



## Índice de qualidade das águas e variáveis físico-químicas: um estudo de caso na bacia hidrográfica do salgado

*Water quality index and physicochemical variables: a case study in the salgado watershed*

Thiago de Norões Albuquerque<sup>1</sup>  
Letícia Lacerda Freire<sup>2</sup>

**Resumo:** O monitoramento da qualidade das águas disponibiliza informações importantes para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. O entendimento dessas informações tem sido realizado por diversas metodologias, entre as quais o Índice de Qualidade das Águas (IQA). O IQA é determinado a partir de nove variáveis: coliformes termotolerantes, pH, demanda biológica de oxigênio, nitrogênio inorgânico, fósforo, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido). No entanto, os custos envolvidos são um dos entraves para o monitoramento, desse modo, variáveis preditoras podem auxiliar em uma avaliação prévia da qualidade das águas. Nesse sentido, o trabalho objetivou verificar a correlação entre o IQA e variáveis físicas (condutividade e cor) e químicas (clorofila a e cloretos). Foram utilizados dados de monitoramento disponibilizados pela Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará de nove locais de monitoramento da bacia hidrográfica do Salgado, no sentido nascente-exutório, para os anos de 2017 (abril) e 2018 (março). O IQA foi coerente com as condições de uso e ocupação do solo observadas no curso médio do rio, tendo em vista que nas localidades de maior urbanização o índice esteve classificado como “péssimo”. A cor apresentou maior variabilidade entre os parâmetros e uma correlação fraca com o IQA. A correlação mais representativa e inversamente proporcional foi identificada entre IQA e cloretos. Para a determinação do IQA, as variáveis que mais influenciaram em menores índices foram a concentração de oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e os coliformes termotolerantes. Essa influência pode estar associada aos despejos de efluentes sanitários. A identificação de correlação entre as variáveis pode auxiliar em um melhor direcionamento para o monitoramento e o controle ambiental, além de ser essencial para o entendimento dos processos no ambiente.

**Palavras-chave:** Qualidade da água. Monitoramento. Poluição das águas. Índices.

<sup>1</sup> Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental – IFCE. Vínculo institucional - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Buriticupu. E-mail: Thiago.Albuquerque@IFMA.edu.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Vínculo institucional - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. E-mail: leticia.l.arquivos@gmail.com



**Abstract:** Monitoring water quality provides important information for decision-making in the management of water resources. The understanding of this information has been carried out by different methodologies, including the Water Quality Index (WQI). The WQI is determined from nine variables: thermotolerant coliforms, pH, biological oxygen demand, inorganic nitrogen, phosphorus, temperature, turbidity, total residue, and dissolved oxygen). However, high costs are one of the obstacles to monitoring, so predictor variables may help in a prior assessment of water quality. In this sense, the study aimed to verify the correlation between the WQI and physical variables (conductivity and color) and chemical (chlorophyll-a and chlorides). Monitoring data from the State Superintendence of the Environment of the State of Ceará were used from nine points of the Salgado watershed, in the upstream-downstream, for the years 2017 (april) and 2018 (march). The WQI was consistent with the conditions of use and occupation of the land observed in the middle course of the river, considering that in the most urbanized locations the index was classified as “very poor”. However, greater variability between parameters and a weak correlation with WQI. The most representative and inversely proportional correlation was identified between WQI and chlorides. To determine the WQI, the variables that most influenced the lowest indices were dissolved oxygen concentration, biochemical oxygen demand, and thermotolerant coliforms. This influence may be associated with the discharge of sanitary effluents. The correlation between the variables can help in a better direction for the monitoring and the environmental control, besides being essential for the understanding of the processes in the environment.

**Keywords:** Water quality. Monitoring. Water pollution. Indexes.

## 1 Introdução

Os recursos hídricos, cada vez mais, são impactados pelas diversas atividades econômicas. Wen, Schoups e Giesen (2017) estimaram que até o ano de 2050 cerca de 2,5 bilhões de pessoas podem ser afetadas com o comprometimento da qualidade das águas, ao considerarem projeções em rios de grandes bacias hidrográficas em escala global, sob aspectos bioquímicos e hidrológicos destes rios, além das questões de uso e ocupação do solo e das mudanças climáticas. O desenvolvimento agrícola, a urbanização e a mineração podem ser considerados os principais agentes de degradação da qualidade das águas no Brasil (MELLO *et al.*, 2020; FARIA, 2021). Desse modo, o monitoramento qualitativo e a realização de estudos para o entendimento da relação entre as variáveis respostas consistem em subsídios para a gestão dos recursos hídricos em critérios quantitativos e qualitativos.



Segundo Costa (2021), a gestão de recursos hídricos no Brasil demorou a ser aplicada de forma adequada, de modo que efetivamente propusesse mecanismos satisfatórios de proteção das águas. O modelo de gestão participativo foi legalmente consolidado apenas em 1997, através da Política Nacional de Recursos Hídricos, que, entre outros objetivos, buscou reduzir diferentes tipos de conflito por uso e assegurar a manutenção de quantidade e qualidade das águas (FERREIRA; DEBEUS, 2019; COSTA, 2021).

No Sudeste do Brasil, a qualidade dos recursos hídricos é alterada, principalmente, pelas atividades industriais e o crescimento urbano; enquanto no Norte e Nordeste, o impacto gerado pelo agronegócio também é um dos principais agravantes da deterioração da qualidade da água (PEIXOTO; SOARES; RIBEIRO, 2022). Em decorrência dos processos de poluição das águas, diversos prejuízos podem ser observados, podendo afetar diretamente a saúde da população e limitar as possibilidades de uso dos recursos hídricos, seja por redução de qualidade ou do volume disponível (PINHEIRO *et al.*, 2021). Nesse sentido, Sales *et al.* (2021) observaram significativa concentração de metais (alumínio e ferro) nas águas do rio Tapajós, na Amazônia, fato esse que constitui um sério risco à saúde das populações, principalmente ribeirinhas que estão em contato constante com essas águas.

Com relação às águas superficiais no Estado do Ceará, diversos mananciais são classificados como eutróficos, principalmente pelo aporte de nutrientes advindos das áreas urbanas das bacias hidrográficas e por práticas agrícolas existentes em regiões próximas aos recursos hídricos, fato esse que favorece a utilização da metodologia do Índice de Qualidade das Águas (IQA) para estimar os impactos ambientais nesses espaços (ALEXANDRE *et al.*, 2021). Lima, Lima e Souza (2021) destacam a importância da aplicação IQA na região Nordeste como uma ferramenta direcionadora de ações preventivas e corretivas destinadas à gestão adequada dos recursos hídricos.

O Estado do Ceará está subdividido em 12 regiões hidrográficas, onde as bacias metropolitanas e a bacia hidrográfica do Salgado são as mais povoadas. Freire e Santos (2019) identificaram, em um dos municípios da segunda região mencionada, que o crescimento populacional é superior às adesões e capacidade de ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário, desse modo, a maior parte das contribuições de matéria orgânica de efluentes domésticos advém da população não atendida pelo sistema, seguida daqueles que não realizam a interligação. Na bacia hidrográfica do Salgado, através de diversos estudos que verificaram o IQA na escala espacial e temporal, observa-se uma evolução negativa e acelerada em relação aos dados de



qualidade, principalmente aqueles associados às concentrações excessivas de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e coliformes totais e termotolerantes (SOUZA, 2014; NUNES *et al.*, 2019). Além disso, os rios inseridos no território cearense são intermitentes, temporários ou perenizados, sendo mais vulneráveis à deterioração da qualidade, especialmente em anos secos consecutivos - um fato recorrente para a condição climática semiárida (FREIRE; COSTA; LIMA NETO, 2021).

Apesar da importância para o controle ambiental, um monitoramento robusto da qualidade da água para a determinação de índices como o IQA, por exemplo, pode ser oneroso para os órgãos gestores. Assim, considera-se que variáveis auxiliares possam conduzir à necessidade de investigações mais detalhadas, não descartando a importância das avaliações periódicas dos programas de monitoramento já existentes. Nesse sentido, Halliday *et al.* (2014) destaca que a condutividade elétrica é influenciada por qualquer espécie química iônica e esteve bastante associada à concentração de amônia em rios da Inglaterra. Segundo Rangel Junior *et al.* (2018), valores elevados de cor nos recursos hídricos cearenses podem estar associados à floração algal, ocasionada pela concentração excessiva de nutrientes, majoritariamente oriundos de águas residuárias.

Os valores de cloretos podem estar relacionados ao lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais. Um manancial que não sofre interferência antrópica tipicamente não apresenta valores superiores a 50mg/L desses íons (RODIER, 1981 apud PIRATOBA *et al.*, 2017).

A clorofila *a* consiste em um dos métodos mais acessíveis do ponto de vista técnico e econômico para determinação de biomassa fitoplanctônica, sendo utilizada para determinação do Índice de Estado Trófico (IET) (BASTOS, FEITOSA e MUNIZ, 2005). Tal variável é ainda utilizada para determinação do Índice de Qualidade de Água Bruta (IQAB), juntamente com o magnésio, ferro, *Escherichia coli*, cianobactérias, pH, cor verdadeira e turbidez (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho buscou analisar correlações entre o IQA para nove locais de monitoramento da qualidade água em rios, cujo percurso atravessa diferentes municípios da bacia hidrográfica do Salgado, a partir de parâmetros físicos de determinação rápida (cor e condutividade elétrica) e com parâmetros de importância relacionados às alterações sanitárias (cloretos e clorofila *a*), mas não diretamente incluídos na determinação do índice em questão, considerando a possibilidade de encontrar potencialidades ou fragilidades de inferências.



## 2 Metodologia

O presente estudo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, exploratória, a partir de um estudo de caso, com o objetivo de produção de conhecimento acerca da influência de variáveis físicas, químicas e biológicas nas águas da bacia hidrográfica do rio Salgado.

### 2.1 Local de estudo e obtenção de dados

A bacia hidrográfica do rio Salgado (BHS) se encontra ao sul do Estado do Ceará, na região Nordeste e possui como rios tributários o Batateiras, Granjeiro, Carás, São José e Missão Velha; e os riachos Lobo, Cuncas, Saco, Olho D'água, Rosário São Miguel, riacho do Machado e o riacho dos Porcos. A BHS abrange 23 municípios e uma área equivalente a 12.865 km<sup>2</sup>, cuja população corresponde a 949.440 habitantes, e, portanto, uma densidade demográfica de 74 habitantes/km<sup>2</sup> (CEARÁ, 2017).

Os dados de monitoramento utilizados foram disponibilizados pela Superintendência Estadual de Meio Ambiente (SEMACE). Esses dados correspondem às variáveis de coliformes termotolerantes (NMP/100mL), pH, demanda biológica de oxigênio (mg/L), nitrogênio inorgânico (amônia, nitrito e nitrato) (mg/L), fósforo (mg/L), temperatura (°C), turbidez (NTU), resíduo total (mg/L), oxigênio dissolvido (mg/L), cor da água (uH), cloretos (mg/L), condutividade elétrica (µS/cm) e clorofila *a* (µg/L) para nove locais de monitoramento, indicados na Tabela 01 e na Figura 01, para o período chuvoso dos anos de 2017 e 2018. Tal monitoramento é subsidiado pelo Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (Resolução ANA nº 903/2013), no qual a SEMACE participa e realiza, através de contrato, ensaios semestrais de parâmetros físicos, químicos e biológicos para controle da qualidade de água. De acordo com os documentos técnicos fornecidos pela SEMACE, esses locais de monitoramento representam áreas susceptíveis a impactos ambientais, principalmente em razão da influência de áreas urbanas.

**Tabela 01** - Locais de monitoramento dos rios da bacia hidrográfica do Salgado (2017-2018)

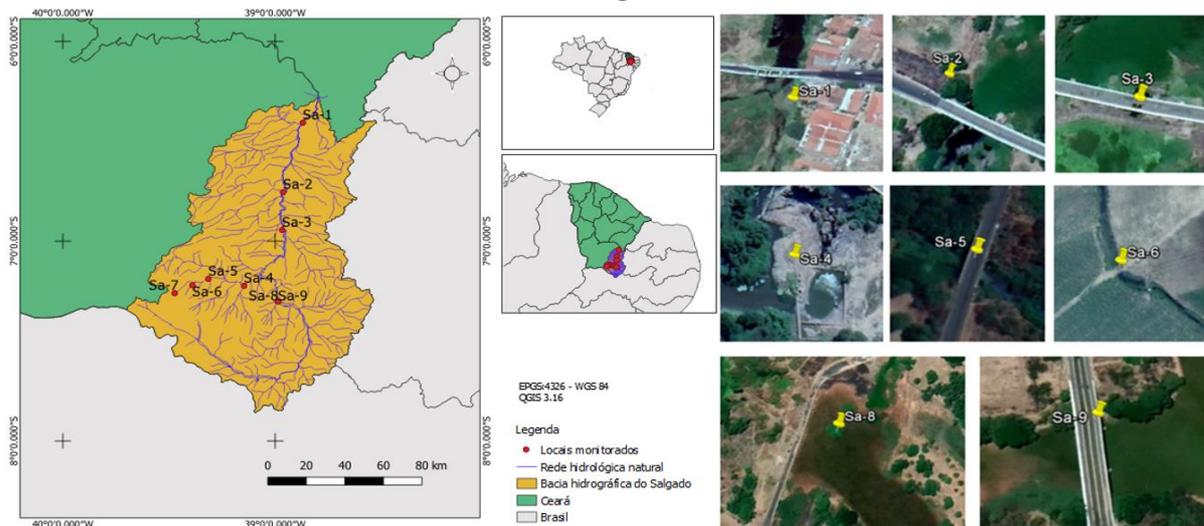
	Rio/Riacho	Município	Referência
Sa-1	Rio Salgado	Icó	Sede municipal, sob a ponte da Rodovia Dep. Tarcísio Monteiro.



Sa-2	Rio Salgado	Lavras da Mangabeira	Sede municipal, sob a ponte da CE-230.
Sa-3	Rio Salgado	Aurora	Sede municipal, sob a ponte da CE-286, sede municipal.
Sa-4	Riacho Salgadinho	Missão Velha	Localidade de Cachoeiras, ao lado do vertedouro triangular do balneário.
Sa-5	Riacho Salgadinho	Juazeiro do Norte	Sob a ponte da CE-060, à jusante da sede municipal.
Sa-6	Riacho Salgadinho	Crato	Sob a ponte de acesso ao Distrito de São Bento.
Sa-7	Rio Batateiras	Crato	Sede municipal, nascente do Rio Batateiras
Sa-8	Riacho dos Porcos	Milagres	Distrito de Podimirim (Rosário), passagem molhada para a CE - 293
Sa-9	Riacho dos Porcos	Milagres	Sede municipal, sob a ponte da BR-116

Fonte: Os autores.

**Figura 02** – Distribuição geográfica dos locais de monitoramento na bacia hidrográfica do Salgado



Fonte: Os autores.

O conjunto de dados selecionados para esse estudo foi produzido em duas campanhas realizadas nos meses de abril e março, em dois anos consecutivos. Excetuando-se em Sa-3, cujas campanhas foram realizadas somente em abril, dentro do



recorte temporal estabelecido. A pluviometria para os meses mencionados nos municípios com trechos monitorados (ver Tabela 01), a partir de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Ceará (FUNCEME), está apresentada na Tabela 02.

**Tabela 02** - Precipitação mensal (mm) nos municípios de localização dos locais de monitoramento

	Icó	Lavras da Mangabeira	Aurora	Missão Velha	Juazeiro do Norte	Crato	Milagres
2017	160	180	180,2	170,2	176,6	190,7	164,3
2018	204,9	223,6	230,2	237,7	237,5	245,6	225,9

Fonte: Os autores.

## 2.2 Determinação do Índice de Qualidade de Água

O IQA foi determinado através da metodologia da CETESB (2017), que adaptou a metodologia da *National Sanitation Foundation* (NSF) para a realidade brasileira. O cálculo do IQA, portanto, foi realizado através do produtório de nove variáveis (equação 01), com diferentes ponderações estabelecidas mediante a importância do parâmetro para a qualidade da água. Na equação 01,  $q_i$  corresponde ao valor referente a  $i$ -ésima variável e  $w_i$  corresponde ao peso determinado para tal variável, em função da sua importância para a conformidade de qualidade das águas para o índice. Os valores do peso variam entre 0 e 1, e aqueles utilizados para a equação adotada estão apresentados na Tabela 03.

$$\text{Índice de Qualidade das Águas (IQA)} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{equação 01}$$

**Tabela 03** - Peso correspondente às variáveis utilizadas para a determinação do IQA

Variável	Peso
Coliformes termotolerantes	0,15



pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Nitrogênio inorgânico (amônia, nitrito e nitrato)	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08
Oxigênio dissolvido	0,17

Fonte: Os autores.

Posteriormente, os valores de IQA determinados em cada ano e por local monitorado foram relacionados às classes de qualidade (CETESB, 2017) apresentadas na Tabela 04.

**Tabela 04** - Classificação do Índice de Qualidade das Águas (CETESB, 2017)

Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima
$79 < IQA \leq 100$	$51 < IQA \leq 79$	$36 < IQA \leq 51$	$19 < IQA \leq 36$	$IQA \leq 19$

Fonte: (CETESB, 2017).

### 2.3 Correlações adotadas

Para identificar a correlação entre os possíveis preditores de qualidade da água e o IQA foi determinada a correlação de Pearson entre as variáveis de interesse. As correlações foram determinadas para: IQA *versus* cor da água, IQA *versus* condutividade elétrica, IQA *versus* cloretos e IQA *versus* clorofila *a*.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Índice de Qualidade das Águas na BSH

Os resultados encontrados para o IQA foram apresentados na Tabela 05. Verificou-se que para o ano de 2017, o IQA esteve entre as categorias *boa*, *regular* e *péssima*. Considerando o ano de 2018, foram observadas as classificações *boa*, *regular* e *ruim*.

Os resultados nas classificações que indicaram a qualidade da água mais deteriorada estão em cursos fluviais entre os municípios de Juazeiro do Norte (Sa-5), Crato (Sa-6) e Milagres (Sa-8). Os dois primeiros municípios apresentam a maior população em relação aos demais municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado (COGERH, 2009). Segundo Barros (2019), a redução da qualidade das águas superficiais na bacia do Salgado ocorre, principalmente, em razão de ações antrópicas, tais como a retirada da mata ciliar, a disposição irregular de resíduos, práticas agropecuárias, adensamento urbano e déficits na cobertura de saneamento. Desse modo, há uma redução da qualidade da água ao longo do trajeto do rio à medida que perpassa os núcleos urbanos.

**Tabela 05** - Resultados do Índice de Qualidade da Água para os locais de monitoramento avaliados

	Sa-1	Sa-2	Sa-3	Sa-4	Sa-5	Sa-6	Sa-7	Sa-8	Sa-9
2017	37	52	40	39	17	19	75	37	42
2018	58	44	63	45	20	21	NC*	20	46

Legenda:

Boa	Regular	Ruim	Péssima
-----	---------	------	---------

\*NC - Não calculado - ausência do dado de Coliformes Totais Termotolerantes.

Fonte: Os autores.

As classificações de qualidade da água corroboram também com o identificado por Freire, Costa e Lima Neto (2021) e Oliveira *et al.* (2017), onde a principal causa de influência na qualidade das águas foram fontes pontuais de poluição. A acentuada ocupação antrópica e a disposição inadequada de efluentes não tratados nos cursos de água foram identificadas como causas principais nos baixos valores do IQA observados,



onde a DBO, o OD e as frações de nitrogênio são as variáveis mais influentes (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Nesse sentido, Lima e Sales (2017), avaliando o IQA de mananciais na região Nordeste, concluíram que a qualidade da água é mais fortemente influenciada pela DBO, OD, coliformes termotolerantes e sólidos totais dissolvidos, corroborando aos verificado neste trabalho.

A classificação da qualidade das águas corrobora ainda ao identificado por Costa *et al.* (2018), em estudo realizado para a mesma bacia hidrográfica. Segundo tal pesquisa, à montante de uma das maiores estações de tratamento de esgoto (ETE) da região, o IQA tende a ser maior. No entanto, mesmo à montante da ETE, apresenta condições de elevada deterioração da qualidade da água, o que é agravado a jusante.

Quanto à escala temporal, observou-se uma variação interanual de classe “regular” para “boa”, entre os locais de monitoramento Sa-1 e Sa-3 e, de “péssima” para “ruim”, em Sa-5 e Sa-6 (Tabela 05). Houve mudança de classificação também no Sa-8, no entanto para uma qualidade inferior (“regular” para “ruim”).

Dentre as possíveis justificativas para a melhoria da qualidade da água em Sa-1, Sa-3, Sa-5 e Sa-6 está uma maior precipitação durante o ano de 2018, cujo escoamento superficial resultante pode favorecer ao aumento de vazões e uma maior diluição dos poluentes, influenciando positivamente o valor final do IQA, em áreas com despejos pontuais de águas residuárias. Por outro lado, o aumento da precipitação pode favorecer o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica, e, quando as fontes de poluição são em sua maioria difusas, há uma alteração negativa na qualidade da água (BOWES *et al.*, 2012; FREIRE *et al.*, 2021). Sendo essa uma justificativa para a redução da qualidade em Sa-2 e Sa-8.

Essa situação foi observada nos estudos de Freire (2020), onde, avaliando-se um histórico de dados entre 2013 e 2018 para rios do semiárido, observou-se um aumento de pH na estação seca, de cor (verdadeira) na estação chuvosa após período seco, de turbidez na estação chuvosa dos anos mais chuvosos, de DBO e fósforo total nos anos mais secos, de nitrogênio inorgânico na estação chuvosa e clorofila a na estação seca. Assim, regiões com baixo incremento de efluentes sanitários e conseqüentemente menor DBO, como em Sa-2 e Sa-8, podem ter redução mais acentuada de sua qualidade em períodos com maior intensidade de precipitações.

Uma condição de boa qualidade, segundo o índice, foi identificada apenas para Sa-1, Sa-2, Sa-3 e Sa-7. Destaca-se que o Sa-7 corresponde a um local de monitoramento nas proximidades da nascente do rio Batateiras, para a qual a classificação esperada

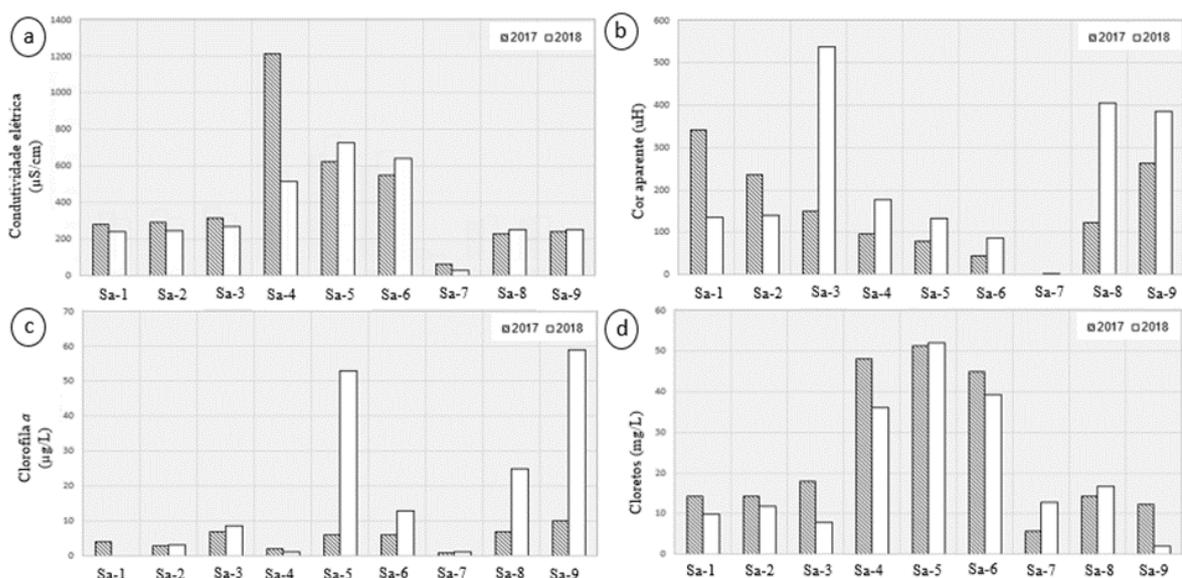


seria uma condição ótima. Segundo Silva e Lima (2019), o rio Batateiras e sua nascente têm sido significativamente impactados tanto pela construção de mansões e casas de veraneio próximas a esse espaço como pela redução dos volumes de água disponíveis, processo intensificado pelo desmatamento e plantio de lavouras na região.

### 3.2 Condutividade, cor, clorofila a e cloretos na BSH

Os maiores valores identificados para condutividade elétrica e cloretos ocorreram nos locais de monitoramento Sa-4, Sa-5 e Sa-6, conforme apresentado na Figura 2. Os valores máximos de condutividade foram encontrados para Sa-4 (1212 $\mu$ S/cm) e Sa-5 (729 $\mu$ S/cm) nos anos de 2017 e 2018, respectivamente. Para os demais locais de monitoramento, em ambos os anos, os valores se mantiveram acima de 200 $\mu$ S/cm, exceto nas proximidades da nascente do rio Batateiras (Sa-7). Guedes *et al.* (2016) avaliaram a condutividade elétrica na bacia hidrográfica do Salgado obtendo valores de 627 a 677  $\mu$ S/cm e os associaram às características do solo decorrente da decomposição das rochas presentes na região de amostragem. Segundo Paula Filho *et al.* (2020), naturalmente as águas da bacia hidrográfica do Salgado apresentam elevados valores de cloretos e condutividade elétrica, de modo que a disposição inadequada de efluentes sanitários e as atividades agrícolas intensificam essas variáveis.

**Figura 02** - Condutividade, cor, clorofila a e cloretos para os anos de 2017 e 2018 nos locais de monitoramento avaliados



Fonte: Os autores.



A cor da água aumenta no sentido nascente-exultório da bacia hidrográfica. Os resultados variaram entre 3 a 537 uH, onde o maior valor ocorreu em Sa-3 e o menor valor no em Sa-7. Um aumento da cor também foi identificado nos locais de monitoramento Sa-8 e Sa-9, respectivamente com 406 e 386 uH. Os dados corroboram o identificado por Lima e Sales (2018), ao identificarem valores de cor mais reduzidos em ambientes naturais e os mais elevados em ambientes com forte ocupação urbana, em águas superficiais das bacias metropolitanas do Estado do Ceará.

A cor da água tende a sofrer aumento em períodos de maior precipitação para rios em região semiárida (FREIRE; COSTA; LIMA NETO, 2021). Associado às precipitações, outro fator influente consiste no desmatamento identificado nos municípios de Aurora (Sa-3) e Milagres (Sa-8 e Sa-9), o qual pode contribuir para a erosão do solo e o transporte de sedimentos para os mananciais, fatores que influenciam na alteração da cor das águas (MACHADO, 2018; MAGALHÃES, 2013).

A concentração de cloretos foi superior a 50 mg/L apenas no município de Juazeiro do Norte, nos dois anos avaliados (51,3 mg/L e 52 mg/L). Tanto a condutividade elétrica como a concentração de cloretos foram maiores neste local de monitoramento, corroborando com o estudo realizado por Andrade *et al.* (2007) no rio Jaibaras, no Estado do Ceará, onde encontrou uma forte correlação ( $R=0,776$ ) entre condutividade e cloretos.

As concentrações de clorofila *a* aumentaram no ano de 2018 para sete dos nove locais avaliados, com pequenas reduções apenas para o Sa-1 e o Sa-4. Os menores valores foram identificados em Sa-7 (1 e 1,1  $\mu\text{g/L}$ ). A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece o enquadramento de qualidade para águas superficiais, onde define para as águas em classe 1 um limite de 10 $\mu\text{g/L}$  e, em mananciais de Classe 2, um valor limite de 30 $\mu\text{g/L}$ . No ano de 2017, todos os valores desse parâmetro estiveram inferiores ao determinado para classe 1. No segundo ano, em Sa-5 e Sa-6, os valores foram superiores à recomendação máxima para classe 2.

### 3.3 Correlação entre o IQA e os parâmetros analisados

As correlações de Pearson entre o IQA e as variáveis avaliadas estão apresentadas na Tabela 06. A cor da água apresentou maior variabilidade entre os anos e uma menor relação com o IQA. Essa variável pode sofrer influência de partículas suspensas não dissolvidas, tornando-o ainda mais sensível às condições ambientais ou interferências relacionadas ao local de amostragem. Segundo Menezes *et al.* (2016), a



avaliação da correlação de dados do IQA com a cor aparente da água, na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, também apresentou relação positiva e fraca, o que foi atribuído a maior influência de causas naturais, como o escoamento superficial na região.

Considerando-se o aumento do desmatamento na região e a intensificação do processo de transporte de partículas através do escoamento das águas pluviais, conforme verificado por Alves, Khan e Lima (2021), torna-se possível que os resultados obtidos tenham a mesma causa do verificado por outros pesquisadores. Nesse caso, a correlação observada é baixa, pois no IQA, apenas seu indicador turbidez se relacionaria de forma mais intensa com a cor (LOPES *et al.*, 2014). Ademais, a correlação foi mais acentuada em 2018, quando as precipitações são mais intensas.

**Tabela 06** - Correlação de Pearson (R) entre o IQA e os parâmetros analisados

Ano	Cor		Condutividade elétrica		Cloretos		Clorofila $\alpha$	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
R	0,13	0,34	-0,46	-0,61	-0,74	-0,66	-0,51	-0,31

Fonte: Os autores.

A correlação entre o IQA e a condutividade elétrica foi negativa e moderada. Os resultados corroboram ao encontrado por Sanchez, Benassi e Cardoso (2020), ao concluírem que a correlação entre os valores de IQA e condutividade pode ser expressa de forma inversamente proporcional, através de avaliação com um conjunto de dados com 408 pontos de amostragem da rede de monitoramento de águas superficiais do Estado de São Paulo. Para Reis, Amado e Benvenuti (2022), a relação entre o parâmetro cor e a condutividade é uma forte correlação negativa.

Avaliando-se os resultados na escala temporal, houve uma correlação negativa e moderada entre o IQA e as variáveis condutividade, cloretos e clorofila  $\alpha$ , para o ano de 2017. No ano seguinte houve aumento da correlação para a condutividade e redução quanto aos cloretos e clorofila  $\alpha$ , sendo nesta última a mudança de relação moderada para fraca.

Com a intensificação das precipitações entre os anos de 2017 e 2018, os valores de cloretos tendem a se elevar nos recursos hídricos, em decorrência do transporte e



dissolução de minerais, além da introdução de esgotos domésticos. Por outro lado, a qualidade da água determinada pelo IQA pode melhorar em razão de um efeito de diluição das fontes de poluição pontuais. Processo similar foi observado por Sousa *et al.* (2021), avaliando um riacho afluente do rio Tocantins, Imperatriz-Ma.

Com relação à clorofila  $a$ , a magnitude de correlação dessa variável com o IQA reduziu entre os anos avaliados. Apesar da relação direta entre fósforo e nitrogênio e a concentração de clorofila  $a$ , em anos mais chuvosos, uma melhoria no IQA pode não estar relacionada diretamente à redução do estado trófico. Em reservatórios, ambiente de águas lânticas, o aumento da precipitação contribuiu para o aumento da correlação entre o IQA e a clorofila  $a$  (SOUZA *et al.*, 2018; LIMA, 2017). No entanto, para ambiente lótico a intermediário, outros fatores podem influenciar de forma preponderante sobre a concentração de clorofila  $a$ , como a biodisponibilidade de nutrientes e a velocidade da água, o que não é diretamente detectado pelo IQA.

Algumas medidas estruturais com o melhoramento dos sistemas de esgotamento sanitário e demais obras de saneamento podem promover o melhoramento da qualidade das águas, minimizando os despejos pontuais. Além disso, o mapeamento de áreas sensíveis a impactos ambientais para a estruturação de projetos de revegetação pode auxiliar na manutenção da qualidade da água nas áreas fortemente impactadas (SANTOS *et al.*, 2019). Tais medidas devem ser acompanhadas de ações para a educação ambiental e sanitária junto à população local. A utilização dos dados do IQA para apresentação do estado de qualidade das águas pode possibilitar um maior entendimento sobre a importância da conservação dos espaços naturais (SIMÕES NETO; ALENCAR; ROCHA, 2018).

#### **4 Considerações finais**

O presente trabalho realizou um estudo de caso na bacia hidrográfica do Salgado, quanto ao IQA e variáveis físico-químicas não incluídas na determinação do índice. A qualidade da água, pela determinação do IQA, variou entre as classes “boa” a “péssima” para os locais de monitoramento avaliados. Em Sa-5 (Crato) e Sa-6 (Juazeiro do Norte), a qualidade das águas foi inferior aos demais, respectivamente com valores de 17 e 19, classificando-as como péssima e ruim, possivelmente em razão do despejo de águas residuárias. Para o cálculo do IQA, os parâmetros que mais influenciaram de forma negativa foram a concentração de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de



oxigênio e coliformes termotolerantes, apresentando mais uma vez indicativo de disposição irregular de efluente doméstico.

Quanto à correlação entre as variáveis, observou-se uma correlação negativa de caráter inversamente proporcional entre o IQA e a concentração de cloretos, a clorofila  $\alpha$  e a condutividade elétrica, nessa ordem de magnitude. A relação entre o IQA e a cor da água não apresentou significância estatística.

A avaliação desenvolvida neste estudo pode subsidiar atividades de educação ambiental e sanitária para a conscientização da população quanto ao estado de deterioração da qualidade das águas, cujas classes indicaram situações que podem comprometer os usos múltiplos e a qualidade ambiental. Além disso, esse estudo contribui para o entendimento da relação entre variáveis de determinação rápida e o IQA, onde a concentração de cloretos, que está relacionada às contribuições de efluentes sanitários, foi um importante preditor deste índice, com correlação inversamente proporcional; não descartando-se as correlações com a condutividade elétrica e a clorofila  $\alpha$ , as quais, apesar de moderadas, também foram significativas.

### Referências

ALEXANDRE, D.M. B. *et al.* O uso do solo e a qualidade da água do Sistema Pacoti-Riachão e Gavião, na bacia metropolitana de Fortaleza, Ceará. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 98956-98970, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-288>. Acesso em: 06 maio 2022.

ALVES, Christiane Bezerra; KHAN, Ahmad Saeed; LIMA, Patrícia Verônica Pinheiro Sales. Implicações Socioambientais e Ações de Responsabilidade Socioambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha na Região Metropolitana do Cariri – CE. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**, Matinhos, v. 7, n. 2, p. 102-134, jul./dez. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/guaju.v7i2.80713>. Acesso em: 06 maio 2022.

BARROS, Felipe Felix. **Impactos Ambientais no Trecho Urbano do Rio Salgado em Lavras da Mangabeira-CE**. 2019. 54 f. TCC (Graduação em Geografia), - Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10956#:~:text=Os%20impactos%20ambientais%20negativos%20que,agropecu%C3%A1rios%20e%20crescimento%20urbano%20desordenado>. Acesso em: 06 maio 2022.



BASTOS, Rafaella Brasil; FEITOSA, Fernando Antônio do Nascimento; MUNIZ, Kátia. Variabilidade Espaço-Temporal da Biomassa Fitoplanctônica e Hidrologia no Estuário do Rio Una (Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, p.1-18, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília, 1997.

BRASIL. **Resolução Coema nº 02, de 2017**. Dispõe Sobre Padrões e Condições para Lançamento de Efluentes Líquidos Gerados por Fontes Poluidoras, Revoga as Portarias Semace Nº 154, de 22 de julho de 2002 e Nº 111, de 05 de abril de 2011, e Altera a portaria Semace Nº 151, de 25 de Novembro de 2002. Fortaleza, 2017.

BRASIL. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe Sobre A Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento, bem como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e dá Outras Providências. Diário Oficial da União. Nº87. 2005.

CEARÁ. **Cartilha com resultados do projeto: Avaliação do Impacto Econômico da Degradação Ambiental (AIEDA) / Governo do Estado do Ceará**. – Ceará, 2017. 52 p.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Caderno Regional da Sub-bacia do Salgado**. Estado do Ceará, v. 11. Fortaleza, 2009. 136 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: Cetesb, 2017. 303 p.

COSTA, Fábio Augusto Alho da. A Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos como Estratégia para seu Uso Sustentável no Brasil. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, [S. l.], p. 113-132, jul./dez. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2021.v7i2.8408>. Acesso em: 06 maio 2022.

COSTA, L.D.A. *et al.* Avaliação da Influência do Lançamento de Efluente Tratado no Índice de Qualidade das Águas em um Trecho do Rio Salgadinho. *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO DOS INSTITUTOS FEDERAIS. **Anais [...]**. Recife, Pernambuco. 2018.

FARIA, Pedro Oliveira. **O Enquadramento das Águas Doces Superficiais no Brasil: Desafios e Potencialidades para a Gestão da Qualidade Hídrica**. 2021. 94 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.



FERREIRA, S.M.; DEBEUS, G. Avaliação dos Modelos de Gestão ao Longo da História em Portugal e Brasil: Um Olhar Acerca das Tendências Internacionais nas Políticas Públicas Hídricas. **Revista Geografia**, v. 2, n. 9. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.35416/geoatos.v2i9.6341>. Acesso em: 06 maio 2022.

FREIRE, L.L.; COSTA, A. C; LIMA NETO, I. E. Spatio-temporal Patterns of River Water Quality in the Semiarid Northeastern Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 232, n. 452. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05406-7>. Acesso em: 06 maio 2022.

FREIRE, L.L.; SANTOS, Y.T.C. Estimativa das Contribuições de Carga Orgânica Doméstica e Impactos Ambientais das Ligações Inadimplentes de Esgoto em Juazeiro do Norte - Ceará. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 5-24, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.33809/2447-4606.4220185-24>. Acesso em: 06 maio 2022.

FREIRE, Letícia Lacerda. **Variação Sazonal e Interanual da Qualidade das Águas de Rios do Semiárido Brasileiro**. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GUEDES, T. A. *et al.* Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais da Comunidade de Barro Vermelho, Município de Aurora, Ceará, Para Fins de Irrigação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 10, p. 37-44, maio 2016.

HALLIDAY, S.J. *et al.* The Water Quality of the River Enborne, UK: Observations from High-Frequency Monitoring in a Rural, Lowland River System. **Water**, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 150-180, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w6010150>. Acesso: 09 maio 2022.

LIMA, A. A. G.; SALES, M. C. L. Índice de Qualidade de Água em Comunidades Inseridas em Bacias Hidrográficas Rurais: O Caso dos Distritos de Jubaia e Cachoeira em Maranguape, Ceará. **Revista Casa da Geografia**, Sobral, v. 20, p. 51-68, jul. 2018.

LIMA, I. D. R.; LIMA, M. O. B.; SOUZA, V. E. S. Avaliação dos Impactos Ambientais E dos Aspectos de Quantidade e Qualidade de Água da Bacia do Rio Remédios. **Caderno de Graduação**, Alagoas, v. 6, n. 3. p. 45-56, maio 2021. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/issue/view/358>. Acesso: 09 maio 2022.

LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H. Avaliação da Qualidade da Água dos Reservatórios Localizados nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piauí – Real, Utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA). **Scientia Plena**, Sergipe, v. 13, p.1-10, 2017.



LOPES, F. B.; BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.; ANDRADE, E.M.; CHAVES, L. C. G. Modelagem da Qualidade das Águas a partir de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 18, p. 13-19, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS13-S19>. Acesso: 09 maio 2022.

MACHADO, Carolina Barroso. **Identificação e Preservação das Nascentes no Estado do Ceará**. 2018. 39 f. TCC (Graduação em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos) - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

MAGALHÃES, Maria Vanessa Macedo. **As Matas Ciliares e a Degradação Ambiental: o Caso do Município de Aurora-CE**. 2013. 54 f. TCC (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2013.

MELLO, K. *et al.* Multiscale Land use Impacts on Water Quality: Assessment, Planning, and Future Perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>. Acesso: 09 maio 2022.

MENEZES, João Paulo Cunha *et al.* Relação entre Padrões de Uso e Ocupação do Solo e Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 21, p. 519-534, jul./set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>. Acesso: 09 maio 2022.

NUNES, Likaele Moreira *et al.* Pesquisa de Coliformes Totais e Termotolerantes no Rio Salgadinho no Município de Juazeiro do Norte-CE. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, [S. l.], v. 7, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reac.e2243.2019>. Acesso: 09 maio 2022.

OLIVEIRA, Diego Barreto de. **Hidrologia**. Pearson Education, São Paulo. 2016. 176 p.

OLIVEIRA, L. D. M. *et al.* IQA do Rio Jaguaribe, Ceará. *In*: FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 28., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. Fortaleza: ABES, 2017. p. 1-5.

OLIVEIRA, M. D.; REZENDE, O. L. T.; OLIVEIRA, S. M. A. C.; LIBÂNIO, M. Nova Abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta Utilizando a Lógica Fuzzy. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 19, p.361-372, out./dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000803>. Acesso: 09 maio 2022.



PEIXOTO, F. S.; SOARES, J. A.; RIBEIRO, V. S. Conflitos pela Água no Brasil. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, p. 1-13, 2022.

PINHEIRO, E. S.; TARGA, M. S.; BALDUÍNO, A.R.; CATELANI, C. S. Impactos na Saúde da População Frente aos Efeitos da Poluição Urbana nas Margens do Riacho do Meio no Município de Imperatriz/MA: uma Revisão Integrativa. **Revista Técnica de Ciências Ambientais**, Taubaté, p. 1-8, 2021.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar *et al.* Caracterização de Parâmetros de Qualidade da Água na Área Portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, p. 435-456, jun. 2017.

RANGEL JUNIOR, Adjuto *et al.* Composição de Cianobactérias Planctônicas em um Reservatório de Abastecimento Público, Ceará, Brasil. **Revista Desafios**, Brejo Santo, v. 5, p. 100-110, jan. 2018.

REIS, Fabio Antonio da Silva; AMADO, Franco Dani Rico; BENVENUTI, Tatiane. Qualidade da Água de Abastecimento e Fatores de Risco à Saúde na Comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, [S. l.], fev. 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em:

<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6213>. Acesso em: 10 abr. 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6213>.

SALES, Reginaldo da Silva *et al.* Esse Rio é Minha Rua: Análise da Qualidade da Água do Rio Tapajós na Orla Portuária de Santarém-PA Reginaldo. **Educação Ambiental e Cidadania**, [S. l.], p. 245-266, 2021.

SANCHEZ, Aline Alves; BENASSI, Roseli Frederigi; CARDOSO, Andréa de Oliveira. Análise Das Variáveis Limnológicas e do Índice de Qualidade de Água no Estado de São Paulo (Brasil). *In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 19., 2020, Recife. **Anais [...]**. Recife: Abes, 2020. p. 1-10.

SANTOS, Y. T. C. *et al.* Utilização de Imagens de Sensoriamento Remoto para Mapear a Mata Ciliar em um Setor do Rio Salgadinho, Juazeiro do Norte, Estado do Ceará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 30., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Abes, 2019. p. 1-8.

SILVA, Daniel Pereira; LIMA, Ernane Cortez. Impactos Ambientais no Alto Curso da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Batateiras na Região Sul do Estado do Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, p. 1091-1103, 2019.



SIMÕES NETO, José de Caldas; ALENCAR, Rebeca Thais Felix de; ROCHA, Ariza Maria. Identificação de Pontos Para a Prática de Educação Ambiental na Região Metropolitana do Cariri Cearense. **Caderno de Ciências Cultural**, [S. l.], v. 17, p. 48-62, 2018.

SOARES, Rafael Diego Barbosa; CRUZ, Ronne Wesley Lopes da; SILVA, Carlos Ernando da. A Influência da Precipitação na Variabilidade da Qualidade da Água do Rio Parnaíba. **Brazilian Journal Of Development**, [S. l.], v. 5, p. 16643-16672, 2019.

SOUSA, M. J. A. *et al.* Índice de Qualidade da Água da Sub-bacia do Riacho Cacau, Portal da Amazônia Imperatriz-MA. **Research, Society And Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 1-18, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12631>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SOUZA, Débora Nery. **Comportamento Temporal do IQA (Índice de Qualidade da Água) e sua Relação com a Precipitação em um Trecho dos Rios Batateiras e Granjeiro - Ceará**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, 2014.

SOUZA, S. O.; LIMA, G.R.R.; ALENCAR, F. K. M.; DA SILVA, F.J.A. Avaliação da Relação entre o Índice de Qualidade da Água e o Índice de Estado Trófico em Reservatório do Semiárido Brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 9., 2018, São Bernardo do Campo. **Anais** [...]. São Bernardo do Campo: Congea, 2018. p. 1-6.

WEN, Yingrong; SCHOUPS, Gerrit; GIESEN, Nick van de. Organic Pollution of Rivers: Combined Threats of Urbanization, Livestock Farming and Global Climate Change: **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1-9, 23 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep43289> Acesso em: 10 abr. 2022.