupação do solo; Degradação ambiental.

## ANTHROPIC IMPACT ON WATER RESOURCES IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE: A GEOSPATIAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY

### Abstract

The state of Rio Grande do Norte (RN) has a large part of its territory in semi-arid regions with water deficit and socio-environmental vulnerability. Within this perspective, this study aimed to verify the anthropogenic impact on the environmental vulnerability of water reservoirs used for public supply through a geospatial analysis of use and occupation and water quality in the period between 2008 and 2017. Mining activities, urban subdivisions, fish farming and the ceramics industry showed polarized growth, highlighting the widespread growth of agriculture. Physicochemical and microbiological changes were documented, demonstrating the environmental degradation of the reservoirs. The most relevant factor observed is the lack of environmental control represented by the invasion of Environmental Protection Areas, increasing the polluting potential of water resources. Thus, this research provides an overview of the region's socio-environmental vulnerability, highlighting the need to implement public policies aimed at the recovery, management, and preservation of water resources.

**Keywords:** Semiarid; Use and occupation of soil; Environmental degradation.

## **IMPACTO ANTRÓPICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ESTADO DE RIO GRANDE DO NORTE: UN ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL**

### **Resumen**

El estado de Rio Grande do Norte (RN) tiene gran parte de su territorio en regiones semiáridas con déficit hídrico y vulnerabilidad socioambiental. Dentro de esta perspectiva, este estudio tuvo como objetivo verificar el impacto antropogénico sobre la vulnerabilidad ambiental de los embalses de agua utilizados para el abastecimiento público a través de un análisis geoespacial del uso y ocupación y la calidad del agua en el período comprendido entre 2008 y 2017. Actividades mineras, fraccionamientos urbanos, piscicultura. y la industria cerámica mostró un crecimiento polarizado, destacando el crecimiento generalizado de la agricultura. Se documentaron cambios fisicoquímicos y microbiológicos, demostrando la degradación ambiental de los embalses. El factor más relevante observado es la falta de control ambiental representada por la invasión de Áreas de Protección Ambiental, aumentando el potencial contaminante de los recursos hídricos. Así, esta investigación brinda un panorama de la vulnerabilidad socioambiental de la región, destacando la necesidad de implementar políticas públicas orientadas a la recuperación, gestión y preservación de los recursos hídricos.

**Palabras-clave:** Semiárido; Uso y ocupación del suelo; Degradación ambiental.

### **Introdução**

A problemática em torno da água, sua escassez e qualidade, torna essa questão ainda maior quando ligada a outros fatores como à distribuição desigual territorial e às exigências incessantes de consumo, principalmente nos sistemas produtivos, já que não há água suficiente disponível em algumas regiões (KUMMU et al., 2010). Um exemplo é o estado do Rio Grande do Norte - RN, situado no semiárido nordestino brasileiro, com aproximadamente 3,4 milhões de habitantes, dispendo de uma das menores reservas hídricas a nível nacional, com uma disponibilidade de água de 2 m<sup>3</sup>/hab ano, significativamente menor que o recomendando pela Organização das Nações Unidas que é de 1000 m<sup>3</sup>/hab ano (MARENCO et al., 2011).

A região sofre com condições climáticas relacionadas a fenômenos de secas, devido aos baixos índices pluviométricos anuais (MARTINS; MAGALHÃES; FONTENELE, 2017). Com o intuito de mitigar as consequências do déficit hídrico na região, foram construídos reservatórios dirigidos a armazenar água de chuva para contribuir com o desenvolvimento humano local (LIMA et al., 2013; CAMPOS, 2014).

No entanto, o binômio quantidade e qualidade de água tem que ser considerado. Essa região, por exemplo, apresenta características geogênicas somadas as atividades antrópicas desenvolvidas que podem ser potencialmente prejudiciais para o ambiente, pois liberam metais pesados e outros poluentes causando poluição e contaminação hídrica e

consequentemente podendo ter impactos sobre a saúde da população associada. (FERNANDEZ-LUQUEÑO et al., 2013; DÍAZ-MARTÍNEZ; GRANADA-TORRES, 2018). De fato, estima-se que cerca de 80% de todas as enfermidades e mais de 35% dos óbitos ocorridos nos países em desenvolvimento são causados pelo consumo de água contaminada, como é o caso do Brasil (KHAN et al., 2013; DÍAZ-MARTÍNEZ; GRANADA-TORRES, 2018; TEIXEIRA et al., 2020). Portanto, não só a ausência, escassez ou abundância de água delimita um fator social para o desenvolvimento da comunidade dependente, mas um determinante sanitário relacionado a presença e disseminação de tóxicos e patógenos através deste veículo (REBOUÇAS, 2001; NAVONI et al., 2014; CHAVES et al., 2016; MARCON et al., 2017).

Um conceito a ser incorporado para analisar estas questões é o de vulnerabilidade socioambiental que pode ser definido como a coexistência, cumulatividade ou sobreposição espacial de situações de pobreza/privação social e de situações de exposição a risco e/ou degradação ambiental (COSTA; MACHADO, 2017), que pode ser considerada para interpretar o cenário do estudo no semiárido, onde encontra-se situado mais da metade dos brasileiros em situação de extrema pobreza, definindo uma população vulnerável. Desta forma, o Rio Grande do Norte apresenta um conjunto de fatores determinantes que precisam ser considerados a fim de que se possa avaliar a vulnerabilidade da população, associada ao desenvolvimento sustentável da região, tendo como eixo a disponibilidade e a qualidade hídrica.

Para o entendimento do processo de desenvolvimento socioambiental, é necessário um diagnóstico dinâmico, envolvendo um olhar multidisciplinar que considere fatores econômicos, sociais, sanitários e ambientais, subsidiando informações vitais para a tomada de decisões relacionadas com mudanças de padrões e ações que resultem na redução dos impactos associados a esses setores (ZANATTA; LUPINACCI; BOIN, 2016). Dentro desse contexto, a utilização de geotecnologias no estudo da vulnerabilidade ambiental contribui de forma rápida, precisa e econômica na análise de fatores e características ambientais que auxiliem a gestão, planejamento e a conservação dos recursos naturais, por meio do ordenamento e monitoramento territorial (TEIXEIRA et al., 2012, FREITAS et al., 2012; COSTA, SOUZA E SILVA, 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade ambiental decorrente do desenvolvimento humano, considerando os distintos fatores

envolvidos no uso e ocupação do território, a qualidade físico-química dos recursos hídricos, assim como as características geogênicas e condições climáticas regionais.

## **Material e Método**

### **Caracterização Geral da Área de Estudo**

O Rio Grande do Norte está situado no semiárido nordestino do Brasil, com um território de 58.811,126 km<sup>2</sup>, subdividido em 167 municípios. A densidade demográfica de 59,99 hab/km<sup>2</sup> e a maior parte da população se encontra em área urbana (77,81%). O IDH do estado é considerado médio (0,684), já a incidência de pobreza extrema em 2010, era de 13%, com elevado grau de analfabetismo e um dos piores valores de taxa de mortalidade infantil brasileiro (IBGE, 2010).

Quanto ao clima, o estado apresenta precipitação que varia de 400 a 800 mm/ano, com média acumulativa inferior a 600 mm/ano, apresentando nos últimos 6 anos a pior e mais devastadora seca das últimas décadas (MARTINS, 2015; MARENGO et al., 2011; MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). Os biomas da região são a Mata Atlântica e a Caatinga, sendo a última predominante na maior parte do estado, cerca de 80%. A vegetação em geral é caducifólia, xerófila, variando com o solo e disponibilidade de água (LEAL, TABRELLI; SILVA, 2003).

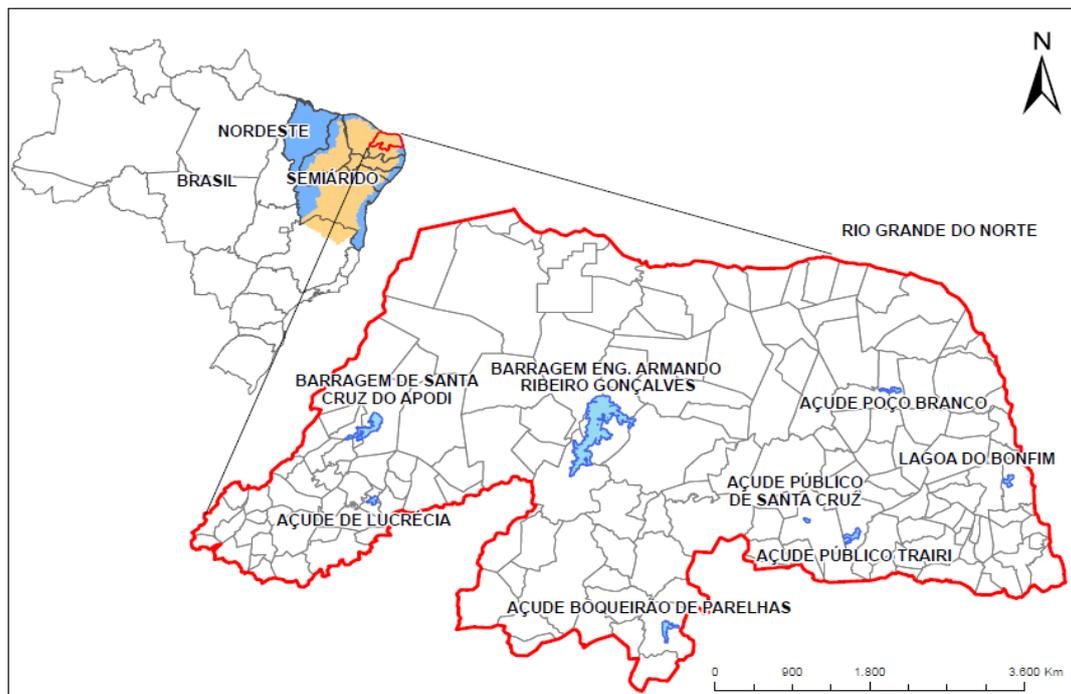
O Rio Grande do Norte está inserido no semiárido nordestino, região cuja economia gira, em sua maior parte, em torno da atividade agropecuária, caracterizada por atividades pastoris, predominando a criação de gado bovino e ruminantes e a cultura de espécies resistentes aos períodos de seca, como o algodão e carnaúba, ou grãos e fruticulturas em áreas mais úmidas (CNI, 2017). Especificamente no estado objeto deste estudo, o Rio Grande do Norte, as atividades econômicas são bem diversificadas, com destaque para a produção mineral e petrolífera, salineira, têxtil, bebidas, agroindústrias, indústrias alimentícias, cerâmica, e de energias limpas como a eólica e a solar (CNI, 2017).

### **Procedimentos Metodológicos**

Para a realização do estudo foram escolhidos oito dentre os principais reservatórios do Rio Grande do Norte, levando em consideração sua importância para abastecimento público e dessedentação animal, sua distribuição espacial (Figura 1), além das suas

características físicas e estratégicas representado pela disponibilização de água doce superficial para mais da metade dos municípios do estado.

**Figura 1.** Localização da área de estudo e dos reservatórios de água selecionados para a realização do estudo.



**Fonte:** Adaptado dos dados fornecidos pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte.

O estudo foi de tipo longitudinal retrospectivo, com o intuito de descrever e comparar a variação espaço-temporal dos usos e ocupações do solo do em torno dos reservatórios selecionados no Rio Grande do Norte, como também a qualidade da água destes. A análise geoespacial foi desenvolvida por meio do mapeamento dos reservatórios, considerando uma área perimetral de 5 Km a partir dos seus limites, descrevendo a Área Diretamente Afetada (ADA), de acordo com a resolução CONAMA 01/86, que estabelece definições, responsabilidades, critérios e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (CONAMA, 1986).

A análise geoespacial foi realizada através da geração de mapas temáticos de uso e ocupação do solo, considerando as principais atividades produtivas desenvolvidas na região, mediante a utilização do software ArcGIS 10.3 ESRI<sup>1</sup>, permitindo integrar os dados de

<sup>1</sup> O material foi georreferenciado utilizando o Datum SIRGAS 2000 UTM – Zona 24S, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG

sensoriamento remoto, utilizando imagens do sensor TM-Landsat 5 para os anos de 2008 e 2017, dados cartográficos fornecidos pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2017), além de informações adicionais utilizadas na descrição da qualidade da água dos reservatórios supracitados, obtidas da base de dados do programa Água Azul (IDEMA, 2008 - 2017). A confiabilidade das informações obtidas no geoprocessamento foi avaliada por meio de visitas a campo.

## **Resultados e Discussões**

O desenvolvimento humano é uma questão política e social que se baseia na expansão das capacidades das pessoas (CAVALCANTI; TREVISAM, 2019), traz impresso o implacável impacto na qualidade ambiental. Atividades como desmatamento, queimadas, práticas agrícolas perniciosas, mineração extrativistas agressivas, ocupações urbanas generalizadas e lançamento de efluentes são alguns exemplos das diversas ações antrópicas que causam efeitos negativos na qualidade ambiental (ABRAMOVAY, 2010; BRITTO; JACOBS, 2011) e que são impulsionadas pela economia.

Neste trabalho foram avaliadas as atividades socioeconômicas desenvolvidas mais relevantes a nível regional e seu potencial impacto sobre a qualidade de água dos reservatórios selecionados neste estudo, considerando a área de influência ambiental diretamente impactada de 5 km, estipulado de acordo com a resolução CONAMA 01/86. Neste contexto, as mudanças temporais no desenvolvimento humano no Rio Grande do Norte foram representadas baseadas nas áreas totais utilizadas, discriminadas por atividade envolvida (Tabela 1). Analisando as áreas totais ocupadas para cada uso do solo, a atividade de mineração foi a de maior expansão (119%), seguido pela área urbana (86%), agrícola e atividades ceramistas com 20 e 25%, respectivamente. Atividades como loteamento urbano, piscicultura e indústria de cerâmica e mineração tiveram crescimento polarizado em relação a alguns reservatórios. Por exemplo, loteamento urbano foi exclusivamente na região delimitada ao redor da Lagoa do Bonfim (passou de 0 a 431 ha). Já a indústria ceramista foi na área da Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves (passou de 61,6 a 77,39 ha) e para a indústria mineradora na região referente ao Açude Boqueirão de Parelhas (passou de 28,6 a 42,95ha).

**Tabela 1.** Análise temporal da evolução das atividades econômicas desenvolvidas no entorno dos Açudes (ha).

RESERVATÓRIO	ANO	AGR	ARV	URB	LOT	CER	MIN	PIS	EXP	ESP
<b>A. B. PARELHAS</b>	2008	1037	6619	184	0	0	29	0	16002	1587
	2017	1119	14923	391	0	0	43	0	8131	743
<b>A. LUCRÉCIA</b>	2008	1467	8465	69	0	0	0	0	5077	427
	2017	1820	9228	113	0	0	0	0	4020	528
<b>A. POÇO BRANCO</b>	2008	8895	7222	101	0	0	0	0	2466	721
	2017	10524	6374	181	0	0	0	0	1390	823
<b>A.P. SANTA CRUZ</b>	2008	3646	5092	387	0	0	0	3	1855	103
	2017	4497	2978	418	0	0	0	6	3135	84
<b>A. TRAIRI</b>	2008	3715	7208	0	0	0	0	0	10194	498
	2017	6040	6608	0	0	0	20	64	8419	477
<b>B.ENG.A. R. GONÇALVES</b>	2008	818	39836	291	0	62	0	0	48839	17784
	2017	890	52971	519	0	77	0	2	54361	17784
<b>B. DE SANTA CRUZ DO APODI</b>	2008	4344	12162	4	0	0	0	0	19021	3023
	2017	5310	7187	30	0	0	0	0	24614	1411
<b>L. DO BONFIM</b>	2008	8543	3669	215	0	0	0	0	3161	690
	2017	8818	4114	682	431	0	0	0	1457	775

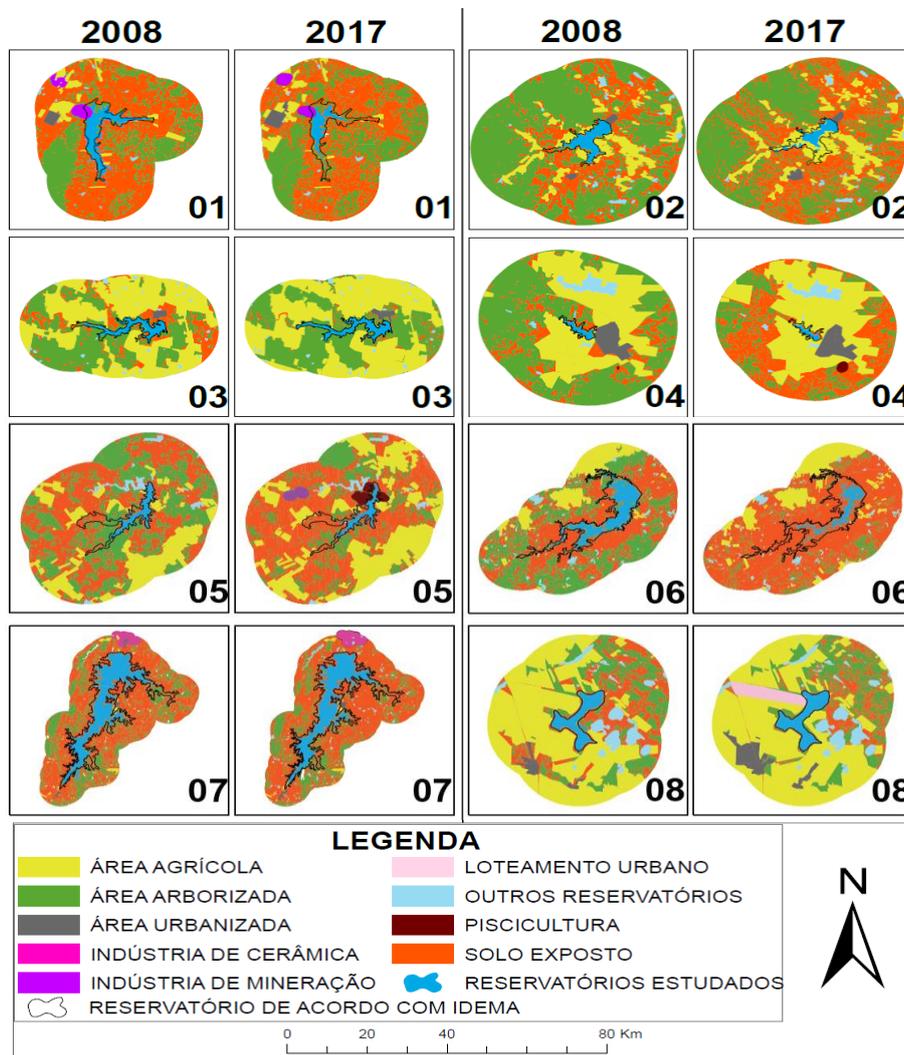
Legenda: AGR: Área destinada a agricultura; ARV: Área Arborizada; URB: Área urbanizada; LOT: Loteamento urbano; CER: Indústria cerâmica; MIN: indústria extrativista; PIS: Piscicultura; EXP: Solo exposto; ESP: Espelho de água. **Fonte:** Autores, 2018.

Atividade de piscicultura no Açude Público de Santa Cruz duplicou a área utilizada (passou de 2,93 a 6,05 ha) e no ano de 2017 a atividade expandia as áreas consideradas nas Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves (1,73 ha) e o Açude Público Trairi, sendo este último o de maior área ocupada no estado envolvendo um reservatório (63,89 ha).

Segundo a lei 12.727/2012, os entornos dos reservatórios artificiais que barram cursos d'água naturais devem ter Áreas de Preservação Permanente – APP, sendo permitido o plantio de culturas temporárias e de pequeno porte nas faixas de terra expostas durante o período de cheia, além de atividades de aquicultura e infraestruturas físicas, quando por meio de práticas sustentáveis de manejo dos solos, águas e recursos hídricos, seja mantida a qualidade e quantidade desses recursos (CONAMA, 2012).

Além das informações previamente descritas, salienta-se o desenvolvimento desorganizado, a falta de fiscalização e sustentabilidade das atividades socioeconômicas desenvolvidas nos entornos e APP's ao longo do período estudado (Figura 2).

**Figura 2.** Mapa comparativo das atividades econômicas desenvolvidas na Área de Preservação Permanente dos reservatórios considerados<sup>2</sup> referente aos anos de 2008 e 2017.



Fonte: Elaboração própria.

Por exemplo, a atividade ceramista, piscicultura e agrícola, estão adentrando nas áreas que deveriam ser reservadas para o estabelecimento de APP's, de acordo com a CONAMA nº 12.727 de 2012. Salienta-se que todas as feições mapeadas foram validadas em visitas a campo, confirmando as informações em todos os reservatórios incluídos nesta pesquisa. Além disso, dentre estas, as duas últimas têm um agravo por tirar proveito no seu crescimento de áreas próprias destinadas ao acúmulo de água nos açudes, em particular a

<sup>2</sup>Referências numéricas para cada açude: 01 - Açude Boqueirão De Parelhas; 02- Açude De Lucrécia; 03 - Açude Poço Branco; 04 - Açude Público De Santa Cruz; 05 - Açude Público Trairi; 06 - Barragem De Santa Cruz Do Apodi; 07 – Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves; 08 - Lagoa Do Bonfim. Fonte: Adaptação do autor a partir da Malha Municipal Digital (IBGE,2015) e Unidade de Geoprocessamento (IDEMA, 2007).

atividade agrícola, que tem tido um crescimento de área ocupada em média de quase 100%, principalmente no Açude de Lucrécia, Açude Público Trairi, Barragem de Santa Cruz do Apodi e Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, todos com mais de 50ha de áreas ocupadas por essas atividades (Tabela 2).

**Tabela 2.** Representação dos usos do solo dentro da área reservada aos Açudes (ha).

RESERVATÓRIO	ANO	AGR.	PIS.	ESP.
A. B. PARELHAS	2008	1,1	0,0	1587,0
	2017	7,3	0,0	743,2
A. LUCRÉCIA	2008	0,0	0,0	427,0
	2017	237,3	0,0	528,3
A. POÇO BRANCO	2008	16,0	0,0	721,0
	2017	2,5	0,0	823,3
A. P. A. SANTA CRUZ	2008	0,0	0,0	103,2
	2017	15,6	0,0	84,3
A. A. TRAIRI	2008	155,8	0,0	497,9
	2017	31,0	0,0	477,5
A. R. GONÇALVES	2008	62,9	0,0	17783,8
	2017	89,9	0,4	17783,8
B. DE S. C. DO APODI	2008	0,4	0,0	3023,4
	2017	54,3	0,0	1411,1
L. DO BONFIM	2008	0,0	0,0	690,2
	2017	0,0	0,0	775,4

Legenda: AGR: Área destinada a agricultura; PIS: piscicultura; ESP: espelho de água. **Fonte:** Autores, 2018.

Considerando a diferença média entre área ocupada por água nos anos de 2008 e 2017, pode-se observar uma queda média de 10% no volume de água das represas estudadas. No entanto, considerando a delimitação do reservatório e a soma das áreas ocupadas por água a redução foi de 33%. As atividades econômicas desenvolvidas no estado do Rio Grande do Norte, são bem diversificadas, sendo o setor alimentício e de bebidas o mais importante, tanto na geração de emprego, renda e mesmo como determinante da própria dinâmica econômica do Estado.

O Rio Grande do Norte é responsável por 39,22% do total exportado em 2017 do Brasil, com enfoque para o cultivo de arroz, algodão, feijão, fumo, mamona, cana-de-açúcar, mandioca, milho e uma fruticultura com cultivo de mamão, melão, coco, melancia, manga, acerola, banana, caju. Outros destaques vão para a produção mineral e petrolífera, salineira,

têxtil, agroindústrias, indústrias de cerâmica, e de energias limpas como a eólica e a solar (CNI, 2017). Comparados com outros setores produtivos a nível nacional, a produtividade regional atinge em média menos da metade daquelas consideradas produtivas observada nos estados da região sul e centro oeste (CNI, 2017). No entanto, a produtividade regional crescente observada na última década, indica o vantajoso crescimento das atividades socioeconômicas desenvolvidas no Estado, ratificando as especulações prévias de um crescimento desorganizado e ausência de políticas públicas que priorizem a preservação dos recursos naturais (AQUINO; LACERDA, 2014; PENA et. al, 2012).

Na Tabela 3 são descritos os parâmetros destinados a avaliar qualidade da água dos reservatórios. Parâmetros alterados, como a demanda biológica de oxigênio (DBO) e o oxigênio dissolvido (OD), retratam um incremento na atividade biológica, indicando um ambiente poluído (MEDEIROS et al., 2016; SANTOS et al., 2017). O açude Público de Santa Cruz, de Poço Branco e de Lucrécia apresentaram alterações nos dois anos considerados. Já a Lagoa do Bonfim apresentou valores anômalos somente em 2008. Quanto aos demais reservatórios considerados, caracterizaram-se como ambientes poluídos tendo como consequência efeitos evidentes sobre a qualidade da água e os processos ecológicos.

**Tabela 3.** Análise comparativo da qualidade hídrica através de indicadores de eutrofização.

RESERVATÓRIOS	ANO	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	N Total (mg/L)	P Total (mg /L)	IET*	DENS. CIANOBACTÉRIAS (cél/mL)
A. B. PARELHAS	2008	8,2	4,4	0,64	0,05	62,4	-
	2017	9,4	12,5	2,2	0,53	61	274.835
A. LUCRÉCIA	2008	10,4	1,4	4,67	0,46	69,9	197.220
	2017	12,2	18,8	4,6	0,37	70	995.719
A. POÇO BRANCO	2008	4,03	7,5	0,3	0,02	62,46	550.000 <sup>1</sup>
	2017	5,7	3,9	4	0,51	60	-
A. P. A. SANTA CRUZ	2008	4,55	3	0,4	0,4	43,44	49.504
	2017	4,7	17,1	9,3	0,36	64	-
A. A. TRAIRI	2008	5,03	6,6	0,5	0,05	51,35	486.096
	2017	4,5	4,4	7,9	0,22	63	288.700
A. R. GONÇALVES	2008	11,2	5,5	979,55	0,19	67,6	49.504
	2017	7,8	26,2	0,74	< LD	47	29.904
B. DE S. C. DO APODI	2008	-	-	-	-	-	-
	2017	8,5	12,4	2,5	1,02	48	-
L. DO BONFIM	2008	4,35	2,7	1,3	0,01	15,55	7.448
	2017	7,4	2,6	1,1	0,28	38	14.805

Legenda: OD: até 6,00; DBO: até; N total: até 2,00; F total: até 0,10; \*IET – Índice de Estado Trófico: Ultraoligotrófico IET=47; Oligotrófico 47<IET=52; Mesotrófico 52<IET=59; Eutrófico 59<IET=63; Supereutrófico 63< IET=67; Hipereutrófico IET>67; Dens. Cianobactéria: até 50.000. **Fonte:** Adaptado do Programa Água Azul/ IDEMA.

O índice de estado trófico (IET) é um indicador que descreve por meio relacionando os níveis de clorofila *a* e do fósforo total a variação do estado trófico decorrentes de alterações ecológicas causadas por poluição (CETESB, 2007). Os resultados descritos no período indicado mostram que a maioria dos locais estudados apresentaram níveis de eutrofização elevados incluindo as categorias ultraoligotrófico até hipereutrófico. Considerando o Açude Público de Trairi, este corpo d'água apresentou nível Eutrófico apenas em 2017, com nível Oligotrófico em 2008, mesmo nível apresentado em 2017 pela Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves. Por sua vez, o Boqueirão de Parelhas, o Poço Branco e o Santa Cruz estavam dentro da categoria Eutrófico nos dois anos considerado na pesquisa, observando-se os valores mais extremos (categoria hipereutrófico) nos açudes de Lucrécia e Barragem de Santa Cruz do Apodi.

Os níveis de poluição descritos podem ser causados, ao menos em parte, pela intensificação da piscicultura, somado ao uso de agrotóxicos, fato diretamente relacionado com o incremento nos níveis de fósforo e nitrogênio observados. Resultados semelhantes foram observados por outros autores em cenários ambientais semelhantes ao estudado neste trabalho (COSTA et al., 2006). Além disso, a atividade de piscicultura, realizada dentro dos reservatórios, pode influenciar negativamente não só na qualidade da água, pela geração de resíduos biológicos e a adição direta de produtos químicos, mas também pela introdução de espécies, alterando os ciclos ecológicos desenvolvidos naturalmente nesses biomas (CHELLAPPA, CAMARA; ROCHA, 2003; SIMÕES et al., 2007; BARROS et al., 2017). Também nesse sentido, o impacto da agroindústria sobre os recursos hídricos tem sido amplamente documentado, descrevendo-se níveis elevados de uma diversidade de pesticidas e inseticidas com consequências tóxicas (FAO/OMS, 2010; WHO, 1992, 2008; SILVA et al., 2017; MALOSCHIK et al., 2010; ZHENG et al., 2016).

No Brasil tem sido documentado a contaminação dos recursos hídricos envolvendo uma grande variedade de biocidas. Silva et al. (2017), por exemplo, descreve contaminação em sistemas hídricos superficiais por nove tipos de agrotóxicos, dentre eles o acaricida, inseticida Piridabem, Tiofanato-metílico e Triflumizole, e de sedimentos, encontrando Ametrin e Metolaclor, em rios e efluentes da bacia Lajeado Tacongava. No Nordeste, nos estados de Sergipe e Ceará tem-se descrito contaminação por herbicidas em corpos hídricos, como Metribuzim; Diuron; Ametrina; Atrazina; Glifosato; Paraquat; Hexazinona; Trifloxissulfurom-Sódico; Halossulfurom-Metílico, Diuron e Glifosato muitos dos quais com risco de lixiviar e contaminar de águas subterrâneas, fatos que ratificam o potencial

poluidor desta atividade na área objeto de estudo (MILHOME et al., 2009; BRITTO et al., 2012; DUAVÍ et al., 2015). É importante salientar o avanço desorganizado das atividades agrícolas dentro das áreas protegidas e direcionadas para os próprios reservatórios, confirmando a introdução direta de uma diversidade de produtos químicos potencialmente tóxicos tanto para os ecossistemas quanto para o ser humano.

Outro fator antrópico a ser contemplado é a atividade extrativista, amplamente vinculada a impactos ambientais, gerados nas suas distintas etapas de produção. O estado apresenta jazidas de diversos minerais com potencial valor extrativista (ANGELIM; MEDEIROS; NESI, 2006). Neste estudo, o crescimento desta atividade foi descrito em particular nas APP's dos açudes Boqueirão de Parelhas, da Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves e do Açude Público Trairi, sendo estes os mais afetados. Por outro lado, o aporte geogênico na região tem sido documentado por diversos estudos, muitos dos quais foram realizados nos reservatórios contemplados nesta pesquisa. Por exemplo, estudos realizados por Amaral et. al (2014), Chaves et al. (2016), Dantas et al. (2017) e Marcon et al. (2010), também constataram elevados níveis de contaminação em reservatórios no Estado, incluindo os avaliados por este estudo. Em um estudo realizado no Açude Riacho da Cachoeira, que assim como o Açude de Santa Cruz e o Açude Trairi pertence a Bacia Hidrográfica Trairi, foram encontrados níveis acima dos permissíveis pela legislação nacional dos metais: níquel, prata, alumínio, cádmio, crômio, cobre, chumbo, ferro, níquel, zinco e manganês, em magnitudes compatíveis com a ocorrência geogênica (AMARAL et al., 2014). Além da presença de metais, também já foram detectados elevados índices de radioatividade nos reservatórios do Estado (CHAVES et al., 2016; GARCIA et al., 2011). Esta radiação é decorrente do urânio, presente na região, evidenciando áreas consideradas fortemente radioativas que precisam ser mais estudadas para compreender a sua contribuição na poluição total descrita. Chaves et al. (2016), ao avaliar a emissão radioativa no Açude Boqueirão, constatou níveis de radiação alfa elevados. Da mesma forma, Garcia et al. (2011), no Açude de Lucrécia, também observou a influência da radiação ionizante natural derivada do urânio, encontrando altos níveis de radioatividade na água do reservatório.

Distintas condições podem estar associadas à deterioração da qualidade hídrica, como por exemplo, a urbanização, o aumento do escoamento superficial, o déficit de vegetação ripária, o uso e ocupação inadequada do solo, o assoreamento e, ainda, a diminuição de água nos corpos hídricos. No entanto, evidencia-se que o maior agente poluidor no contexto regional é a atividade agrícola (BRITO et al., 2012; MOURA, 2010).

Adicionalmente, outras consequências da poluição e do desequilíbrio ecológico devem ser consideradas, como os impactos toxicológicos recorrentes do crescimento de cianobactérias (MARCON et al., 2010; COSTA et al., 2016). A presença destes organismos pode liberar cianotoxinas classificadas em três grupos: as neurotoxinas e hepatotoxinas, as primeiras causam intoxicação letal aguda, agindo na transmissão dos impulsos nervoso, as segundas levam ao envenenamento letal, com uma forte atividade citotóxica em culturas de células; as citotoxinas, capazes de causar danos a vários órgãos e sistemas; e por fim as dermatoxinas, que não são letais para os organismos, mas causam irritação na pele (PANOSSO et al., 2007; URIZA, MARTÍNEZ; SANJURJO, 2017).

Uma série de estudos realizados em reservatórios hídricos regionais, tais como os Açudes de Sabugi, Itans, Passagem das Traíras, Boqueirão de Parelhas e Gargalheiras, tem sido registrada a ocorrência de cianobactérias hepatotóxicas e neurotóxicas influenciadas pelas condições ambientais descritas nessas áreas estudadas (Panosso et al. 2007; Costa et al. 2006; Medeiros et al. 2015). Conforme os dados considerados, nota-se que a proliferação destas espécies vem afetando a qualidade hídrica dos reservatórios estudados. Por exemplo, apenas o Açude de Santa Cruz, o de Santa Cruz do Apodi e a Lagoa do Bonfim apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos, ficando os dois primeiros açudes no ano de 2008, próximos ao limite estabelecido pela resolução 357/2005 CONAMA, que estabelece o limite de até 50.000 cel/ml de cianobactérias para águas doces classe 2.

Estudos ecotoxicológicos, que utilizam uma diversidade de bioindicadores, têm demonstrado o potencial toxicológico da água dos reservatórios da região semiárida do RN. Por exemplo, Dantas et al. (2017), utilizando *Tradescantia pallida purpúrea* como indicadora de danos ao material genético, observou um efeito mutagênico de amostras de água proveniente do Açude Riacho da Cachoeira. Este mesmo estudo, avaliou o dano causado ao DNA de peixes, *Oreochromus niloticus*, que habitam o Açude onde foi observado um incremento na frequência de alterações nucleares, indicativas de exposição ambiental à mutagênicos. Dentro desta mesma abordagem metodológica, Chaves et al. (2016), também observou um aumento na frequência de marcadores de danos genéticos em *Oreochromus niloticus* coletados do Açude Boqueirão de Parelhas, assim como também através da utilização de um modelo *in vitro* de exposição com células humanas ratificando o potencial mutagênico da água do Açude. Da mesma forma, o mesmo padrão de potencial mutagênico de amostras de água provenientes do Açude de Lucrécia foi reportado representando a falta de qualidade de água na região e dos potenciais riscos para a população (GARCIA et al 2011; MARCON et al., 2010).

Portanto, os efeitos biológicos documentados demonstram o grau de degradação da qualidade hídrica dos reservatórios do Semiárido do RN.

## **Conclusões**

Neste trabalho foi observado que os reservatórios estão em fase adiantada de degradação ambiental e que os resultados obtidos servem como diagnóstico ambiental da provável situação dos reservatórios do semiárido do RN. Adicionalmente, foi observado o papel das atividades antrópicas na deterioração da qualidade da água na região, especialmente a agricultura. Isso ressalta a importância do monitoramento e da fiscalização ambiental de modo a evitar e/ou mitigar o crescimento desordenado das atividades econômicas em Áreas de Proteção Ambiental.

Assim, o presente trabalho serve como subsídio científico para a discussão e a implementação de políticas públicas de recuperação, manejo e preservação ambiental na Região Semiárida do Rio Grande do Norte.

## **Agradecimentos**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

## **Referências**

ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento Sustentável: Qual a estratégia para o Brasil? **Novos estudos**, v. 87, p. 97-113. 2010.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, n. 1, p. 43-59. 2006.

ANGELIM, L.A.A., MEDEIROS, V.C., NESI, J.R. 2006. Programa Geologia do Brasil – PGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

AMARAL, V. S et al. Uso da Ecotoxicologia na Investigação da Toxicidade Associada à Radiação Natural no Açude Riacho da Cachoeira, Região do Semiárido/Brasil. **Revista de Geologia**, v. 26, n. 2. p.109-119. 2013.

AQUINO, J.R.; LACERDA, M.A.D. Magnitude e condições de reprodução econômica dos agricultores familiares pobres no semiárido brasileiro: evidências a partir do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 52, s. 1. 2014.

BRITTO, A. L.; BARRAQUÉ, B. Discutindo gestão sustentável da água em áreas metropolitanas no Brasil: reflexões a partir da metodologia europeia Water 21. **Cadernos Metrôpole**, n. 19, p. 123-142. 2008.

BRITTO, F. B et al. Herbicidas no alto Rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 2, p. 390-398. 2012.

CAMPOS, J.N.B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**. v. 28, n. 82. 2014.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, 361-369, 1977.

CAVALCANTI, T. N.; TREVISAM, E. A “abordagem das capacidades” na teoria de Amartya Sen sobre o desenvolvimento humano. **Revista Jurídica**, v. 1, n. 54, p. 173-192, 2019.

CHAVES, L. C. C. et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 7572-7581. 2016.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da Indústria nos Estados**. Disponível em: <<http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/rn>>. Acesso em: 03 ago 2017.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 02 mai 17.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Disponível em: <<http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/Lei-12727-2012-Codigo-florestal.pdf>>. Acesso em: 20 set 2017.

COSTA, F.R; SOUZA, R.F.; SILVA, S.M.P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do rio Doce – RN. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 3, p. 429-442. 2016.

COSTA, I.A.S et al. The occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semi-arid reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 1B, p. 211-219. 2006.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C; LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tsr</sub>). **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126-134, 2013.

DANTAS, R. C. et al. Uma análise sócio-ambiental na perspectiva dos moradores do município de Lajes Pintadas (RN): Um desafio a sustentabilidade no Semi-Árido Brasileiro. **Revista Educação Ambiental em Ação**, nº 38, 2011.

DANTAS, R. C. et al. Influence of natural radon and metal contamination on surface water quality from a Brazilian Semiarid Region. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 39, p. 275, 2017.

DUAVÍ, W. C et al. Contaminação de ambientes aquáticos por “agrotóxicos urbanos”: o caso dos rios Cocó e Ceará, Fortaleza – Ceará, Brasil. **Química Nova**, v. 38, n. 5, p. 622-630. 2015.

FADIGAS, F.S et al. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, v.10, n.13, p. 699-705. 2006.

FAO/WHO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura / World Health Organization). Bases de datos en línea del *codex* sobre los residuos de plaguicidas en los alimentos. **On-line**, 2010. Disponível em: < <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/es/>>. Acesso em: 13 jun 2017.

FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F. et al.. Heavy metal pollution in drinking water - a global risk for human health: a review. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7(7), p. 567-584. 2013.

FREITAS, E.P.; KLOSS, D.; SILVA, I.R. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente google Earth. Botucatu - SP. **Irriga**, Edição especial, p. 97-104, 2012.

GARCIA, A. F.S.; AMARAL, V.S. do; MEDEIROS, S.R.B de. Percepção Ambiental no Sertão do Estado do Rio Grande do Norte: Um estudo de caso. **Educação Ambiental em Ação**, nº 25. 2011.

GARCIA, A. C. F. S. et al. Micronucleus study of the quality and mutagenicity of surface water from a semi-arid region. **Journal of environmental Monitoring**, v. 13, n. 12, p. 3329 – 3335, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. 2010.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Programa Água Azul. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no período de agosto a novembro de 2008**. Natal, 2009.

\_\_\_\_\_. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Programa Água Azul. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no período de março a maio de 2016**. Natal, 2017.

\_\_\_\_\_. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Programa Água Azul. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no período de setembro a novembro de 2016.** Natal, 2017.

JACOBS, J. The sustainability of water resources in the Colorado River Basin. **The bridge**, v. 41, n. 4, p. 6–12. 2011.

KHAN, S. et al. Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan. **Journal of cleaner production**, v. 60, p. 93-101. 2013

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga: uma introdução ao desafio.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/289527697\\_Ecologia\\_e\\_conservacao\\_da\\_Caatinga\\_uma\\_introducao\\_ao\\_desafio](https://www.researchgate.net/publication/289527697_Ecologia_e_conservacao_da_Caatinga_uma_introducao_ao_desafio)>. Acesso em: 18 mai 2018.

LIMA, A.O. et al. Barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: análise histórica e metodologias de construção. **Revista Irriga**. v. 18, n. 2, p. 200-211. 2013.

MALOSCHIK, E.; MORTL, M.; SZEKACS, A. Novel derivatisation technique for the determination of chlorophenoxy acid type herbicides by gas chromatography-mass spectrometry. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 397, n. 2, p. 537-548. 2010.

MARCON, A. E. et al. Genotoxic analysis in aquatic environment under influence of cyanobacteria, metal and radioactivity. **Chemosphere**. v. 81, 773-780. 2010.

MARENCO, J.A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande – PB, p. 383-422. 2011.

MARENCO, J.A; CUNHA, A.P; ALVEZ, M.L. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 3, p. 49-54, 2016.

MARTINS, E.S.P.R.; MAGALHÃES, A.R.; FONTENELE, D. A seca pluriannual de 2010-2017 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**. v. 22, n. 44, p. 17-40, 2017.

MARTINS, E.S.P.R. et al. **Monitor de secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas.** Série Água Brasil 10. Brasília: Banco Mundial, 2015.

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. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 363-372. 2009.

MOURA, W. K. A. **Horticultura no baixo Rio Doce, Zona Norte de Natal/RN: avaliação da qualidade da água por meio de ensaios ecotoxicológicos.** 2010.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NASCIMENTO, F.R. **Degradação ambiental e desertificação no nordeste brasileiro:** o contexto da Bacia do Rio Acaraú – Ceará. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2006.

NAVONI, J. A. et al. Human health risk assessment with spatial analysis: Study of a population chronically exposed to arsenic through drinking water from Argentina. **Science of the Total Environment**, v. 499, p. 166-174. 2014.

PANOSSO, R. F et al. cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecologia brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 433-449. 2007.

PENNA, C.M. et al. Convergência do PIB per capita agropecuário estadual: uma análise de séries temporais. **Economia Aplicada**. v. 16, n. 4. 2012.

REBOUÇAS, A. C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados.**, v. 15, n. 43, p. 327-344. 2001.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Cartas Topográficas.** Departamento de Recursos Naturais - Divisão de Cartografia - Escala 1:100.000. 1972.

TEIXEIRA, A.C.O. et al. Caracterização física e socioeconômica da bacia hidrográfica do rio Gongogi, Bahia. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 43, p. 293-310. 2012.

TEIXEIRA, P. A.; FANTINATTI, M.; GONÇALVES, M. P.; SILVA, J. S. da. Parasitoses intestinais e saneamento básico no Brasil: estudo de revisão integrativa / Intestinal parasites and basic sanitation in Brazil: an integrative review study. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 22867–22890, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-006.

TUNDISI, J. G. Water resources in the future: problems and solutions. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63. 2008.

TURGUT, C.; PEPE, M.K.; CUTRIGHT, T.J. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr and Ni from soil using *Helianthus annuus*. **Environ Pollut.**, v. 131, p. 147-154. 2004.

THUNDIYIL, J. G.; STOBER, J.; PRONCZUK, J. Acute pesticide poisoning: a proposed classification tool. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 86, p. 205-209, 2008.

ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. Geocologia da paisagem X legislação ambiental: uma análise da distribuição espacial das restrições ao uso da terra frente à problemática erosiva na alta bacia do Ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 1, p. 21-38. 2016.

*Impacto antrópico nos recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte: uma análise geoespacial de vulnerabilidade ambiental. Camilla Siqueira da Fonseca; Viviane Souza do Amaral; Julio Alejandro Navoni.*

VEIGA, M. M. et al. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 11, p 2391 -2399. 2006.

WHO. World Health Organization. **Health consequences of the use of agrochemicals in agriculture**. Geneva: WHO, 1992.

Recebido em: março de 2022

Aceito em: fevereiro de 2024