



DESENVOLVIMENTO
E MEIO AMBIENTE

BIBLIOTECA
DIGITAL
DE PERIÓDICOS
BDP | UFPR

revistas.ufpr.br

Análise da relação entre a qualidade da água de mananciais superficiais e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica no estado do Rio Grande do Norte, Brasil

Analysis of the relationship between quality of the water from surface springs and occurrence of waterborne diseases in the state of Rio Grande do Norte, Brazil

Amanda Nogueira MEDEIROS¹, Julio Alejandro NAVONI^{1,2*}

¹ Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN, Brasil.

² Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental (SIBSA), Buenos Aires, Argentina.

* E-mail de contato: navoni.julio@gmail.com

Artigo recebido em 7 de julho de 2021, versão final aceita em 11 de julho de 2022, publicado em 14 de setembro de 2023.

RESUMO: A caracterização hídrica mediante índices compostos por características mensuráveis através da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos é útil na vigilância ambiental, bem como na interpretação de possíveis riscos sanitários atrelados ao uso de água contaminada, além de contribuir para definir as ações de gestão ambiental necessárias à conservação hídrica. Este trabalho objetivou avaliar, por intermédio de índices de qualidade de água (IQA) e de estado trófico (IET), a influência da qualidade da água de abastecimento público no estado do Rio Grande do Norte sobre a ocorrência de doenças de veiculação hídrica (DVHs) de sua população em setenta municípios no período de 2008 a 2016. Uma análise de conglomerado (cluster) hierárquico foi realizada com o intuito de classificar os municípios, baseando-se na qualidade da água consumida e representada através dos índices supracitados. Além disso, um modelo linear generalizado foi utilizado para descrever a influência da qualidade hídrica sobre a ocorrência de DVHs. Uma análise geoespacial foi realizada com o objetivo de descrever as áreas prioritárias em ordem causal de relevância sanitária. Cinco conglomerados foram construídos segundo o padrão de qualidade hídrica observada. As bacias hidrográficas do Piranhas-Açu e do Apodi-Mossoró foram as que apresentaram o maior número de municípios contendo mananciais com os piores índices de qualidade e frequência de doenças de veiculação hídrica no período estudado. Uma relação estatisticamente significativa entre a qualidade hídrica encontrada e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica foi estabelecida. Razões de chance de adoecer de até mais de 5 vezes do que as encontradas em locais com melhor qualidade hídrica foram documentadas. Desta forma, os achados desta pesquisa salientam a utilidade do estudo da qualidade ambiental, principalmente para o delineamento de áreas

prioritárias para implementação de políticas ambientais e sanitárias dirigidas à minimização dos impactos de uma má qualidade ambiental sobre a saúde da população.

Palavras-chave: doença de veiculação hídrica; déficit hídrico; índices de qualidade da água; saúde ambiental; saneamento básico.

ABSTRACT: Water characterization through indices consisting of characteristics that can be measured through the analysis of physicochemical and microbiological parameters is useful in environmental surveillance, as well as in the interpretation of possible health risks linked to the use of contaminated water, in addition to contributing to defining the environmental management actions required for water conservation. The objective of this study was to evaluate, through water quality (WQI) and trophic state (TSI) indices, the influence of the quality of public water supply in the state of Rio Grande do Norte on the occurrence of waterborne diseases (WBDs) in its population in seventy municipalities from 2008 to 2016. A hierarchical cluster analysis was performed with the intention of classifying the municipalities, based on the quality of the water consumed and represented through the aforementioned indices. In addition to that, a generalized linear model was used to describe the influence of water quality on the occurrence of WBDs. A geospatial analysis was performed with the objective of describing the priority areas in sanitary relevance causal order. Five clusters were created according to the water quality pattern observed. The Piranhas-Açu and Apodi-Mossoró hydrographic basins were the ones that presented the largest number of municipalities containing springs with the worst indices in terms of water quality and frequency of WBDs during the period under study. A statistically significant difference was established between the water quality found and occurrence of waterborne diseases. Odds Ratio for contracting WBDs up to 5 times higher than those found in places with better water quality were documented. Thus, the findings of this research highlight the usefulness of studying environmental quality, mainly for delineating priority areas for the implementation of environmental and health policies aimed at minimizing the impacts of poor environmental quality on the health of the population.

Keywords: waterborne disease; water deficit; water quality indices; environmental health; sanitation.

1. Introdução

A qualidade da água é um fator determinante para o desenvolvimento social e econômico da sociedade (Abbasnia *et al.*, 2019). Assim, em regiões com escassez hídrica, pode haver comprometimento da qualidade hídrica e conseqüentemente apresentarem problemas de sustentabilidade ambiental (Vanham *et al.*, 2018). Somado a isso, a falta de saneamento básico pode afetar negativamente a saúde da população (Pandit, 2013; Zhang *et al.*, 2021).

No Brasil, são mais de 34 milhões de brasileiros sem o acesso a água potável e apenas 46,2% da população brasileira tem atendimento de coleta de esgoto (Trata Brasil, 2021). No ano de 2017, por

exemplo, a incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento foi de 12,46 internações por 10 mil habitantes, sendo o Nordeste brasileiro a região com maiores taxas (Trata Brasil, 2018). Nesse sentido, a escassez hídrica, somada à deficiência de saneamento, é uma problemática.

A delimitação do Semiárido brasileiro concentra-se, em sua maior parte (89,5%), na Região Nordeste, abrangendo a maioria dos estados nordestinos (IBGE, 2018), onde as chuvas apresentam irregularidades temporais e espaciais e, como consequência, é comum verificarem-se periódicos desabastecimentos em épocas de secas mais críticas. Este cenário apresenta um risco permanente para o abastecimento das famílias rurais, que dependem do

capital natural para a sobrevivência (Mattos & May, 2020). Além disso, a região semiárida requer especial atenção, visto que suas características climáticas convergem num cenário trazendo potenciais riscos adicionais à saúde pública através da ocorrência de doenças de veiculação hídrica (Chaves *et al.*, 2019).

O conhecimento sobre a qualidade das águas de um dado corpo hídrico para adequá-las aos seus mais variados usos, sejam estes consuntivos ou não consuntivos, é uma tarefa imprescindível (Brasil, 1997; ANA, 2021). No Semiárido brasileiro, esta necessidade é ainda mais indispensável, uma vez que a disponibilidade hídrica é limitada pelas altas taxas de evapotranspiração das águas que superam as taxas pluviométricas somadas a acontecer na atualidade uma das secas mais severas dos últimos 50 anos (Cunha *et al.*, 2018). Portanto, o monitoramento da qualidade da água é uma atividade fundamental para minimizar riscos à saúde humana (Renouf *et al.*, 2017).

Diversos índices de qualidade de água têm sido desenvolvidos com o intuito de compreender a qualidade hídrica por consistirem em ferramentas de fácil acesso para a divulgação dos resultados de forma simples e eficiente (Ferreira *et al.*, 2015; Zotou *et al.*, 2020). Um dos índices amplamente utilizados no território brasileiro é o Índice de Qualidade da Água (IQA), que foi desenvolvido em 1970 pela National Sanitation Foundation (NSF) e utiliza os seguintes parâmetros: Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, pH, DBO₅, Nitrogênio total, Fósforo total, Turbidez, Sólidos Totais e Temperatura.

Além disso, outro índice frequentemente aplicado é o Índice de Estado Trófico (IET), que foi desenvolvido por Carlson (1977), aprimorado por Toledo Junior *et al.* (1983) e Lamparelli (2004) e

que, conforme adotado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2007), utiliza a concentração de fósforo total e clorofila ‘a’ para determinar o grau de trofia da água. Estes índices integram um número limitado de características físicas, químicas e microbiológicas, tornando-se ferramentas de fácil implementação e aplicação para descrever tanto a qualidade da água quanto as consequências decorrentes da poluição do corpo hídrico (Andrietti *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o estado do Rio Grande do Norte (RN) – que, dos seus 167 municípios, 147 inserem-se no Semiárido (IBGE, 2018), é a área objeto deste estudo – apresenta uma considerável parcela de seus mananciais hídricos de abastecimento público com histórico de eutrofização, com variações anuais descritas por florações de cianobactérias, inclusive espécies potenciais produtoras de toxinas (cianotoxinas) nas suas águas, especialmente no período seco. Este fenômeno está potencializado com a redução dos seus volumes armazenados e consequente aumento da concentração de nutrientes na água, e nos períodos chuvosos, quando não há vertimento e renovação de suas águas (Bezerra *et al.*, 2014; Moura *et al.*, 2018). No RN, a parcela de 553 mil (16,25%) habitantes não tem acesso a água potável (Brasil, 2020) e as Estações de Tratamento de Água (ETA) do estado são em maioria do tipo convencional e podem não remover completamente as cianobactérias/cianotoxinas, podendo permanecer na água distribuída e causar danos no sistema nervoso e no fígado, entre outros órgãos, originar tumores e até ser causa de morte (Albuquerque *et al.*, 2020).

As águas dos mananciais recebem também cargas poluidoras oriundas das atividades antrópicas, que podem conter microrganismos patogênicos, tais

como protozoários, vírus e bactérias, acarretando assim consequências sanitárias à população, denominadas Doenças de Veiculação Hídrica (DVHs) (Araújo *et al.*, 2013; Nascimento *et al.*, 2013; Reddy & Dubey, 2019). Por todo o antes mencionado, as DVHs são uma problemática sanitária, e o Sistema Único de Saúde (SUS) fornece informações atualizadas das ocorrências de distintas doenças, incluindo-se as DVHs. No entanto, estudos que relacionem a qualidade da água e a ocorrência de DVHs são escassos.

Portanto, visando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a qualidade hídrica dos mananciais superficiais de importância para abastecimento público localizados no Rio Grande do Norte mediante os valores reportados para os índices IQA e IET, considerando-se a área de influência destes como fontes hídricas e a sua relação com a ocorrência de DVHs.

2. Metodologia

2.1. Caracterização da área de estudo

O Estado do Rio Grande do Norte (RN) está situado na região Nordeste do Brasil e possui, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), distribuída entre seus 167 municípios, uma população estimada de 3.560.903 habitantes e uma área territorial de 52.811,107 km², sendo constituído por dezesseis (16) bacias hidrográficas (IGARN, 2014) nas quais foram construídos reservatórios objetivando-se assegurar a regularização do abastecimento de água, especialmente como estratégia para convivência nos períodos de seca.

O RN apresenta cerca de 90% de seu território com características de clima semiárido. Assim, a distribuição das chuvas é própria e variada espaço-temporalmente (Silva & Lucio, 2015). No litoral do estado do RN, a precipitação máxima ocorre no mês de junho, enquanto a região oeste que faz parte do semiárido apresenta aspectos de clima úmido, e com isso registra chuvas regulares. A região central que também se insere no Semiárido, onde localiza-se o Seridó, é a região que mais sofre com secas frequentes (Santos e Silva *et al.*, 2012).

2.2. Bases de dados utilizadas

As informações sobre a qualidade de água através do IQA e o IET no período de 2008 a 2016 foram extraídas do Programa Água Azul (2016), programa este criado por iniciativa do governo do Estado do RN em parceria com instituições de ensino superior. Das dezesseis (16) bacias hidrográficas do Estado, sete (07) delas têm corpos hídricos monitorados por este programa, sendo elas: Bacia do Rio Apodi-Mossoró, do Rio Ceará-Mirim, Jacu, Maxaranguape, Piranhas-Açu, Potengi e do Rio Trairi, que incluem coletas em setenta (70) municípios que possuem mananciais de importância para abastecimento público.

O IQA é constituído por uma escala de valores entre 0 (zero) a 100 (cem), sendo que quanto maior o valor do IQA melhor é a qualidade da água em questão. Por sua vez, os valores são classificados então em: Muito Ruim (IQA < 25), Ruim (25 ≤ IQA < 50), Médio (50 ≤ IQA < 70), Bom (70 ≤ IQA < 90) e Excelente (90 ≤ IQA ≤ 100), conforme o IQA-NSF. O grau de trofia é avaliado mediante a classificação de águas naturais através do IET (CETESB, 2007),

que varia de Ultraoligotrófico ($IET \leq 47$), Oligotrófico ($47 < IET \leq 52$), Mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), Eutrófico ($59 < IET \leq 63$), Supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) até Hipereutrófico ($IET > 67$), sendo este último a classificação que caracteriza um manancial com elevadíssimo grau de trofia.

As informações das doenças de veiculação hídrica foram levantadas dos locais onde o Programa Água Azul fez o monitoramento no período mencionado da base eletrônica do Sistema Único de Saúde presentes no Sistema de Informação de Atenção Básica (SIAB) do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), disponíveis em seu portal eletrônico -www.datasus.gov.br- no período compreendido nesta pesquisa. As doenças catalogadas como DVH segundo o Ministério da Saúde (MS, 2015) incluem: cólera, febres tifoide e paratifoide, shigelose (disenteria bacilar), amebíase, diarreia, gastroenterite e outras doenças infecciosas intestinais - de maior prevalência na população dos municípios onde estão situados os corpos hídricos.

2.3. Análises estatísticas

A análise geoespacial dos dados coletados foi realizada utilizando-se o *software Qgis 3.16.5*. Além disso, uma análise multivariada descritiva foi realizada utilizando-se o método de análise de conglomerados hierárquico e considerando-se as variáveis IET e IQA. A classificação resultante baseada na qualidade hídrica descrita pelos indicadores acima citados foi utilizada para analisar o efeito da qualidade hídrica dos reservatórios sobre o perfil de DVHs. Duas distribuições foram testadas, a normal e a gamma. A aderência do modelo foi avaliada através do Critério de Informação de Akaike (AIC).

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software SPSS Statistics* versão 26 (*Statistical Package for the Social Sciences*).

3. Resultados e discussão

Os resultados aqui apresentados foram confeccionados com base na análise da informação disponível de 70 (setenta) municípios com mananciais monitorados pelo Programa Água Azul (2016). Na Figura 1 está representado o Índice de Qualidade da Água – IQA. Mais de oitenta por cento dos resultados estiveram na classificação “média”. Apenas 18% dos resultados deste índice foram considerados dentro da categoria “bom”.

A Lagoa de Extremoz situada no município de Extremoz foi um dos corpos hídricos com IQA considerado “bom” no período estudado, resultado congruente com o reportado pelo estudo de Jeronimo & Souza (2013) realizado entre os anos de 2011 e 2012 na mesma localidade, ratificando o resultado descrito. A pior qualidade reportada e classificada como “ruim” no período estudado foi no corpo hídrico situado em Mossoró, um dos municípios mais densamente povoados daquele estado.

Cabe mencionar que no estado do RN há uma predominância da prestação do serviço de abastecimento de água pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CAERN), que em grande parte dos municípios opera a prestação desses serviços a partir de sistemas regionalizados que transportam água por grandes distâncias para o suprimento da população de municípios com problemas de escassez hídrica nos reservatórios locais. No período dos dados desse estudo, em 2014, o Rio Grande do Norte ocupava o 12º lugar no Brasil em termos

de abastecimento de água ao domicílio, com uma cobertura de 82,73%; e o 2º lugar no Nordeste, logo depois de Sergipe (85,11%) e antes da Paraíba (80,66%) (Brasil, 2016). Conforme já mencionado anteriormente, ainda existe uma grande parcela da população – mais de 500 mil pessoas – sem acesso à água potável, e mesmo quando a água bruta dos mananciais passa pelos processos de tratamento, por serem ETAs convencionais, alguns agentes podem não ser completamente removidos e/ou haver contaminação durante a distribuição da água. Assim, a contaminação e o aumento das substâncias tóxicas na água e de vetores de doenças de veiculação hídrica estão diretamente relacionados com o saneamento básico e condições inadequadas de tratamento das águas (Nova & Tenório, 2019).

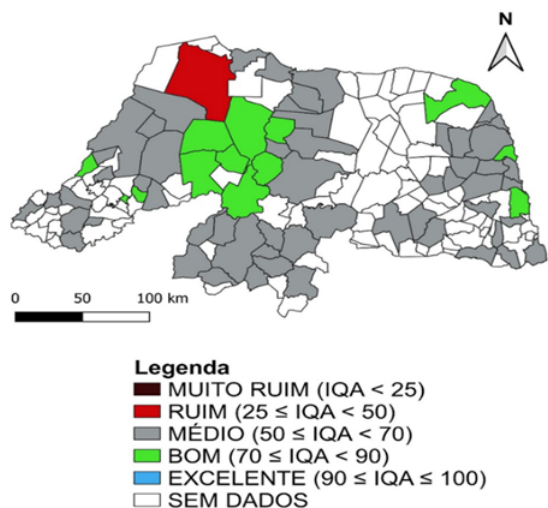


FIGURA 1 – Descrição da qualidade da água de corpos hídricos utilizados para abastecimento humano mediante resultados reportados de IQA no período 2008-2016 (mapa do Rio Grande do Norte).

FONTE: Elaborada pelos autores.

O grau da qualidade hídrica também pode ser analisado através do IET que representa o grau de eutrofização, vinculando-se a potencialidade da carga de nutrientes recebida pelo corpo hídrico como o efeito fático do crescimento vegetal. Do total de corpos hídricos analisados, conforme Figura 2, 4,3% (3 municípios) foram ultraoligotróficos, 20% (14 municípios) foram oligotróficos, 38,6% (27) dos municípios apresentaram, no período de 2008 a 2016, corpos hídricos considerados “mesotróficos”, 20% (14 municípios) “eutróficos”, quase 13% (9 municípios) “supereutróficos” e 4,3% (3 municípios) apresentaram corpos hídricos com IET considerados “hipereutróficos”.

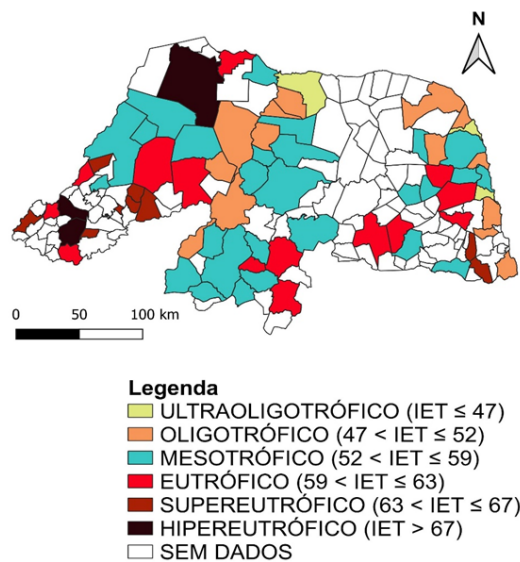


FIGURA 2 – Descrição da qualidade da água de corpos hídricos utilizados para abastecimento humano mediante resultados reportados do IET no período 2008-2016 (mapa do Rio Grande do Norte).

FONTE: Elaborada pelos autores.

A interpretação do IET e do IQA pode relacionar a qualidade hídrica com indícios de contaminação da água causada por ações antrópicas atreladas à deficiência de saneamento básico, como o não acesso a medidas simples de higiene, lançamento de efluentes domésticos sem tratamento nos corpos hídricos, descarte inadequado de rejeitos, dentre outros (Rocha *et al.*, 2021).

Estudos da qualidade ambiental de recursos hídricos têm demonstrado a relação entre o nível de eutrofização e as consequências sanitárias potenciais atreladas (Viviani, 1992; Clark *et al.*, 2017). Por exemplo, níveis de eutrofização nas categorias “eutrófico”, “supereutrófico” e “hipereutrófico” têm sido associados com a ocorrência de microrganismos produtores (cianobactérias) de substâncias tóxicas (cianotoxinas) (Yokoyama & Park, 2002; Kokociński *et al.*, 2010; Sinha *et al.*, 2018).

A principal via de intoxicação por cianotoxinas é o consumo oral da água. No entanto, a intoxicação também pode ocorrer através do contato recreativo ocorrido no corpo hídrico ou, ainda, pelo consumo de pescado contaminado. Outra via de exposição menos comum é o uso de chuveiros (via inalatória) e, excepcionalmente, através da hemodiálise (via endovenosa) (Almeida *et al.*, 2015). Assim, a presença dessas cianotoxinas em águas de abastecimento humano implica em sérios riscos à saúde pública, uma vez que elas são solúveis em água e podem passar pelo sistema de tratamento convencional (Rodrigues *et al.*, 2021).

O consumo de água contaminada com estas toxinas pode trazer inúmeras consequências. Como representação que, embora menos frequentes, têm grande importância na saúde pública, tem-se o caso em uma clínica da cidade de Caruaru (PE) onde, no ano de 1996, 116 pacientes renais crônicos, após

terem sido submetidos a sessões de hemodiálise, passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Destes, 54 vieram a falecer até cinco meses após o início dos sintomas. As análises laboratoriais possibilitaram o isolamento e a detecção da cianotoxina Microscitina-LR no sistema de purificação de água da clínica, bem como amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados (Carmichael *et al.*, 2001; Libânio, 2010).

O município de Mossoró é um dos que apresentaram corpo hídrico com IET classificado como “Hipereutrófico” (Figura 2), fato que pode ser justificado por condições ambientais naturais, em que depósitos aluvionares cobrem praticamente toda a área de influência direta dos processos geológico-geomorfológicos do Rio Apodi-Mossoró, tornando o solo altamente poroso e permeável, suscetível a processos erosivos e de assoreamento dos cursos d’água, de contaminação dos corpos de águas superficiais e subterrâneos. No entanto, deficiências no saneamento, bem como as atividades antrópicas, têm um papel fundamental na poluição e eutrofização de recursos hídricos. Por exemplo, em estudo realizado por Petta *et al.* (2010) foi descrita a influência antrópica na eutrofização no Rio Apodi-Mossoró no município antes mencionado. As causas citadas foram a produção de resíduos sólidos e de efluentes como também pelo uso e ocupação desorganizados, principalmente nas margens do curso de água, contribuindo assim com o agravamento dos impactos ambientais sofridos, fatos que podem justificar a hipereutrofização descrita e ratificada neste trabalho.

A água é um dos melhores vetores de disseminação de substâncias tóxicas e microrganismos, podendo afetar a saúde populacional em escala epidemiológica (Trujillo, 2016). A Organização

Mundial da Saúde (OMS) indica que uma elevada parcela – 88% – das mortes por doenças de veiculação hídrica a nível mundial esteve atrelada a fatores relacionados a uma má qualidade de água consumida ao longo da vida, e causadas pelo saneamento inadequado (Trata Brasil, 2021).

De acordo com a plataforma de dados do Instituto Trata Brasil, no ano de 2018, cerca de 233 mil casos de doenças associadas à falta de saneamento foram registrados no país, correspondendo a uma incidência de 11 internações para cada 10 mil habitantes, ocasionando 2180 mortes e uma despesa de aproximadamente R\$ 90 milhões para o sistema de saúde brasileiro (Trata Brasil, 2021). A diarreia é a segunda maior causa de mortes em crianças abaixo de 5 anos de idade, 84% segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef). No Rio Grande do Norte, de acordo com dados do DATASUS, a taxa de internação só por diarreia foi de 113,7 por 100 mil habitantes entre os anos de 2000 e 2015. Logo, várias doenças são agravadas devido ao contato com ambientes insalubres.

Nesse sentido, segundo dados Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS, aproximadamente 35 milhões de brasileiros não possuem acesso a água potável e 100 milhões dos habitantes não têm atendimento aos serviços de coleta de esgotos domésticos. Além desses indicadores, o Brasil ainda tem uma dificuldade com o tratamento do esgoto, do qual apenas 50% do volume gerado são tratados, ou seja, uma grande parte do que não é tratado é despejada na natureza diariamente (Brasil, 2020) nos mais diversos corpos receptores que, além do solo, podem ser os mananciais hídricos – os mesmos utilizados para coleta de água para abastecimento da população, fato

que pode trazer inúmeras implicações ecológicas e sanitárias (Costa *et al.*, 2018).

Assim, no Brasil, a ocorrência de doenças de veiculação hídrica é uma problemática relevante de saúde pública. Neste trabalho, foram contempladas as seguintes DVHs, considerando-se que estas podem estar atreladas ao não acesso a saneamento e consequente eutrofização: cólera, febres tifoides e paratifoide, shigelose (disenteria bacilar), amebíase, diarreia e gastroenterite, além de outras doenças infecciosas intestinais, no período compreendido e aqui considerado. Mesmo a dengue sendo considerada uma doença de veiculação hídrica segundo o Ministério da Saúde brasileiro, neste trabalho não foi incluída por se tratar de uma arbovirose vetORIZADA através de mosquito e não diretamente pela ingestão e/ou contato com água.

Com base nas doenças elencadas, o estado do Rio Grande do Norte apresentou, no período estudado, uma ocorrência de 3.228.198 casos (incidência de DVHs de 94947,0 casos por 100.000 habitantes). A nível nacional, as DVHs foram responsáveis por 2,35% das internações totais no Brasil, gerando uma parcela de 0,7% dos gastos totais do SUS com internações no ano de 2015. Dessas internações, 43,4% foram de pessoas com 10 anos ou mais de idade (Paiva & Souza, 2018). Na Figura 3 está representada a distribuição espacial do número de casos de DVHs no período estudado (2008-2016) por município.

Dos 70 municípios estudados, 41,4% (29) registraram até 245 casos no período compreendido entre os anos de 2008 e 2016, 20% (14) registraram entre 763 e 1455 casos, e apenas um município (Caicó) registrou entre 2763 e 3821 casos de DVHs no período estudado. Mesmo que esse valor esteja sobrestimado devido ao fato de que o hospital dessa

cidade recebe casos de outras cidades e inclusive de outros estados, esses casos adicionais majoritariamente provêm de cidades da redondeza que recebem os mesmos recursos hídricos e, portanto, apresentam condições de saneamento básico e de qualidade de água semelhantes.

É interessante salientar que o município de Caicó (3821 casos e prevalência de 60,10 casos por 100.000 habitantes) apresentou a maior frequência absoluta no estado. Em estudo anterior realizado por Nascimento *et al.* (2013) em Caicó-RN, constatou-se que este município também foi onde houve maior prevalência de pacientes internados com episódios diarreicos em fase aguda, com 465 casos em 2009 (incidência de 741,52 casos por 100.000 habitantes); e 552 no ano de 2010 (incidência de 880,25 casos por 100.000 habitantes), como reflexo das Doenças de Veiculação Hídrica.

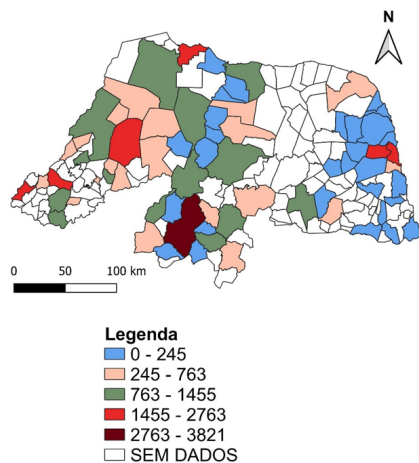


FIGURA 3 – Frequência absoluta de internações (2008-2016) por DVHs por município estudado (mapa do Rio Grande do Norte).

FONTE: Elaborada pelos autores.

Os municípios com registro de maior prevalência (carga das DVHs na população no período estudado) visualizados na Figura 4, foram Rafael Godeiro e Riacho da Cruz. Destes, apenas Rafael Godeiro, integrante da bacia do Rio Apodi-Mossoró, teve o manancial com um IET classificado na categoria supereutrófico (IET=65) no período estudado.

Pode-se perceber no mapa da prevalência de internações por DVH (Figura 4) que houve um destaque na região que abrange os municípios de Marcelino Vieira (IET=70) e Pau dos Ferros (IET=69) hipereutróficos, Pilões (IET=67) e São Miguel (IET=64) supereutróficos e, ainda, Tenente Ananias (IET=63) e Encanto (IET=61) como municípios com IET médio eutrófico para o período estudado. Estes valores podem ratificar uma possível relação da trofia dos corpos hídricos com os casos de DVHs contidos neste estudo que indicam grande atividade de cianobactérias, o que manteve o IET elevado no período e que pode ter causado impactos sanitários na população consumidora das águas desses mananciais.

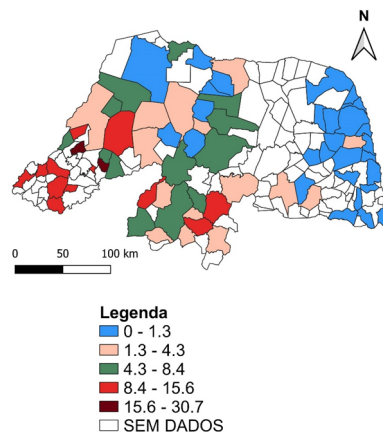


FIGURA 4 – Prevalência de casos de internações (2008-2016) por DVHs por município estudado (mapa do Rio Grande do Norte).

FONTE: Elaborada pelos autores.

Para entender a influência da qualidade hídrica representada pelo IQA e o IET foi realizada uma análise de conglomerados (*clusters*) hierárquicos sobre os setenta (70) locais monitorados e onde os mananciais hídricos estão situados, conforme Figura 5.

Um total de cinco (5) *clusters* foi definido para a classificação dos municípios, como ilustrado na Figura 6. Assim, a conformação dos municípios com *Cluster 1* estiveram maioritariamente (13/15) inseridos na Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Apodi-Mossoró. A maioria desses municípios apresen-

taram corpos hídricos com qualidade da água (IQA) mediano e grau de trofia pelo menos eutrófico, o que já é um risco, variando até hipereutrófico como nos casos de Marcelino Vieira (IET=70) e Pau dos Ferros (IET=69). Esses municípios apresentaram considerável prevalência de DVHs, como no caso de Rafael Godeiro (IET=65 que é supereutrófico e prevalência de DVHs = 30,7/10mil hab.), o que fortalece a hipótese de que a qualidade hídrica pode estar gerando riscos sanitários à população dessas localidades.

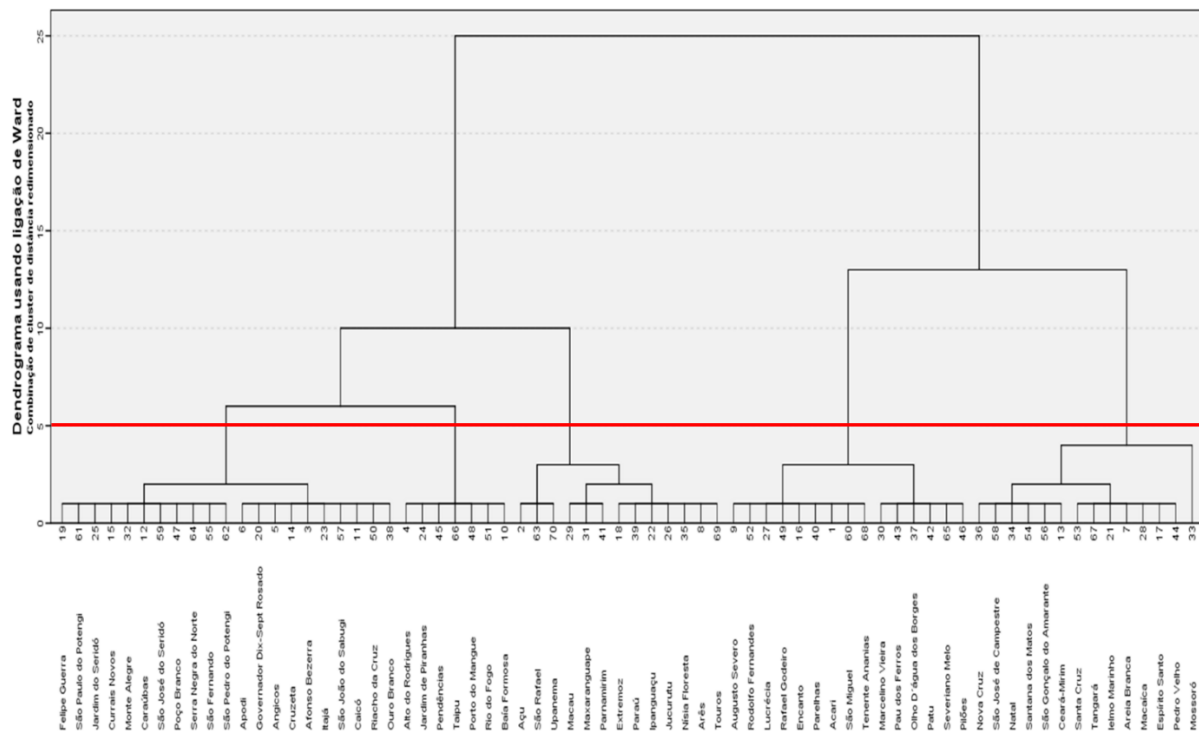


FIGURA 5 – Análise de conglomerados hierárquicos. Método Ward dos municípios baseados na qualidade hídrica descrita mediante os índices IQA e IET.

FONTE: Elaborada pelos autores.

Já o *Cluster 2* (13 municípios) foi composto variadamente por municípios de todas as 7 bacias hidrográficas analisadas e sua maioria apresentaram grau de trofia mediano (mesotrófico) e baixa prevalência de DVHs.

O *Cluster 3* (21 municípios) esteve composto com maioria dos seus corpos hídricos nos municípios da BH do Piranhas-Açu (12 municípios), que apresentam IQA médio e grau de trofia variando de mesotrófico a eutrófico, e prevalência de DVHs de média para alta (considerável com relação aos municípios), fato que corrobora novamente com a hipótese deste estudo.

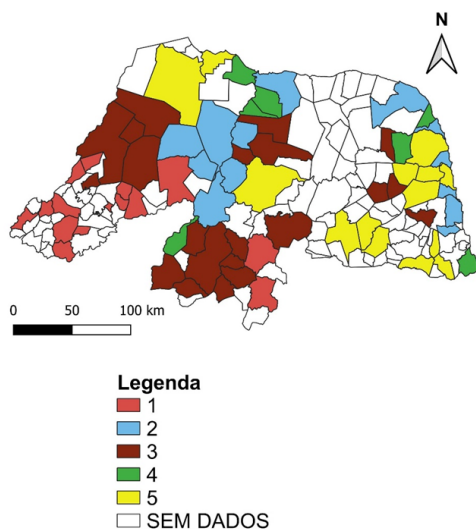


FIGURA 6 – Análise de *Cluster*: caracterização das áreas segundo qualidade hídrica encontrada (mapa do Rio Grande do Norte).

FONTE: Elaborada pelos autores.

O *Cluster 4* esteve conformado por 7 municípios, com corpos hídricos de 4 BH distintas, que apresentaram grau de trofia de oligotrófico a mesotrófico e baixa prevalência de DVHs, embora tenha havido destaque ao município de Jardim de Piranhas (BH Piranhas-Açu) que mesmo sendo oligotrófico teve considerável prevalência de DVHs (10,59/10mil hab.); esse fato pode ser explicado devido ao Rio Piranhas atravessar um longo trecho urbano, onde pode receber cargas poluidoras difusas de atividades agroindustriais, esgotos etc., e que talvez possa estar causando doenças de veiculação hídrica na população.

Finalmente, o *Cluster 5* esteve conformado por 14 municípios, de 6 BHs distintas, de IQA médio e IET de mesotrófico até supereutrófico (Espírito Santo, BH Jacu) e hipereutrófico (Mossoró, BH Apodi-Mossoró). Neste *Cluster*, destaca-se o município de Areia Branca (BH Apodi-Mossoró) que foi eutrófico e apresentou considerável prevalência de DVHs (7,65/10mil hab.). E o município de Santana do Matos (BH Piranhas-Açu) que apresentou IET médio mesotrófico e prevalência de DVHs de 8,4 por dez mil habitantes (hab.) no período analisado. Para compreender a influência da qualidade hídrica sobre a prevalência de DVHs foi ajustado um modelo linear generalizado, elencado na Tabela 1. O modelo com distribuição gamma apresentou uma melhor aderência quando comparado com a distribuição identidade (Critério de Informações de Akaike (AIC): 331 vs. 423 respectivamente).

A qualidade da água descrita através da localização dos mananciais por *Cluster* influenciou significativamente na prevalência de DVHs (X^2 : 41,62; $df=4$; $p<0,001$). Na Tabela 1 são descritos os parâmetros estimados do modelo, onde o *Cluster 5* foi considerado como referência para comparação

dos coeficientes por possuir a melhor qualidade hídrica na área objeto de estudo, como indicado anteriormente. Regiões com água classificada com qualidades intermediárias (*Clusters 2 e 4*) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Os *Clusters 1 e 3* apresentaram diferenças significativas quando comparados com o *Cluster 5* considerado como referência. Assim, as localidades incluídas no *Cluster 3* apresentaram uma razão de chances de 2,48 vezes maior em comparação ao *Cluster 5*, enquanto nas localidades dos municípios incluídos no *Cluster 1* (que engloba os locais com a pior qualidade hídrica) o acréscimo de chances de ocorrência de DVHs foi de 5,20 vezes superior em comparação às áreas com melhor qualidade hídrica consideradas como referência.

No Brasil, a partir da década de 1960, deu-se o adensamento das zonas urbanas sem que as cidades brasileiras tivessem capacidade, em termos estruturais, para comportar um elevado crescimento populacional, sobretudo nas áreas periféricas, onde o aumento foi, em média, quatro vezes maior que nas áreas centrais. Daí, o país consolida-se como

sendo majoritariamente urbano (Tucci, 2009; Miranda & Gomes Junior, 2017). Este fato acarreta sobretudo uma considerável pressão ambiental, social e econômica, visto que desencadeia uma maior demanda pelos recursos naturais; aumento na geração de resíduos, na contaminação do solo e da água; e amplia a insuficiência de saneamento básico. Logo, todos esses elementos geram situações de desequilíbrio que podem atingir as populações vulneráveis e contribuem para o aumento de doenças de veiculação hídrica, entre outras (MS, 2015).

Com base no exposto, o acesso às redes adequadas de abastecimento de água e esgoto é um item de grande relevância na saúde da população. Inúmeras doenças poderiam ser prevenidas através de investimentos em melhorias nessas redes. Cabe ressaltar que a qualidade da água também está relacionada com as condições de funcionamento das estações de tratamento e do modo pelo qual o tratamento é realizado, que, quando inadequado, produz água contaminada e imprópria para consumo, possibilitando assim a ocorrência de doenças e agravos de veiculação hídrica (Guedes *et al.*, 2017).

TABELA 1 – Modelo linear generalizado: parâmetros estimados do modelo.

Parâmetro	B	Esta- tística do teste Padrão	95% Intervalo de Confiança de Wald		Teste de hipótese			Exp(B)	95% Intervalo de Confiança de Wald para Exp(B)	
			Inferior	Superior	Qui-quadra- do de Wald	gl	Sig.		Inferior	Superior
Cluster 1	1,649	0,3655	0,933	2,365	20,352	1	0,000	5,202	2,541	10,649
Cluster 2	-0,410	0,3789	-1,153	0,332	1,173	1	0,279	0,663	0,316	1,394
Cluster 3	0,910	0,3394	0,245	1,576	7,197	1	0,007	2,486	1,278	4,834
Cluster 4	-0,128	0,4553	-1,020	0,765	0,079	1	0,779	0,880	0,360	2,148
Cluster 5	0	1	.	.

FONTE: Elaborada pelos autores.

Em suma, com base nos resultados apresentados, ao considerar a representação contida na Figura 6 de distribuição dos *Clusters* de maneira espacial no estado do Rio Grande do Norte, verifica-se que na mesorregião oeste e parte inferior da mesorregião central potiguar, em municípios inseridos nas Bacias do Rio Apodi-Mossoró e do Rio Piranhas-Açu, especialmente no Seridó, foram onde apresentaram os piores índices tanto de qualidade hídrica quanto de ocorrência de DVHs.

4. Conclusões

A qualidade hídrica é uma representação da saúde ambiental de uma região. A água é um vetor de disseminação de doenças e substâncias tóxicas. Portanto, o monitoramento destas, além de classificar os corpos hídricos, permite estabelecer até condutas relacionadas com a gestão de riscos sanitários. Neste trabalho, a relação entre qualidade hídrica e ocorrência de DVHs foi analisada e foram encontrados padrões de associações dessas doenças com o grau de poluição dos mananciais superficiais do estado do Rio Grande do Norte, utilizados para o abastecimento humano. Destaca-se a necessidade de redes adequadas de abastecimento de água visto que a qualidade da água também se relaciona com as condições de tratamento realizado nas ETAs que, quando incorretos, produzem água imprópria para consumo, favorecendo os casos de DVHs.

O estado do RN ainda possui mais de meio milhão de indivíduos sem acesso à água potável e esta realidade abordada neste manuscrito gera subsídios úteis não só para a gestão ambiental de áreas de mananciais de abastecimento, mas também para o gerenciamento de riscos sanitários, tanto otimi-

zando os recursos disponíveis quanto minimizando os impactos da qualidade hídrica deteriorada sobre a saúde ambiental. Por fim, enfatiza-se a necessidade da implementação de programas de monitoramento dos reservatórios de abastecimento como política pública ambiental, já que a interrupção da vigilância ambiental desfavorece as estratégias aplicadas em benefício da saúde.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (nº 430383/2018-5) – e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Abbasnia, A.; Yousefi, N.; Mahvi, A. H.; Nabizadeh, R.; Radfard, M.; Yousefi, M.; Alimohammadi, M. Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005, 2019. doi: 10.1080/10807039.2018.1458596
- Albuquerque, M.V.D. C.; Cartaxo, A. D. S. B.; Silva, M. C. C. D. P.; Oliveira, R. O.; Sátiro, J. R.; Lopes, W. S.; Leite, V. D.; Ceballos, B. S. O. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas presentes em águas de reservatórios eutrofizados por processos oxidativos avançados (POAs). *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 61234-61248, 2020. doi: 10.34117/bjdv6n8-514
- Almeida, L. C.; Jorge, T. B. F.; Pinto, R.; Canevari, G. C. Cianobactérias e cianotoxinas fatores de risco para o abastecimento de água. *Revista Científica Univiçosa - ANAIS SIMPAC*, 7(1), 508-513, 2015. Disponível em: <<https://aca>

- demico.univicosa.com.br/revista/index.php/RevistaSimpac/article/view/580>. Acesso em: mai. 2021.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Outros usos*, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua/outros-usos>>. Acesso em: jan. 2021.
- Andrietti, G.; Freire, R.; Amaral, A. G.; Almeida, F. T.; Bongiovani, M. C.; Schneider, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Revista Ambiente & Água*, 11(1), 162-175, 2016. doi: 10.4136/ambi-agua.1769
- Araújo, M. F. F.; Nascimento, V. S. F.; Santanna, E. M. E.; Costa, I. A. S.; Panosso, R. F. *Doenças de veiculação hídrica: conhecendo e prevenindo*. Natal: EDUFRN, 2013. Disponível em: <http://mergulhandocienciasnosemiarido.weebly.com/uploads/2/5/7/1/25718193/doen%C3%A7as_de_veicula%C3%A7%C3%A3o_h%C3%ADrica.compressed.pdf>. Acesso em: mai. 2021.
- Bezerra, A. F. M.; Becker, V.; Mattos, A. Balanço de massa de fósforo total e o estado trófico em reservatórios do semi-árido brasileiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(2), 67-76, 2014. doi: 10.21168/rbrh.v19n2.p67-76
- Brasil. *Lei n.º 9433 de 08 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: DOU de 09/1/1997.
- Brasil. *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2019*. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: mai. 2022.
- Brasil. *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014*. Ministério das cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: mai. 2022.
- Carlson, R. E. A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369, 1977. doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361
- Carmichael, W. W.; Azevedo, S. M.; An, J. S.; Molica, R. J.; Jochimsen, E. M.; Lau, S.; Shaw, G. R.; Eaglesham, G. K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental health perspectives*, 109(7), 663-668, 2001. doi: 10.1289/ehp.01109663
- Clark, C. M.; Bell, M. D.; Boyd, J. W.; Compton, J. E.; Davidson, E. A.; Davis, C.; Fenn, M. E.; Geiser, L.; Jones, L.; Blett, T. F. Nitrogen-induced terrestrial eutrophication: cascading effects and impacts on ecosystem services. *Ecosphere*, 8(7), 01-28, 2017. doi: 10.1002/ecs2.1877
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Cálculo online do IQA*, 2007. Disponível em: <http://sobreasaguas.info/iqa_cetesb.aspx>. Acesso em: jan. 2021.
- Chaves, L. C. G.; Lopes, F. B.; Maia, A. R. S.; Meireles, A. C. M.; Andrade, E. M. D. Water quality and anthropogenic impact in the watersheds of service reservoirs in the Brazilian semi-arid region. *Revista Ciência Agronômica*, 50(2), 223-233, 2019. doi: 10.5935/1806-6690.20190026
- Costa, L. A. D. A.; Pessoa, D. M. M.; Carreira, Renato D. S. Chemical and biological indicators of sewage river input to an urban tropical estuary (Guanabara Bay, Brazil). *Ecological Indicators*, 90, 513-518, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.046>
- Cunha, A. P. M.; Tomasella, J.; Ribeiro-Neto, G. G.; Brown, M.; Garcia, S. R.; Brito, S. B.; Carvalho, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, 19(10), 01-08, 2018. doi: 10.1002/asl.855
- Ferreira, K. C. D.; Lopes, F. B.; Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Silva, G. S. S. Adaptação do índice de qualidade da água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, 46(2), 2015. doi: 10.5935/1806-6690.20150007
- Guedes, A. F.; Tavares, L. N.; Marques, M. D. N.; Moura, S. P.; Sousa, M. D. Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica. *Journal of medicine and Health Promotion*, 2(1), 452-461, 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Semi-árido Brasileiro*. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=downloads>>. Acesso em: mai. 2022.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Panorama do RN*, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/panorama>>. Acesso em: mai. 2022.
- IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte. *Bacias Hidrográficas do RN*, 2014. Disponível em: <<http://www.igarn.rn.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2021.
- Jeronimo, C. E. M.; Souza, F. R. S. Determinação do índice de qualidade da água da lagoa de Extremoz-RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos. *Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental*, 10(10), 2219-2232, 2013. doi: 10.5902/223611707888
- Kokociński, M.; Stefaniak, K.; Mankiewicz-Boczek, J.; Izydorczyk, K.; Sojinen, J. The ecology of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyta) in two hypereutrophic lakes dominated by *Planktothrix agardhii* (Oscillatoriales, Cyanophyta). *European Journal of Phycology*, 45(4), 365-374, 2010. doi: 10.1080/09670262.2010.492916
- Lamparelli, M. C. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo, Tese (doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – USP, 2004. doi: 10.11606/T.41.2004.tde-20032006-075813
- Libânio, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Campinas: Editora Átomo, 3. ed., 2010.
- Mattos, L. C.; May, P. Duas secas climaticamente análogas no semiárido nordestino com impactos sociais distintos. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 55, 28-53, 2020. doi: 10.5380/dma.v55i0.73796. e-ISSN 2176-9109
- Miranda, H.; Gomes Júnior, E. Urbanização reflexa: a emergência de arranjos urbanos intermediários no Brasil pós-1990. *EURE (Santiago)*, 43(130), 207-234, 2017. doi: 10.4067/s0250-71612017000300207
- Moura, N. A.; Aragao-Tavares N. K. C.; Amorim, C. A. Cyanobacterial blooms in freshwater bodies from a semiarid region, Northeast Brazil: a review. *Journal of Limnology*, 77(2), 179-188, 2018. doi: 10.4081/jlimnol.2017.1646
- MS – Ministério da Saúde. *Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da OMS*, 2015. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/analise_indicadores_agua_consumo_humano_doencas_hidrica_brasil_2013.pdf>. Acesso em: fev. 2021.
- Nascimento, V. F. S.; Araújo, M. F. F.; Nascimento, E. D.; Sodrê-neto, L. Epidemiologia de doenças diarreicas de veiculação hídrica em uma região semiárida brasileira. *ConScientiae Saúde*, 12, 353-361, 2013. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/929/92928535002.pdf>>. Acesso em: jan. 2021.
- Nova, F. V. P. V.; Tenório, N. B. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru-PE. *Caminhos de Geografia*, 20(71), 250-264, 2019. doi: 10.14393/RCG207145545
- Paiva, R. F. P. S.; Souza, M. F. P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 34(1), 1-11, 2018. doi: 10.1590/0102-311X00017316
- Pandit, M. The Himalayas must be protected: climate change and human activities are pushing the fragile ecosystem ever closer to instability, warns Maharaj K. Pandit. *Nature*, 501(7467), 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/501283a>>. Acesso em: abr. 2021.
- Petta, R. A.; Melo, A. C.; Rezende, P. S. N. Subsídio à gestão ambiental do rio Apodi-Mossoró na área urbana de Mossoró-RN. *Geografia (Londrina)*, 19(2), 127-144, 2010. doi: 10.5433/2447-1747.2010v19n2p127
- Programa Água Azul. *Relatórios de águas superficiais do RN*, 2016. Disponível em: <http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/relatorios/aguas_superficiais/>. Acesso em: fev. 2021.
- Reddy, B.; Dubey, S.K. River Ganges water as reservoir of microbes with antibiotic and metal ion resistance genes: high throughput metagenomic approach. *Environmental Pollution*, 246, 443-451, 2019. doi: 10.1016/j.envpol.2018.12.022
- Renouf, M. A.; Serrao-Neumann, S.; Kenway, S. J.; Morgan, E. A.; Choy, D. L. Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance—bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management. *Water research*, 122, 669-677, 2017. doi:

10.1016/j.watres.2017.05.060

Rocha, M. C.; Pinheiro, K. S. F.; Sousa, C. J. D. S.; Bezerra, J. F. R. Saneamento e qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio paciência, ilha do maranhão, Brasil. *Revista Geotemas*, 11, 2021. Disponível em: <<http://natal.uern.br/periodicos/index.php/GEOTemas/index>>. Acesso em: mai. 2021.

Rodrigues, E. H. C.; De-Carli, B. P.; Vicentin, A. M.; Pompêo, M. L. M.; Carlos, V. M. Cyanobacteria and cyanotoxins in aquatic environments: a short review on the main methods of detection, removal and impacts on human health. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 31(1), 2021. doi: 10.18764/1981-6421e2021.5

Santos e Silva, C. M.; Lúcio, O. S.; Spyrides, M. H. C. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélite e medidas por pluviômetros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(3), 337-346, 2012. doi: 10.1590/S0102-77862012000300008

Silva, B. K. N.; Lucio, P. S. Characterization of risk/exposure to climate extremes for the Brazilian Northeast-case study: Rio Grande do Norte. *Theoretical and applied climatology*, 122(1), 59-67, 2015. doi:10.1007/s00704-014-1275-z

Sinha, A. K.; Eggleton, M. A.; Lochmann, R. T. An environmentally friendly approach for mitigating cyanobacterial bloom and their toxins in hypereutrophic ponds: potentiality of a newly developed granular hydrogen peroxide-based compound. *Science of The Total Environment*, 637, 524-537, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.023

Toledo Júnior, A. P.; Talarico, M.; Chinez, S. J.; Agudo, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: *Anais do 12º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Camboriú, nov., 1983.

Trata Brasil – Instituto Trata Brasil. *Internações de doenças por veiculação hídrica no Brasil*, 2018. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/05/21/internacoes-de-doencas-por-veiculacao-hidrica-no-brasil/>>. Acesso em: jan. 2021.

Trata Brasil – Instituto Trata Brasil. *Estatística brasileira de saneamento*, 2021. Disponível em: <<https://www.tratabrasil.org.br/pt>>. Acesso em: mai. 2022.

Trujillo, A. Epidemiologia: história, tipos e métodos. *Revista Simbiótica*, 3(1), 180-206, 2016. doi: 10.47456/simbitica.v3i1.14624

Tucci, C. E. M. Gestão integrada das águas pluviais urbanas: o desafio da integração e da sustentabilidade. In: Cordeiro, B. S. (Coord.). *Ministério das Cidades. Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos – Livro II*. Editado pelo Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS. Brasília, 2009. p. 323-333.

Vanham, D.; Hoekstra, A. Y.; Wada, Y.; Bouraoui, F.; De Roo, A.; Mekonnen, M. M.; Bund, W. J. V.; Batelaan, O.; Pavelic, P.; Bastiaanssen, W. G. M.; Kummu, M.; Rockstrom, J.; Liu, J.; Bisselink, B.; Ronco, P.; Pistocchi, A.; Bidoglio, G. Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: an evaluation of indicator 6.4.2 “Level of water stress”. *Science of the total environment*, 613, 218-232, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.056

Viviani, R. Eutrophication, marine biotoxins, human health. In: Vollenweider, R.A.; Marchetti, R.; Viviani, R. (Eds.) *Marine coastal eutrophication*. Elsevier, 1992. p. 631-662. doi: 10.1016/B978-0-444-89990-3.50056-0

Yokoyama, A.; Park, H. D. Mechanism and prediction for contamination of freshwater bivalves (Unionidae) with the cyanobacterial toxin microcystin in hypereutrophic Lake Suwa, Japan. *Environmental Toxicology: an international journal*, 17(5), 424-433, 2002. doi: 10.1002/tox.10075

Zhang, H.; Huo, S.; Yeager, K. M.; Wu, F. Sedimentary DNA record of eukaryotic algal and cyanobacterial communities in a shallow Lake driven by human activities and climate change. *Science of the Total Environment*, 753, 141985, 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141985

Zotou, I.; Tsihrintzis, V. A.; Gikas, G. D. Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(5), 537-548, 2020. doi: 10.1080/10934529.2019.1710956