



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Inferência sobre a perda histórica da qualidade da água de um açude urbano utilizando o sensoriamento remoto

Teobaldo Gabriel de Souza Júnior¹, Ana Célia Maia Meireles², Carlos Wagner Oliveira³,

Francisco José de Paula Filho⁴, Jorge Marcell Coelho Menezes⁵, Basílio Silva Neto⁶

¹Prof. do IFPB campus Cajazeiras-PB, Mestre pelo PRODER/UFCA, e-mail: teobaldo.ebm@hotmail.com (autor correspondente); ²Profª Drª da UFCA campus Crato-CE, e-mail: ana.meireles@ufca.edu.br; ³Prof. Dr. da UFCA campus Crato-CE, e-mail: carlos.oliveira@ufca.edu.br; ⁴Prof. Dr. da UFCA campus Juazeiro do Norte-CE, e-mail: francisco.filho@ufca.edu.br; ⁵Téc. de Lab. da UFCA campus Juazeiro do Norte-CE e Doutorando pelo PPQB/URCA, e-mail: jorge.menezes@ufca.edu.br; ⁶Prof. Dr. do IFCE campus Juazeiro do Norte-CE, e-mail: basilio@ifce.edu.br

Artigo recebido em 29/07/2020 e aceito em 28/07/2021

RESUMO

Embora seja a área que detenha a menor parcela dos recursos hídricos do país, o semiárido brasileiro evidencia casos de descuido com esse valioso elemento. Assim, a presente investigação propôs realizar estudo sobre a perda da qualidade da água do açude Senador Epitácio Pessoa (Açude Grande), relacionando sua histórica degradação ao crescimento da cidade de Cajazeiras-PB, onde está localizado. O objetivo do artigo foi demonstrar, mediante exemplo concreto, a possibilidade de se inferir sobre a qualidade da água superficial lançando mão de técnicas de Sensoriamento Remoto comparadas à realidade constatada no campo. A principal metodologia empregada foi o uso dos Coeficientes de Determinação Linear (R^2) e de Correlação de Pearson (ρ) entre o Índice de Estado Trófico para Reservatórios no Semiárido (IET_{SA}) e a resposta espectral da água captada por meio de satélite, aferidos entre o período chuvoso e o período seco de 2019. Para isso, foram utilizados dados registrados pela série de missões LANDSAT visando, a partir do comportamento do lago, no presente, analisar como este se portou ante as expansões da mancha urbana e populacional. Com os resultados observados concluiu-se que: de acordo com o IET_{SA} o açude encontra-se eutrofizado; existe correlação entre o Índice aplicado e as bandas correspondentes às cores verdes e vermelhas; o crescimento da urbe influenciou diretamente na qualidade da água do açude; e, a partir do Sensoriamento Remoto, é possível deduzir como se dá a evolução temporal da degradação da água superficial de um manancial, podendo o método ser replicado ao obedecer-se as especificidades verificadas *in situ*.

Palavras-chave: Reservatório Urbano, Monitoramento Hídrico Remoto, Poluição Aquática.

Inference on historical loss of water quality in an urban weir using remote sensing

ABSTRACT

Although it is the area that holds the smallest portion of the country's water resources, the Brazilian semiarid region shows cases of carelessness with this valuable element. Thus, the present investigation proposed to carry out a study on the loss of water quality in the Senador Epitácio Pessoa weir (Açude Grande), relating its historical degradation to the growth of the city of Cajazeiras-PB, where it is located. The aim of the article was to demonstrate, by means of a concrete example, the possibility of inferring about the quality of surface water, using Remote Sensing techniques compared to the reality found in the water body. The main methodology employed was the use of Linear Determination Coefficients (R^2) and Pearson's Correlation (ρ) between the Trophic State Index in Semiarid Reservoirs (TSI_{SA}) and the spectral response of water captured by satellite, measured between the rainy and dry periods of 2019. For this, data recorded by the series of LANDSAT missions were used, aiming to analyze, from the lake's behavior, how it behaved before the expansions of the urban and population spot. With the observed results it was concluded that: according to TSI_{SA} the weir is eutrophic; there is a correlation between the applied index and the bands corresponding to the green and red colors; the growth of the city directly influenced the water quality of the reservoir; and, from Remote Sensing, it is possible to deduce how the temporal evolution of the degradation of the surface water of a spring occurs, and the method can be replicated by obeying the specificities verified *in situ*.

Keywords: Urban Reservoir, Remote Water Monitoring, Water Pollution.

Introdução

Condição *sine qua non* para a manutenção da vida, a água é imprescindível para a realização das atividades ecológicas e econômicas. Por tal motivo, Oliveira e Molica (2017, p. 5) endossam que este bem abiótico e inorgânico é tão importante, que nas missões espaciais é imediatamente procurado, pois é premissa básica para que se possa pensar na existência de algum tipo de ser vivo em outro planeta.

Nesse sentido é fácil intuir que, assim como os demais viventes, a humanidade sempre foi dependente da água para a sua sobrevivência. A passagem da condição de nômade para sedentário, ocorrida, segundo Sposito (2005, p. 12), por volta de 15 mil anos atrás e vinculada à necessidade de produção de alimentos e à domesticação de animais, demandou do homem uma maior proximidade com esse recurso natural.

Diante disso, não é coincidência que as grandes civilizações pretéritas, e que iriam originar as primeiras cidades, tenham se estabelecido em áreas às margens de caudalosos rios, as quais Tamdjian e Mendes (2010, p. 273) elencam como exemplos: Mesopotâmia (atual Iraque), vale do Nilo (Egito), vale do Indo (centro-norte da Índia) além das adjacências dos grandes rios chineses (Hoang-Ho e Yang Tsé-Kiang).

Embora desde o seu surgimento o *homo sapiens* provoque alterações na dinâmica terrena, foi a partir da Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XVIII, que ocorreu uma drástica mudança na relação homem/natureza, sobretudo através da aceleração e intensificação do uso dos recursos naturais que, por sua vez, geraram problemas sob o ponto de vista do equilíbrio ambiental (Pearson Education do Brasil, 2011, p. 21).

Nessa toada, ao passo que a cada dia a água vem sendo utilizada com mais voracidade para sustentar o modo de vida desenvolvido pela sociedade hodierna, também vem sendo poluída, dada a sua capacidade de dissolução e transporte de vários elementos naturais ou artificiais, características que lhe renderam o epíteto de “solvente universal” (Braga et al., 2005, p. 76).

O vertiginoso crescimento da população vem impingindo uma rápida diminuição na qualidade dos recursos hídricos, tendo em conta a estimativa de que do total de água consumida, entre 60% e 80% se transforma em esgoto (CETESB, 2018, p. 47).

A situação é ainda mais grave quando se considera a população das cidades, uma vez que estes centros geram impactos ambientais de forma concentrada, mas os difundem bem além dos seus limites espaciais (Jatobá, 2011, p. 141). Tal condição tende a se agravar já que há estimativas de que, quando considerado o período que vai do ano 2000 ao ano de 2030, as áreas urbanas terão se expandido em torno de 200% (Fragkias et al., 2013 *apud* Ferreira et al., p. 156).

Outro fator que traz preocupação é que, embora de maneira geral sejam abundantes na Terra, as massas d’água são irregularmente distribuídas, fato que pode ser constatado através da observação da existência de desertos e da variabilidade temporal das precipitações nas mais diversas regiões do planeta (Braga et al., 2005, p. 74).

Mesmo em áreas de maior escassez hídrica, é possível constatar situações de descaso com esse essencial elemento aludido, como é o caso apontado no trabalho intitulado “Açude Grande de Cajazeiras (PB): um insustentável exemplo de descuido com a água no semiárido brasileiro” (SOUZA JÚNIOR et al., 2020).

Assim, o monitoramento do recurso “água” se faz de extrema importância para que ele seja bem gerido, no entanto, durante bastante tempo, tal procedimento era “caro e muito trabalhoso, envolvendo equipes de campo e análises de laboratório frequentes” (VILELA, 2010, p. 68).

A conjuntura apontada vem, paulatinamente, sendo alterada conforme são utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto para monitoramento dos mananciais, conforme podem comprovar trabalhos como: “Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral” (LOPES et al., 2014), e “Uso do sensoriamento remoto para monitoramento da redução das águas do complexo curema-mãe d’água” (PEREIRA et al., 2020).

Além disso, revisão sistemática de literatura efetuada por Sousa, Espindola e Silva (2021) aponta que entre os anos de 2010 e 2020 foram listados 3.797 trabalhos, na base de dados *Web of Science*, que utilizaram os descritores “remote sensin”, “water quality”, “eutrophic”, “chlorophyll” ou “CHLA” combinados. Referida pesquisa também aponta a tendência de aumento de produções dessa natureza ao longo da década, na base citada, uma das maiores do mundo.

Nessa condição, a exemplo do que foi posto, estudar-se-á no, presente artigo, o Açude Grande de Cajazeiras-PB avaliando se existe

correlação entre imagens captadas por satélites e os dados da qualidade da sua água, analisados em laboratório, para, então, estimar como o crescimento urbano influenciou na degradação deste, ao longo dos anos.

Material e métodos

Área de estudo

Construído ainda no século XIX pelos proprietários da fazenda que viria a se transformar no núcleo de Cajazeiras-PB e localizado, aproximadamente, sob as coordenadas geográficas máximas 6°53'25"S e 38°34'33"W; 6°53'18"S e 38°33'50"W; 6°53'10"S e 38°34'22"W; 6°53'02"S e 38°33'52"W, o Açude Grande (Figura 1, página seguinte), cujo nome oficial é Açude Senador Epitácio Pessoa, foi reconstruído pelo Governo Federal durante a seca que assolou boa parte do nordeste brasileiro em 1915 (Reis, 1975, p. 73).

Referido reservatório já teve como principal função a acumulação de água superficial para o abastecimento urbano do município citado, o qual está inserido no contexto do semiárido do Brasil, mais precisamente em uma área com suscetibilidade de 81% a 100% de chances de ser atingido em momentos de seca¹, conforme o INSA (2014).

No entanto, após a inauguração em 1964 da adutora da água vinda do Açude Engenheiro Ávidos (Boqueirão), o Epitácio Pessoa passou a ser esquecido pelos órgãos ambientais e de gestão hídrica não sendo, desde então, monitorado por nenhum destes e, o que é pior, passou a ser receptáculo de lixos, entulhos e, sobretudo, esgotos produzidos por parte da população de Cajazeiras (Costa et al., 2010a).

Com isso, entende-se que o Sensoriamento Remoto é a única ferramenta passível de ser utilizada para se avaliar a evolução histórica da degradação do lago em questão, haja vista a capacidade que as imagens de satélites têm de permitirem uma visão sinóptica, multitemporal e espectral, isto é, para além da luz visível, da Terra (Florenzano, 2011, p. 5).

Avaliação da qualidade da água utilizando o Sensoriamento Remoto - SR

O termo “Sensoriamento” refere-se à obtenção de dados por meio de sensores enquanto que “Remoto” significa à distância, ou seja, sem contato físico ou proximidade entre os sensores e o alvo (Florenzano, 2011, p. 9).

Comumente o SR registra a Radiação do Espectro Eletromagnético - REM, que é uma forma de energia emitida ou refletida por qualquer corpo que esteja em uma temperatura acima do “zero absoluto”, o que equivale a, aproximadamente, -273 °C (Vilela, 2010, p. 18) e é medida em: **frequência**, dada pela unidade de hertz (Hz) e seus múltiplos; e **comprimento de onda** representado pela unidade do metro (m) e seus submúltiplos (Florenzano, 2011, p. 11, grifos do original).

Assim, os sensores de captação remota, dependendo da tecnologia empregada, são capazes de perceber o comportamento dos alvos em frequências visíveis e não visíveis ao olho humano com a ressalva de que, quanto mais distantes da superfície, maior a sensibilidade às interferências e ruídos, circunstância em que os equipamentos a bordo dos satélites, por exemplo, podem captar a energia proveniente das nuvens em detrimento da energia oriunda da área pretendida (Florenzano, 2011, p. 10).

No entanto, os avanços científicos no setor aeroespacial tem tornado o SR uma opção cada vez mais viável para o monitoramento terrestre e, a esse respeito, o projeto LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) vem sendo desenvolvido e aprimorado desde a década de 1960 pela *National Aeronautics and Space Administration* - NASA e pelo *United States Geological Survey* - USGS, com objetivo exclusivo de observação dos recursos naturais (Silva Neto, 2013, p. 38), o que oferece um grande acervo de imagens do planeta desde o primeiro quartel da década de 1970, as quais podem, atualmente, serem acessadas de forma gratuita, mediante cadastro simples na plataforma *Earth Explorer* (USGS, 2020).

Florenzano (2011, p. 17-18, grifos do original) destaca que a tecnologia de SR apresenta as seguintes resoluções: **espacial**, que é a capacidade do sensor distinguir objetos em função do seu tamanho; **espectral**, que diz respeito à capacidade do sensor em captar as imagens do objeto em função da sua resposta dentro do espectro eletromagnético; **radiométrica**, que se trata da capacidade do sensor discriminar a

¹ Entende-se por secas os fenômenos naturais caracterizados pelo atraso na precipitação das chuvas ou pela sua ocorrência abaixo do valor mínimo necessário à sobrevivência da vegetação (Paraíba, 2011, p. 9).

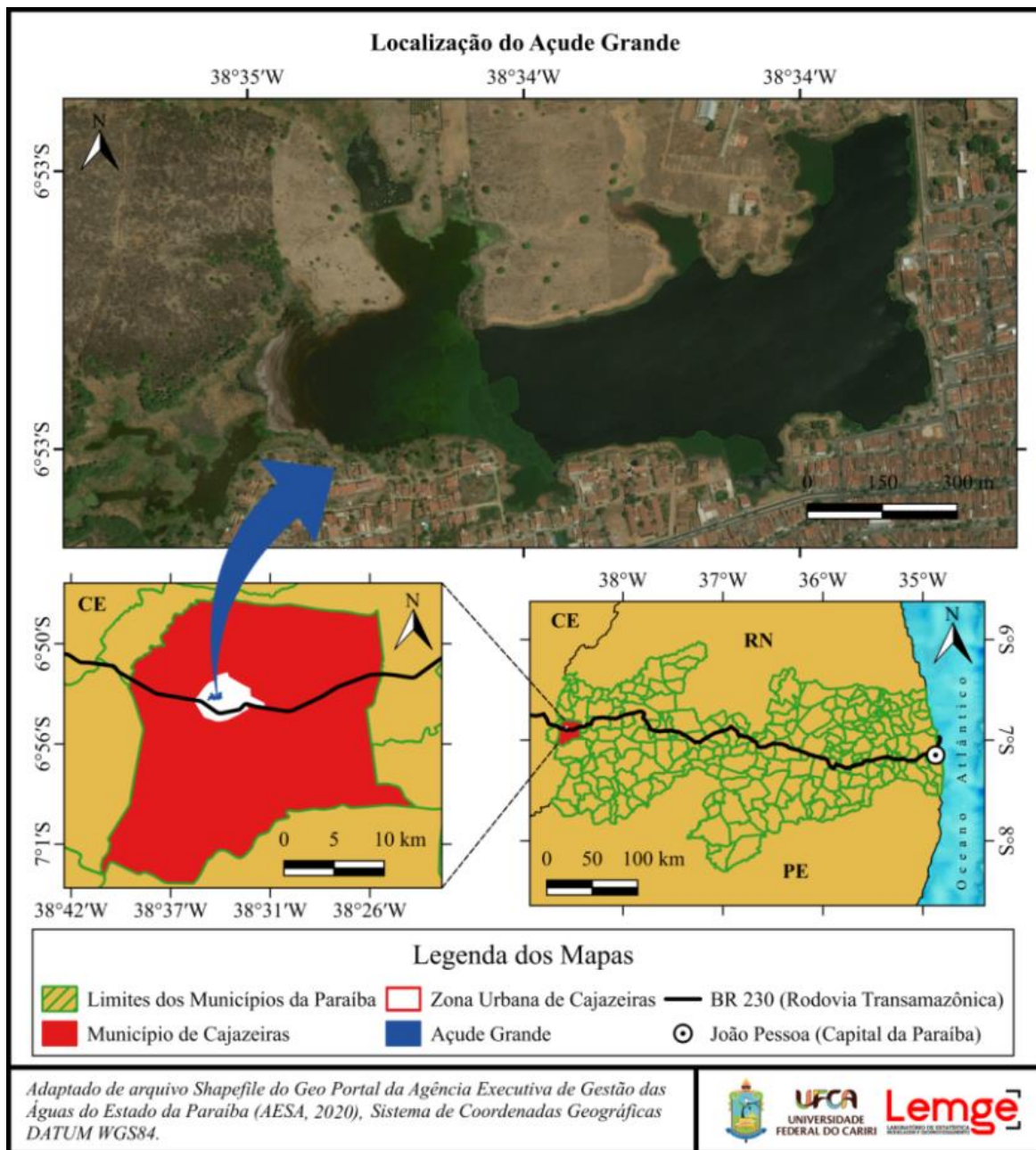


Figura 1 - Localização do Açude Grande. Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Geo Portal (AESPA, 2020).

energia emitida ou refletida pelo alvo; e também a taxa de revisita de um sensor ao mesmo ponto, que é a **resolução temporal**.

Nessa perspectiva, embora a água seja um complexo alvo a ser analisado através do SR, dadas às suas características peculiares, muitos são os autores que vem realizando pesquisas com esse intuito, comparando a verdade de campo com o que é captado pelos satélites.

Tornam-se exemplos da afirmativa anunciada trabalhos como os de: Pufal (2001) “Uso de Sensoriamento Remoto na obtenção de parâmetros de qualidade da água em lagos”; Vilela (2010) “Metodologia para monitoramento da qualidade da água de reservatórios utilizando

Sensoriamento Remoto”; Lopes (2013) “Uso de Sensoriamento Remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil”; e Machado e Baptista (2016) “Sensoriamento Remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF)”.

Partindo-se da premissa de que a resposta espectral da água considerada limpa difere da resposta espectral da água que contém outros elementos, conforme ilustra a Figura 2 (página seguinte), procurou-se comparar dados da qualidade da água do Açude Grande obtidos em laboratório, com as informações geradas pelo satélite LANDSAT 8.

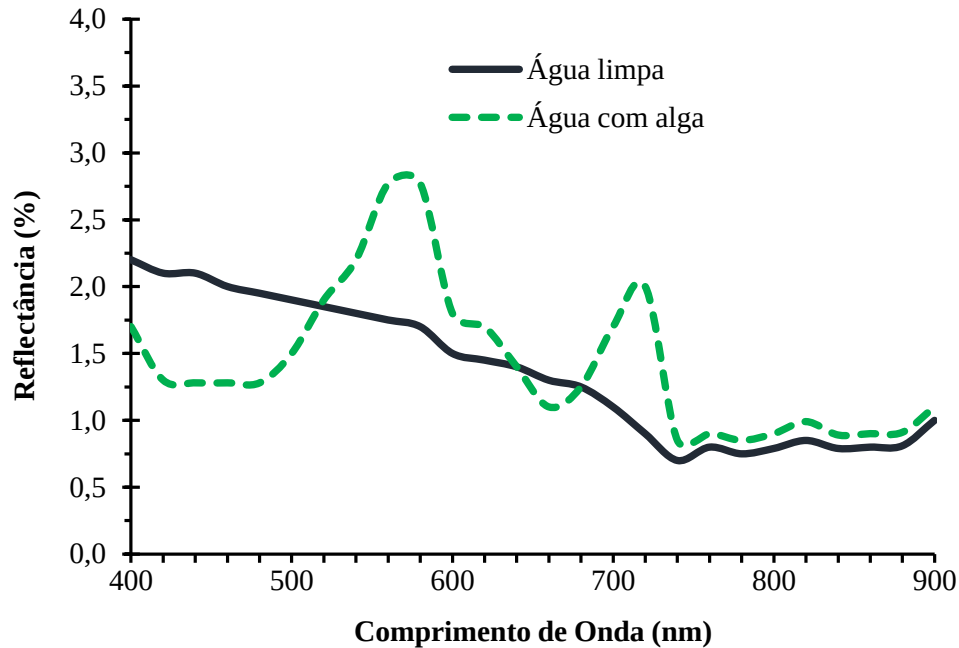


Figura 2 - Gráfico de reflectância versus comprimento de onda.
Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Han (1997) *apud* Pufal (2001, p. 11).

O gráfico apresentado na Figura 2 demonstra que um corpo d'água contendo algas, por exemplo, apresenta uma menor reflectância na faixa espectral que corresponde à cor azul (aproximadamente 450 ~ 492 nm) e dois picos sendo um, maior, localizado dentro do intervalo espectral equivalente ao que o olho humano enxerga como cor verde (aproximadamente 492 nm ~ 577 nm) e um, secundário, com intervalo correspondente ao que se percebe como cor

vermelha (aproximadamente 622 nm ~ 780 nm).

Deste modo, considerando metodologia proposta por Vilela (2010), utilizou-se, para a presente pesquisa, o nível de resposta percentual em tons de cinza que as imagens avaliadas registraram em três diferentes pontos (PA, PB e PC) do alvo estudado (Açude Grande), conforme aponta a Figura 3, nos anos de interesse, e em cada uma das bandas pretendidas (verde e vermelha) individualmente.

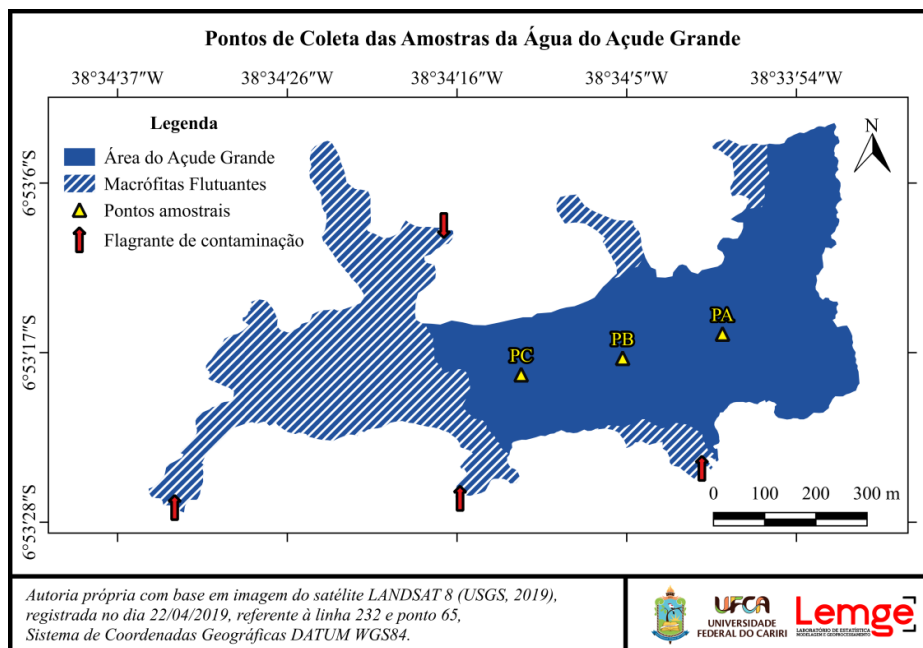


Figura 3 - Pontos de coletas das amostras da água do Açude Grande. Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme preconiza Vilela (2010, p. 48), ressalta-se que, visando evitar interferência do reflexo do fundo ou mesmo dos elementos que estão dispostos às margens do lago (como edificações diversas), além de prevenir sobreposição *pixels*² durante as análises a serem realizadas com as imagens dos satélites, os pontos amostrais foram definidos em seções com distanciamento regular de, no mínimo, 200 metros entre um e outro, sempre seguindo pela a parte mais central do manancial.

Não foi definido um número maior de pontos amostrais devido à seção oeste do reservatório estar tomada por macrófitas flutuantes (aguapés). Tal condição impede a navegação no referido setor e gera dados equivocados sobre a leitura de qualidade da água através das imagens de satélite, tendo em vista que a resposta espectral desse tipo de vegetação difere da resposta esperada da água.

Também é importante frisar que todos os pontos foram encontrados *in loco* através da utilização de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) da marca Garmin, modelo Etrex 30x com precisão/PDOP máxima de 3 m, o que atendeu à necessidade da pesquisa visto que a melhor resolução espacial das imagens orbitais utilizadas é de 30 m x 30 m (ou 900 m²) por *pixel*.

Além disso, visando à diminuição de erros de precisão, foi extraída, de cada imagem analisada, a média aritmética dos valores percentuais para os níveis de cinza de nove *pixels* para cada local de coleta (Figura 4), sendo um deles correspondente ao ponto amostral coincidente e outros 8 (oito) os seus vizinhos, totalizando uma área de 8.100 m² (Vilela, 2010, p. 48).

A Figura 5 (página seguinte) traz a composição RGB³ das imagens utilizadas para a extração dos dados utilizando a técnica referida e, embora a imagem do LANDSAT 1 não tenha tão boa nitidez como as demais (LANDSAT 5 e 8), dado às suas resoluções (espacial, espectral, radiométrica e temporal) mais baixas do que as dos seus congêneres, é possível identificar que existe, desde o início da década de 1970, a manutenção de grande população de aguapés.

Dependendo do período do ano (seco ou chuvoso), essa vegetação aquática ora se retrai, ora se expande tendo em conta que essa população de macrófitas possui um acelerado crescimento vegetativo, regido, sobretudo, pela maior ou menor oferta de nutrientes no lago (Valente, Padilha e Silva, 1997).

Explica-se a escolha dos anos das imagens inventariadas na Figura 5 da seguinte maneira: 1973 marca o início da disponibilização das imagens do LANDSAT 1 (que foi lançado à órbita terrestre um ano antes), não existindo, portanto, registros anteriores deste satélite; 1984 marca o início da operação do LANDSAT 5, satélite utilizado nas pesquisas de Pufal (2001) e Vilela (2010) o que alinha alguns parâmetros obtidos por estes pesquisadores com o presente estudo; 1990, 2000 e 2011 referem-se aos intervalos mais próximos em que são realizadas as pesquisas censitárias no Brasil, o que permitiu interligar, de maneira mais orgânica: crescimento populacional, aumento da área urbana no entorno do perímetro do açude e a diminuição da qualidade da sua água; e, por fim, 2019 que se trata do ano em que foram feitas as coletas de laboratório (período seco e chuvoso) com o intuito de correlacionar esses dados à resposta espectral das bandas verdes e vermelhas dos satélites.

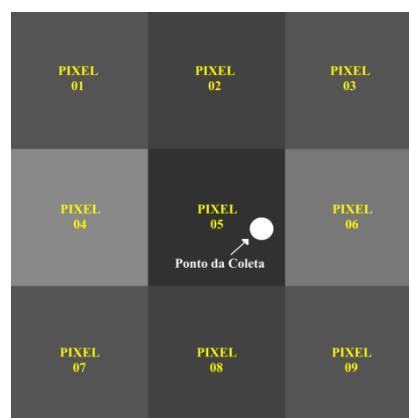


Figura 4 - Ilustração de análise de resposta espectral através dos valores registrados nos *pixels*.

Fonte: Autoria própria (2020).

A não linearidade das datas dá-se devido ao fato de que, como já falado, dias com presenças de muitas nuvens interferem na resposta final do alvo o que afeta diretamente a qualidade da imagem gerada pelo sistema de captação orbital. Sendo assim, os registros utilizados foram aqueles que se apresentaram adequados com dias de céu limpo sob o Açude Grande e a cidade de Cajazeiras-PB, características que puderam ser verificada na pré-visualização oferecida pelo sítio de busca dos arquivos.

² *Pixel* é a menor fração de uma imagem digital a conter dados.

³ Trata-se da coloração das bandas correspondentes às cores vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*), conferindo, às imagem multiespectrais do satélite, tonalidades semelhantes ao que enxergamos.

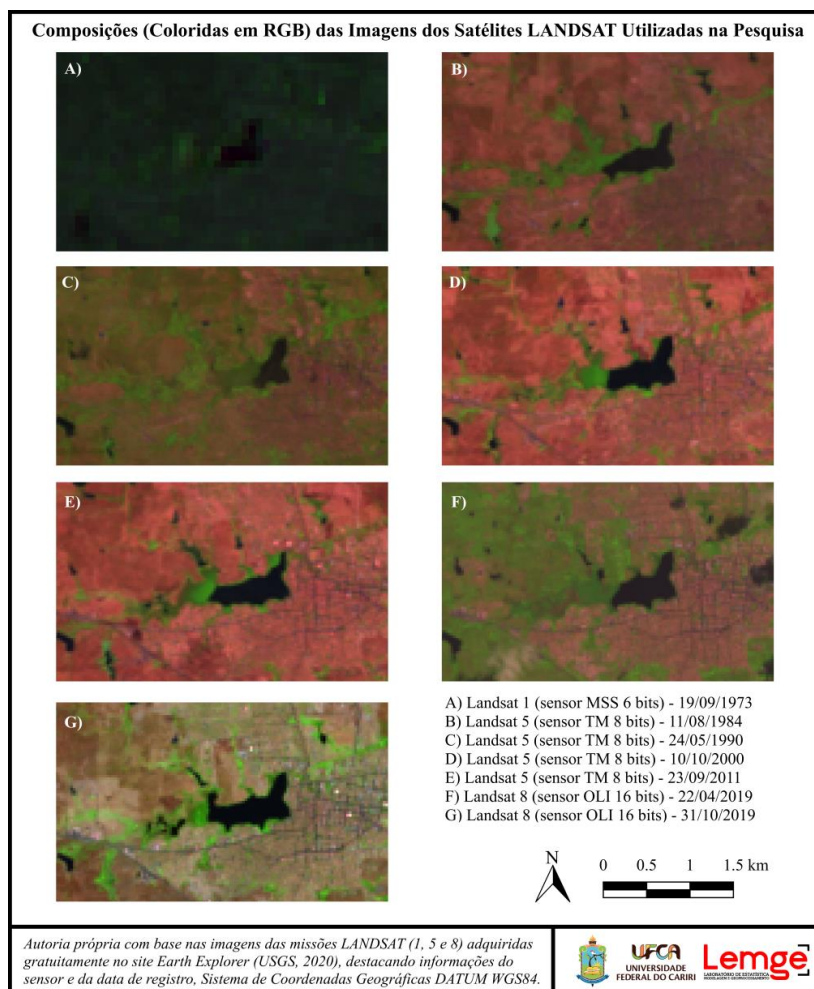


Figura 5 - Composições (coloridas em RGB) das imagens dos satélites LANDSAT utilizadas na pesquisa.
 Fonte: Autoria própria (2020).

A não linearidade das datas dá-se devido ao fato de que, como já falado, dias com presenças de muitas nuvens interferem na resposta final do alvo o que afeta diretamente a qualidade da imagem gerada pelo sistema de captação orbital. Sendo assim, os registros utilizados foram aqueles que se apresentaram adequados com dias de céu limpo sob o Açude Grande e a cidade de Cajazeiras-PB, características que puderam ser verificada na pré-visualização oferecida pelo sítio de busca dos arquivos.

Índice de Estado Trófico para Reservatórios no Semiárido - IET_{SA}

Quando mencionado, o termo “qualidade da água” refere-se a uma condição em que ela possa apresentar características químicas, físicas e microbiológicas que sejam aceitáveis para consumo e usos diversos.

Em relação a isso Pufal (2001, p. 16) destaca que “a água existente na natureza não apresenta suas características básicas, ou seja não

é inodora, incolor e insípida” e ainda que “sendo a água o solvente universal, os corpos d’água apresentam cor e cheiro devido às substâncias dissolvidas ou suspensas”.

Há várias formas de se avaliar a qualidade da água de um reservatório ou rio. O Índice de Estado Trófico é um dos mais utilizados⁴ porque, de acordo com Paula Filho (2014, p. 25), a eutrofização⁵ de um corpo d’água se dá devido ao

⁴ Outro padrão bastante utilizado para se determinar a qualidade da água é o Índice de Qualidade das Águas - IQA. Criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* - NSF, o IQA passou a ser utilizado no Brasil a partir de 1975, introduzido nas metodologias da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB e posteriormente adotado por outros estados brasileiros (ANA, 2020).

⁵ Etimologicamente o termo *eutrófico* significa “muito alimentado” ou “alimentado em excesso”. A eutrofização é, portanto, o fenômeno que transforma um corpo d’água em um ambiente bastante fertilizado ou bastante alimentado (MS, 2006, p. 60, grifos do original).

aumento dos níveis de nutrientes encontrados no seu interior, fato que pode ampliar caoticamente o crescimento de algas e outras plantas aquáticas, acusando o possível desequilíbrio.

Valente, Padilha e Silva (1997) resumem da seguinte forma os problemas ocasionados pelo excesso dessa vegetação: tornam o meio propício para a deposição de larvas de insetos causadores de doenças; geram alterações na acidez da água e liberam toxinas capazes de causar sabor e mau cheiro; consomem grandes quantidades de oxigênio, na fotossíntese e na decomposição dos indivíduos depositados no fundo do corpo hídrico, quando da sua morte; dificultam a navegação de embarcações; e causam sombreamento evitando a fotossíntese de algas de zonas mais profundas as quais são indispensáveis para o equilíbrio aquático.

Segundo Lamparelli (2004, p. 7), o processo de eutrofização pode acontecer naturalmente, de forma mais lenta, ou pode ser induzido pela ação humana ao que Paula Filho (2014, p. 25) reitera que as principais causas artificiais desse fenômeno são: lançamentos de fertilizantes agrícolas e de esgotos não tratados nos mananciais.

Nessa investigação utilizou-se o Índice de Estado Trófico para Reservatórios no Semiárido desenvolvido por Rolim et al. (2019). Referido protocolo está descrito na Equação 1 e é utilizada em conjunto com a matriz de referência exposta na Tabela 1.

$$IET_{SA} = q_{Pt}^{0,330} * q_{Cla}^{0,332} * q_{Transp}^{0,338} \quad (1)$$

Em que:

IET_{SA} = Índice de estado trófico para reservatórios no semiárido

q = Classe de qualidade de água em relação à variável (“q” pode variar de 0 a 100)

Pt = Fósforo total

Cla = Clorofila-a

Transp = Transparência da água medida através da profundidade de Secchi

Justifica-se a escolha do método calcado em três argumentos principais. O primeiro é que, outras maneiras de analisar a qualidade da água são compostas por muitas variáveis que não são Componentes Oticamente Ativos - COAs (Barbosa 2019, p. 44), ou seja, são constituídas principalmente por elementos que, no atual nível da tecnologia de Sensoriamento Remoto, não são possíveis de serem captados.

O segundo argumento é o fato de que, mesmo o fósforo não sendo um COA (Barbosa 2019, p. 44), as outras duas variáveis, de maior peso na composição da equação do IET_{SA} são, a saber: clorofila-a e transparência de Secchi. Aspecto que amplia a possibilidade de existir correlação entre o indicador e a resposta espectral captada via SR.

Por último, outros estudos de trofia foram desenvolvidos puramente para regiões de climas temperados sendo, portanto, inconveniente adaptá-los para estudos em zonas tropicais semiáridas já que, em locais de clima quente, o comportamento do metabolismo hídrico difere dos demais, na condução do fenômeno da eutrofização (Ministério da Saúde, 2006, p. 62), circunstância essa considerada no IET_{SA} .

A Tabela 2 (página seguinte) lista o parâmetro e o método analítico utilizado na obtenção dos dados das variáveis que compõem o índice aplicado.

Tabela 1 - Matriz de referência para o estabelecimento dos valores do IET_{SA}

Níveis Tróficos	Fósforo (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	Secchi* (m)	IET_{SA}	DESIGNAÇÃO QUALITATIVA
Oligotrófico	0,01 – 0,013	0,02 – 3,36	2,8 – 1,2	[0 – 40)	Não impactado a pouco impactado
Mesotrófico	0,013 – 0,036	3,36 – 11,01	1,2 – 0,7	[40 – 60)	Pouco degradado
Eutrófico	0,036 – 0,064	11,01 – 31,31	0,7 – 0,5	[60 – 80)	Criticamente degradado a poluído
Hipereutrófico	0,064 – 0,290	31,31 – 98,79	0,5 – 0,3	[80 – 100]	Extremamente poluído

* Valor de transparência de Secchi inversamente proporcional aos demais dados.

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Rolim et al. (2019).

Tabela 2 - Parâmetro e método analítico das variáveis utilizadas na composição do IET_{SA}

PARÂMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Fósforo total	Espectrofotométrico - Neutralização com ácido sulfúrico e ácido ascórbico (AWWA / APHA / WEF, 2012)
Clorofila-a	Espectrofotométrico (AWWA / APHA / WEF, 2012)
Profundidade de Secchi	Utilização de disco de Secchi (PUFAL, 2001)

Fonte: Autoria própria (2020).

Sublinha-se que as coletas seguiram fielmente os protocolos sugeridos pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (2011) sendo realizadas em duplicatas e em frascos de 200 ml, previamente higienizados e esterilizados, acondicionados em caixa térmica e imediatamente levados para verificação.

Finalmente, com o intuito de maximizar a possibilidade de captação da correlação, as análises de laboratório foram programadas para os mesmos dias da passagem do LANDSAT 8 na área estudada (22/04/2019 e 31/10/2019).

Coefficientes de Correlação

Para fins de comparação da relação IET_{SA} versus resposta espectral da água nas bandas correspondentes às cores verdes e vermelhas (conforme registros dos dias das coletas de campo), foi utilizado gráfico de dispersão com emprego conjunto das técnicas de Coeficiente de Determinação Linear (R^2) e de Correlação de Pearson (ρ).

De acordo com Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009, p. 118), o Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ), apresentado na Equação 2, é um tipo de associação linear entre variáveis que guardam semelhanças na distribuição dos seus escores.

$$\rho = \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{var(X) * var(Y)}} \quad (2)$$

Em que:

ρ = Valor calculado do coeficiente

cov = Covariância dos dados

var = Variância dos dados

X, Y = Variáveis submetidas ao teste de correlação

O resultado desse cálculo varia de -1

(inversamente correlacionado) a 1 (diretamente correlacionado), sendo que, quanto mais próximo de zero, menos expressiva é a correlação entre as variáveis testadas.

Os resultados correlação evidenciados nos resultados dos referidos Coeficientes foram utilizados como base para se inferir sobre a perda da qualidade da água do Açude Grande ao longo dos anos.

Softwares utilizados

Prezando pela ética na pesquisa, os *softwares* utilizados na geração ou processamento de dados desse estudo são amplamente empregados e testados pela comunidade científica por serem gratuitos e de natureza *open source*.

São eles: QGIS, versão 2.18 Las Palmas de G. C. (2016), aplicado no processamento das imagens de satélites e na geração de produtos cartográficos; e *R Statistical (R Development Core Team, 2018)*, aplicado na avaliação dos Coeficientes de Correlação Linear (R^2) e de Pearson (ρ).

Resultados e discussão

As análises das amostras de água indicaram que, de acordo com o IET_{SA}, o Açude Grande encontra-se eutrofizado e que, corroborando com o estudo de Rocha Junior et al. (2019), embora tenha permanecido dentro da mesma classe qualitativa (criticamente degradado a poluído), houve uma piora na qualidade da água do lago quando comparados os períodos chuvoso e seco, conforme ilustra a Tabela 3 (página seguinte).

No tocante a resposta espectral captada nas bandas verdes e vermelhas dos satélites, a Tabela 4 (página seguinte) resume os resultados.

Tabela 3 - Resultado das análises das amostras de água

Período	Ponto	Fósforo (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	Secchi (m)	IET _{SA}
Chuvoso	PA	0,0223	17,80	0,56	62,01
	PB	0,0313	26,35	0,59	67,02
	PC	0,0224	17,02	0,55	62,02
	MÉDIA	0,0261	20,39	0,57	63,68
Seco	PA	0,0459	19,10	0,35	75,78
	PB	0,0475	12,90	0,33	74,38
	PC	0,0475	14,45	0,34	74,72
	MÉDIA	0,047	15,48	0,34	74,96

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 4 - Resultado das respostas captadas nas bandas verdes e vermelhas dos satélites

SATÉLITE	SENSOR	BITS	BANDA	DATA	PONTO	MÉDIA DOS PIXELS	% DE RESPOSTA	MÉDIA % DOS PONTOS
LANDSAT 5	TM	8	Verde (B2)	11/08/1984	PA	26,56	10,37%	10,30%
					PB	26,67	10,42%	
					PC	25,89	10,11%	
				24/05/1990	PA	23,44	9,16%	9,16%
					PA	25,67	10,03%	
					PB	25,22	9,85%	
				10/10/2000	PC	25,22	9,85%	9,91%
					PA	26,22	10,24%	
					PB	26,78	10,46%	
				23/09/2011	PC	27,22	10,63%	10,45%
					PA	7163,78	10,93%	
					PB	7091,33	10,82%	
LANDSAT 8	OLI	16	Verde (B3)	22/04/2019	PC	7101,00	10,84%	10,86%
					PA	8985,56	13,71%	
					PB	8984,56	13,71%	
				31/10/2019	PC	9056,89	13,82%	13,75%
					PA	24,00	9,38%	
					PB	24,00	9,38%	
				11/08/1984	PC	22,89	8,94%	9,23%
					PA	20,22	7,90%	
					PB	23,44	9,16%	
				24/05/1990	PA	22,67	8,85%	8,97%
					PB	22,78	8,90%	
					PC	22,78	8,90%	
LANDSAT 5	TM	8	Verm. (B3)	10/10/2000	PA	24,00	9,38%	9,77%
					PB	25,89	10,11%	
					PC	25,11	9,81%	
				23/09/2011	PA	6499,11	9,92%	9,83%
					PB	6412,78	9,79%	
					PC	6412,11	9,78%	
				22/04/2019	PA	7652,11	11,68%	11,33%
					PB	6837,67	10,43%	
					PC	7778,67	11,87%	
				31/10/2019	PA	6499,11	9,92%	9,83%
					PB	6412,78	9,79%	
					PC	6412,11	9,78%	

Fonte: Autoria própria (2020).

É importante frisar que as informações do LANDSAT 1 não foram consideradas dado às suas características técnicas, bem aquém dos sensores dos outros dois satélites trabalhados, o que poderia gerar dados discrepantes e, portanto, não comparáveis.

Também foram retiradas as leituras dos pontos “PB” e “PC” da imagem captada em 24/05/1990, pelo LANDSAT 5, devido a quantidade de macrófitas ter tomado, à época, a proporção de 2/3 (dois terços) do lago, atingindo, portanto, os pontos em questão.

A coluna “BITS” da Tabela 4 tem ligação direta com a resolução radiométrica dos sensores dos satélites e indicam a quantidade de

combinações de cinza em que as bandas podem ser geradas. Sendo assim, destaca-se que: 8 bits possibilita 256 combinações; e 16 bits 65.536 combinações que vão do 0 (preto) ao valor máximo (branco).

Ademais, é importante destacar que, na mesma Tabela 4, a coluna “% DE RESPOSTA ESPECTRAL” foi calculada com base na quantidade máxima de combinações de tons de cinza referidos.

A Figura 6 traz o gráfico de dispersão da comparação entre o percentual de reflectância captado pelo satélite LANDSAT 8 e o valor calculado do IET_{SA}, bem como apresenta o Coeficiente de Determinação Linear (R²).

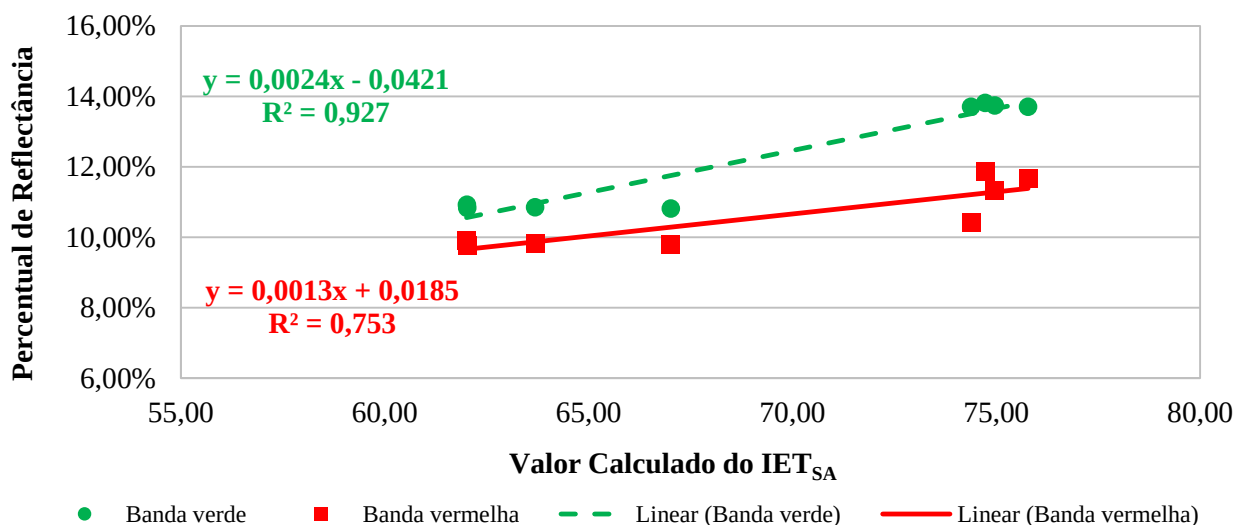


Figura 6 - Gráfico de dispersão IET_{SA} versus bandas analisadas do satélite LANDSAT 8. Fonte: Autoria própria (2020).

O resultado apresentado na Figura 6 demonstra uma considerável correlação entre a banda verde e o IET_{SA} (R² = 0,927), além de uma menor, porém também não desprezível, correlação entre o mesmo índice e a banda vermelha (R² = 0,753).

A utilização dos mesmos dados, aplicados no Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ), apresentou resultados coerentes com o Coeficiente de Determinação Linear (R²) e está detalhado na Tabela 5.

Uma vez estabelecida a correspondência entre o IET_{SA} e as bandas analisadas, montou-se a Figura 7 (página seguinte), que traz gráfico que

ilustra a tendência linear da resposta espectral quando considerada a coluna “MÉDIA % DOS PONTOS” da Tabela 4.

Observa-se, na Figura 7, que em 11/08/1984 os percentuais de reflectância em ambas as bandas do satélite LANDSAT 5 foi maior do que a das duas datas seguintes. É possível que isso tenha ocorrido porque de 1979 até aquele ano, houve um período de estiagem no Nordeste (PARAÍBA, 2011, p. 10) o que, provavelmente, piorou os dados de qualidade da água do Açude Grande através do contínuo recebimento de esgotos e nenhum aporte de água limpa.

Tabela 5 - Resultado da aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ) nos dados

Indicador	Banda	ρ	Designação Qualitativa
IET _{SA}	Verde	0,9628271	Correlação muito forte
	Vermelha	0,8681746	Correlação forte

Fonte: Autoria própria (2020).

A comparação da Figura 7 com o gráfico da Figura 8, que traz a evolução da população do município de Cajazeiras entre os anos 1960 e 2019, permite deduzir que, ao longo dos anos, o crescimento da população urbana influenciou diretamente na perda da qualidade da água do Açude Grande.

Enquanto isso a Figura 9 (página seguinte) mostra como se deu o comportamento evolutivo da mancha urbana da cidade de Cajazeiras-PB no interstício que compreende os anos que vão de 1933 a 2016.

É possível observar na Figura 9, que até 1962 e, portanto, antes da construção da adutora do Açude Engenheiro Ávidos (Boqueirão), a zona urbana de Cajazeiras avançou principalmente nos

sentidos sul e sudoeste. De certa forma, se distanciando das margens do Açude Grande.

Contudo, após esse período, seguindo-se pelas décadas de 1970 até a atualidade, houve um expressivo crescimento horizontal em todos os sentidos, inclusive às margens da represa, sem contar no espraiamento urbano que, segundo Nadalin e Igliori (2015, p. 92) trata-se do “crescimento urbano que é desconcentrado, não denso e que deixa vazios urbanos dentro da mancha urbana”.

A esse respeito frisa-se que o produto cartográfico em questão (Figura 9) se trata de uma generalização elaborada com a prerrogativa de prover uma noção sobre as etapas de ocupação das áreas que, atualmente, compõe a urbe, não sendo dada, assim, através de limites rígidos.

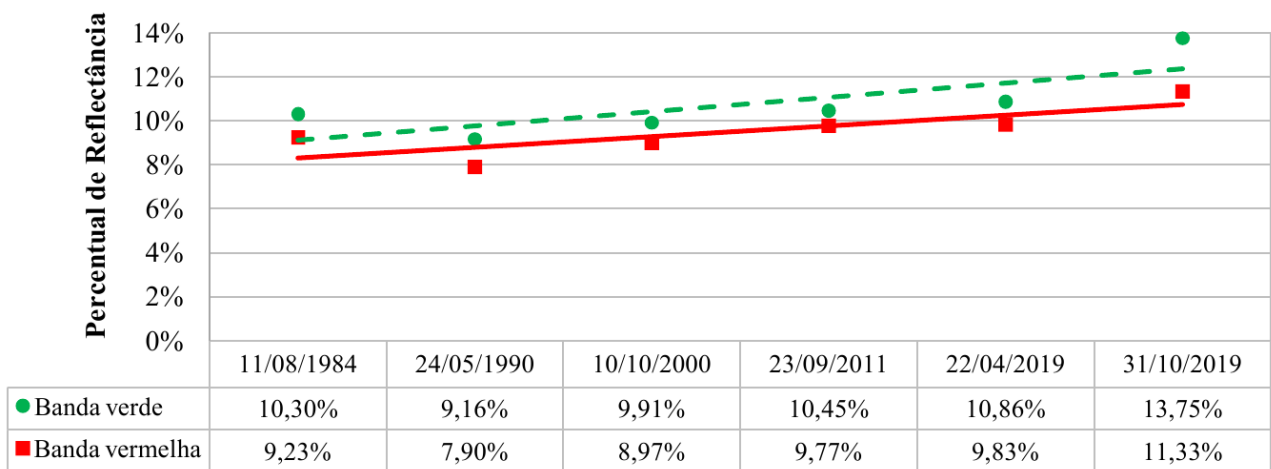
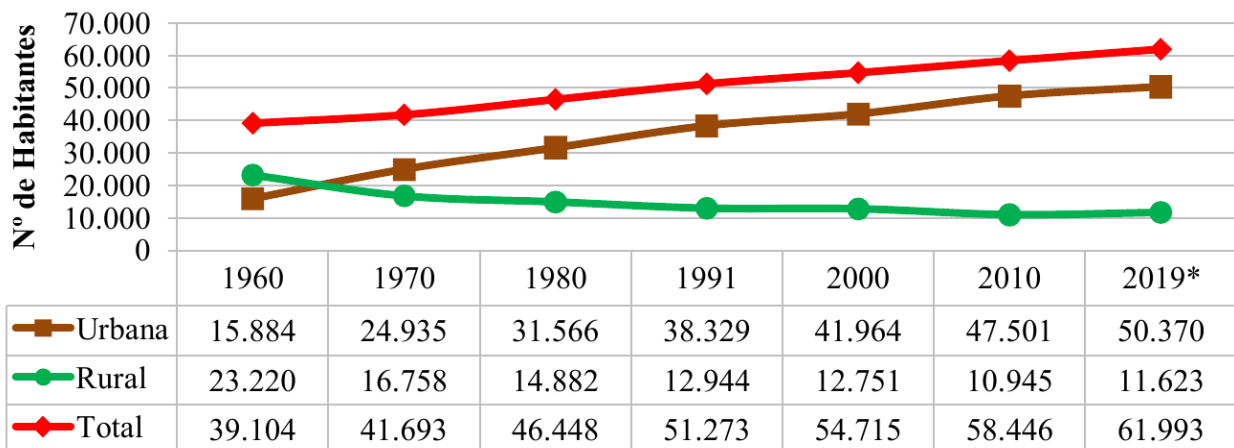


Figura 7 - Gráfico de tendência linear dos percentuais médios de resposta espectral dos pontos estudados.
Fonte: Autoria própria (2020).



* Projeção conforme IBGE (2020)

Figura 8 - Evolução da população do Município de Cajazeiras-PB entre os anos 1960 e 2019.
Fonte: Autoria própria (2020) a partir de IBGE (2020).

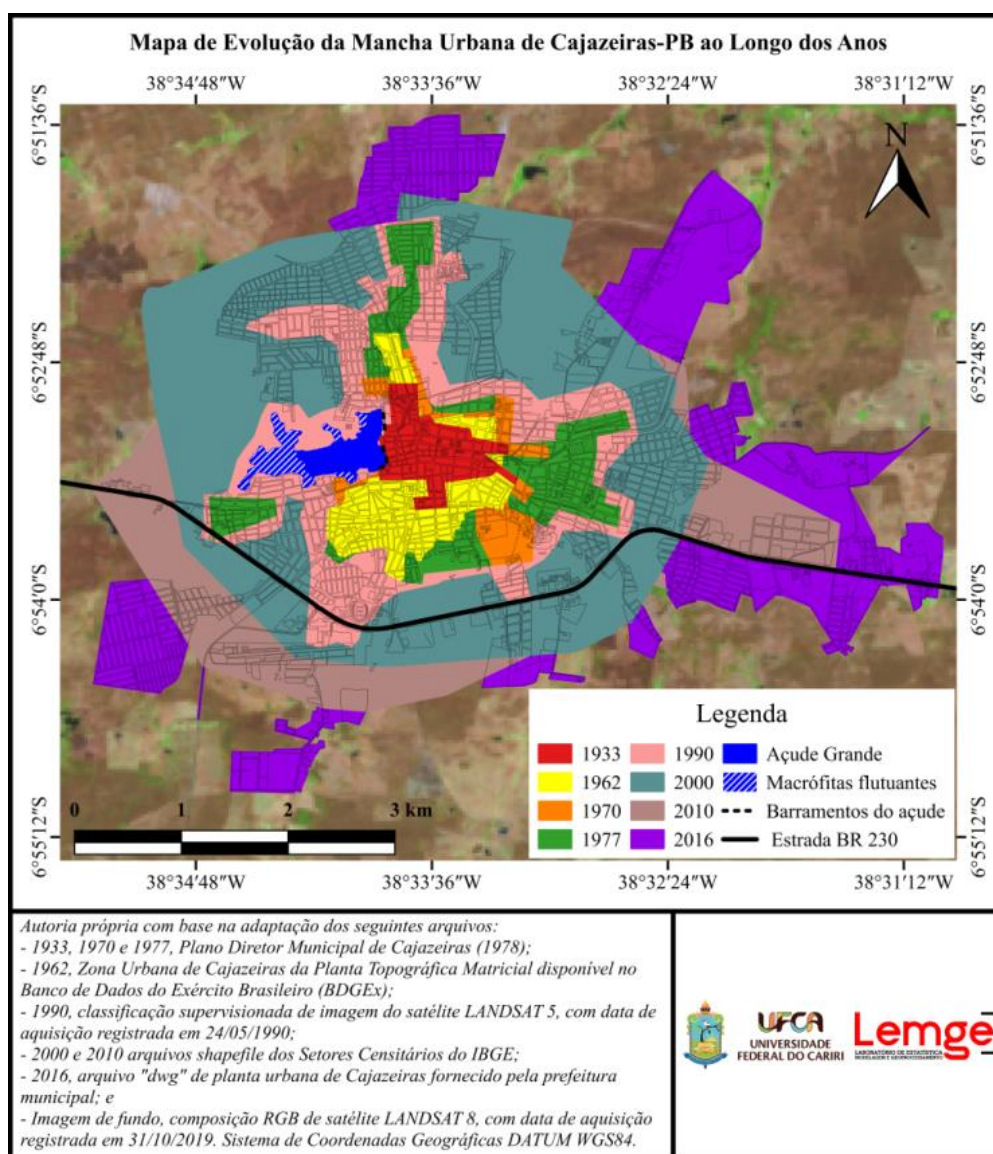


Figura 9 - Mapa de evolução da mancha urbana de Cajazeiras-PB ao longo dos anos. Fonte: Autoria própria (2020).

Atualmente, conforme ilustra a Figura 10 (página seguinte), Cajazeiras conta com 21 (vinte e um) bairros no total, no entanto, somente partes de cinco desses são assistidos pela estação de recepção de efluentes (Figura 11 na página seguinte) da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, sendo eles: Centro, Nazaré Lopes, Pôr do Sol, Sol Nascente e Tancredo Neves.

Informações prestadas pela CAGEPA indicam que, no ano de 2019, dos 23.183 prédios da cidade de Cajazeiras atendidos com o abastecimento público, apenas 15,74% tinham esgoto tratado.

Enquanto isso os dados do IBGE (2020) dão conta que 54,8% dos domicílios da cidade possuem esgotamento adequado, ou seja, seus resíduos líquidos são tratados ou direcionados a

fossas sépticas, o que significa que todo o restante dos efluentes, de 45,2% dos imóveis, possui destino desconhecido o que sugere que podem estar contaminando o solo e a água (superficial e subterrânea).

A esse respeito, corroborando com os dados anteriores, o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANASAB (Brasil, 2019, p. 32) indica que é o Nordeste a região que, em números absolutos, possui o maior déficit de atendimento em relação aos serviços com esgotamento sanitário do Brasil.

Diante do exposto, pode-se presumir que há coerência entre as respostas espectrais da água e o IET_{SA} e, embora os órgãos oficiais não monitorem mais qualidade da água do Açude Grande, como já mencionado, algumas pesquisas vêm se empenhando em estabelecer a sua condição de degradação.

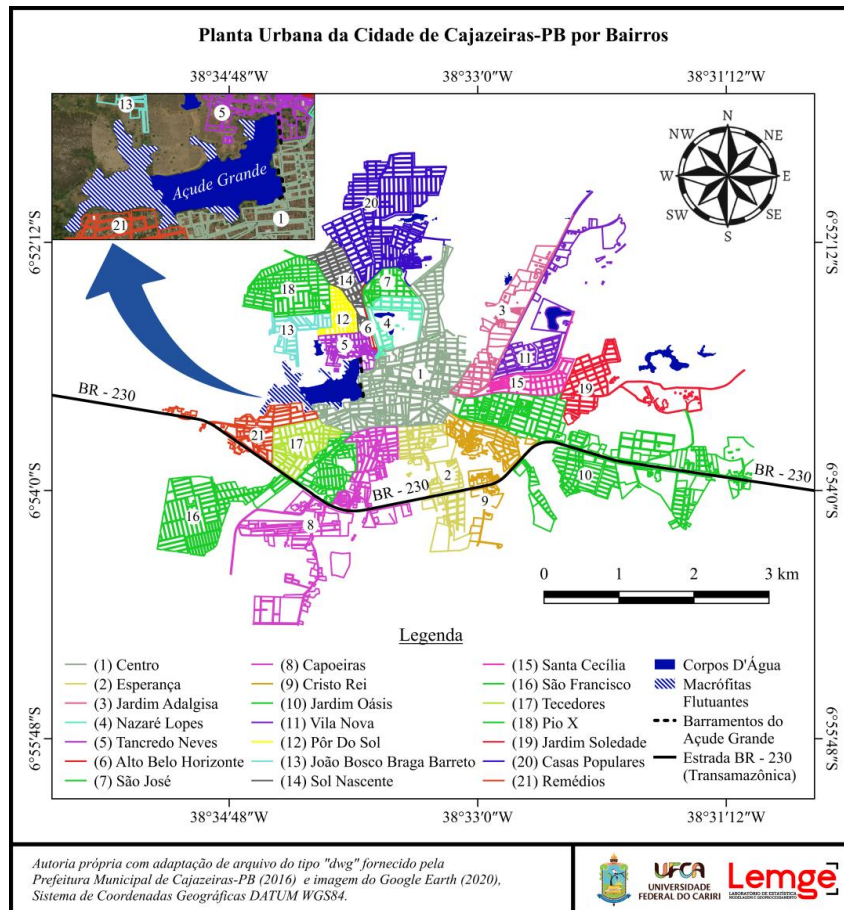


Figura 10 - Planta urbana da cidade de Cajazeiras-PB por bairros. Fonte: Autoria própria (2020).

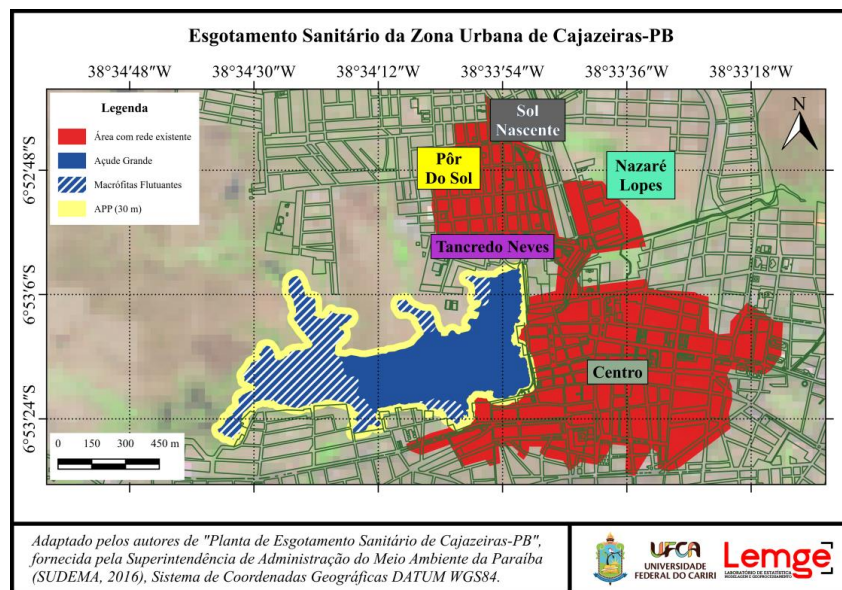


Figura 11 - Esgotamento sanitário da zona urbana de Cajazeiras-PB. Fonte: Autoria própria (2020).

São alguns exemplos de investigações sobre o reservatório: "Açuê Grande: uma análise socioambiental do seu entorno" (Costa et al. 2010a); "Meio ambiente e Açuê Grande: um estudo de representações sociais com usuários do reservatório da cidade de Cajazeiras/PB" (Costa et al. 2010b); "Diagnóstico da Área de Preservação

Permanente (APP) do Açuê Grande no Município de Cajazeiras-PB" (Gomes et al. 2013); "O espaço em construção: ocupação e usos das áreas no entorno do Açuê Grande na cidade de Cajazeiras-PB" (Arruda, 2014); "Aspectos gerais da degradação das águas do "Açuê Grande" de Cajazeiras-PB" (Souza, 2015); "Avaliação da

qualidade da água do Açude Grande na cidade de Cajazeiras-PB” (Rolim et al., 2019); e “Ecotoxicological Index: indicando a qualidade ambiental de um reservatório urbano” (Azevêdo et al., 2019).

Embora nenhum dos trabalhos citados trate, especificamente, sobre os dados de trofia, os dois últimos utilizam métodos para avaliar a água em si. Rolim et al. (2019), por exemplo, faz uso de 6 (seis) parâmetros físico-químicos em 5 (cinco) pontos do reservatório para classificá-lo de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA, o qual o definiu como sendo água doce de classe 4, isto é, útil apenas para navegação e harmonia paisagística.

Já Azevêdo et al. (2019) aplicou o *Ecotoxicological Index* (EI), no qual 10 (dez) amostras de solo com seres bentônicos foram retiradas, sendo metade da margem sul (mais ocupada pela cidade) e a outra metade da margem norte (menos ocupada pela cidade), com o objetivo de, através da análise e quantificação desses organismos, estabelecer como está a situação do açude.

Referido índice adota uma escala percentual de 0 a 100, onde zero indica sem impacto ambiental e 100 um impacto ambiental máximo, no que foi encontrado um EI de 53,85 ficando, mais uma vez, estabelecida a situação de degradação do referido lago. Essa publicação também chama atenção para a grande quantidade de macrófitas flutuantes existentes no Açude Grande como um dos indicadores de desequilíbrio ambiental e perda da qualidade de sua água.

Conclusão

Não é novidade que a humanidade é dependente dos recursos naturais para a sua sobrevivência. Dentre esses recursos a água é, talvez, o elemento mais valioso para regular e moldar a vida como a conhecemos, sendo, a sua versatilidade responsável por qualificá-la como “solvente universal”.

Embora a importância da água seja de difundido conhecimento, boa parte da sociedade parece desprezar as consequências do seu desperdício, fato que ocorre mesmo em áreas com maior escassez de sua oferta, assim, conforme exemplificado no presente estudo, faz-se mister o planejamento prévio para evitar perdas desnecessárias.

Tradicionalmente, o estabelecimento da qualidade da água sempre foi dependente das

análises de diversas variáveis avaliadas em laboratórios e em processos que demandam equipes de campo e utilização de sofisticados equipamentos. A despeito disso, o Sensoriamento Remoto vem se apresentando como uma ferramenta rápida e viável capaz de atuar como técnica que pode auxiliar nos procedimentos de indicação da qualidade de corpos hídricos superficiais.

Considerando os dados apresentados nesse artigo, pôde-se concluir que é possível utilizar a resposta espectral da água, captada nos satélites, como base para inferência da sua qualidade, desde que sejam respeitadas as especificidades de cada local sendo, para isso, necessário estabelecer a correlação entre a verdade constatada no campo e os dados registrados nos sensores orbitais.

Para a demonstração da técnica foi utilizado, como exemplo, o caso do açude Senador Eptácio Pessoa (Açude Grande), localizado na cidade de Cajazeiras-PB, no qual foram comparadas as respostas captadas pelo satélite LANDSAT 8 e o IET_{SA}, com o objetivo de se estabelecer correlação entre esses dados.

Uma vez estabelecida a correspondência entre as variáveis, foi possível deduzir a evolução da degradação da qualidade da água do corpo hídrico aludido, isso porque o crescimento populacional da cidade de Cajazeiras o afetou ao longo dos anos, transformando o reservatório, que um dia a abasteceu, em receptáculo de resíduos diversos gerados pelos seus habitantes.

Longe de acharmos que se trata de um estudo definitivo, espera-se que o presente artigo tenha sua metodologia testada e discutida por outros pesquisadores, e que também seja fonte de reflexão para o seguinte questionamento: como as cidades podem se expandir (em número populacional e área ocupada) sem afetar tanto o meio, sobretudo os recursos naturais e hídricos?

Agradecimentos

Os autores agradecem ao 5º Batalhão do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Paraíba pelo imprescindível apoio logístico na cessão de coletes salva-vidas, embarcação e seus condutores durante as coletas de campo no Açude Grande; à Universidade Federal do Cariri (UFCA) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Juazeiro do Norte pelo suporte dado através da liberação de equipamentos e laboratórios necessários às

análises das amostras da água; assim como agradecem à Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente (SEDRUMA) de Cajazeiras-PB pelo fornecimento de importantes e essenciais fontes de pesquisa sobre o Açude Grande.

Referências

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (2020). *Geo Portal*. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html> Acesso em: 01 jul. 2020.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA), [s.d.]. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> Acesso em: 01 jul. 2020.
- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2012). Washington D C., 22a. ed.
- Arruda, M. do S. M. de. (2014). O espaço em construção: ocupação e usos das áreas no entorno do Açude Grande na cidade de Cajazeiras-PB. Cajazeiras, Monografia (Graduação em Geografia) - UFCG. Disponível em: <http://www.cfp.ufcg.edu.br/geo/monografia/s/MARIA%20DO%20SOCORRO%20MORAES%20DE%20ARRUDA.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Azevêdo, E. de L.; Silva, W. C. M.; Assis, T. I. A. de; Sousa, R. A. de. (2019). Ecotoxicological Index: indicando a qualidade ambiental de um reservatório urbano. In: Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade - CONIMAS. Campina Grande, 20 a 22 de nov. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/63460> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Mierzwa, J. C.; Barros, M. T. L. de; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. (2005). Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2 ed.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional / Secretaria Nacional de Saneamento. (2019). Plano Nacional do Saneamento Básico - PLANSAB. Disponível em: https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf Acesso em: 01 jul. 2020.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo / Brasília: CETESB / ANA. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2018). Fundamentos do controle de poluição das águas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Costa, S. de O. P.; Costa, S. P.; Almeida, J. C. de; Costa, S. A. P.; Gomes Filho, M. F. (2010a). Açude Grande: uma análise socioambiental do seu entorno. In: Anais do V Encontro Nacional da ANPPAS. Florianópolis, 4 a 7 de out. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT14-197-330-20100830170724.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Costa, S. de O. P.; Costa, S. P.; Almeida, J. C. de; Silva, S. P. C. e; Gomes Filho, M. F. (2010b). Meio ambiente e Açude Grande: um estudo de representações sociais com usuários do reservatório da cidade de Cajazeiras/PB. In: Anais do V Encontro Nacional da ANPPAS. Florianópolis, 4 a 7 de out. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT6-197-456-20100830170558.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Ferreira, L. M. R.; Esteves, L. S.; Souza, E. P. de; Santos, C. A. C. dos; Rêgo, V. G. de S. (2019). Mudanças espaço temporal da disponibilidade de serviços ecossistêmicos em uma microbacia hidrográfica do nordeste brasileiro. Desenvolvimento e Meio Ambiente, 52, 155-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v52i0.57716>
- Figueiredo Filho, D. B.; Silva Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson. Revista Política

- Hoje, 18(1), 115-146. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politicohoje/article/download/3852/3156> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Florenzano, T. G. (2011). Iniciação em Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 3 ed.
- Gomes, I. H. R. A.; Silva, F. J. da; Quaresma, J. M.; Alves, A. J. S.; Silva, S. das C. (2013). Diagnóstico da área de preservação permanente do açude grande no município de Cajazeiras-PB. Revista Brasileira de Agrotecnologia, 3(1), 1-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rebagro.v3i1.p01-03>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). IBGE Cidades@Paraíba. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama> Acesso em: 01 jul. 2020.
- INSA - Instituto Nacional do Semiárido (2014). incidencia_de_seca_sab.shp. Disponível em: http://sigsab.insa.gov.br/static/themes/v1/lib/elfinder/Arquivos/Shapefile/incidencia_de_seca_sab.zip Acesso em: 01 jul. 2020.
- Jatobá, S. U. S. (2011). Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. Boletim regional, urbano e ambiental do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 5, 141-148. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5567/1/BRU_n05_urbanizacao.pdf Acesso em: 01 jul. 2020.
- Lamparelli, M. C. (2004). Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo, Tese (Doutorado em Ciências de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - USP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/4/141134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Lopes, F. B. (2013). Uso de Sensoriamento Remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil. Fortaleza, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFC. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10582/1/2013_tese_fblopes.pdf Acesso em: 01 jul. 2020.
- Lopes, F. B.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. de M.; Andrade, E. M. de; Chaves, L. C. G. (2014). Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, (Suplemento), p.S13-S19. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupS13-S19>
- Machado, M. T. S.; Baptista, G. M. M. (2016). Sensoriamento Remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). Engenharia Sanitária e Ambiental, 21(2), 357-365. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016141970>
- MS - Ministério da Saúde. (2006). Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf Acesso em: 01 jul. 2020.
- Nadalin, V.; Iglioni, D. (2015). Espreadimento urbano e periferização da pobreza na região metropolitana de São Paulo: evidências empíricas. EURE (Santiago), 41(124), 91-111. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000400005>
- Oliveira, E. J. A. de; Molica, R. J. R. (2017). A poluição das águas e as cianobactérias. Recife: IFPE. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/195/1/Cartilha%20a%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20das%20C3%81guas%20IFPE.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Paraíba. (2011). Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAE-PB/IICA. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia/Superintendência de Administração do Meio Ambiente. Disponível em: https://paraiba.pb.gov.br/wp-content/uploads/2013/09/Livro_PAE_PB.pdf Acesso em: 18 nov. 2019.
- Paula Filho, F. J. de. (2014). Avaliação integrada da bacia de drenagem do Rio Parnaíba através de fatores de emissão de cargas de Nitrogênio e Fósforo e índices de qualidade de águas. Fortaleza, Tese (Doutorado em Ciências Marinhas e Tropicais) - UFC. Disponível em:

- http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17677/1/2014_tese_fjdepfilho.pdf Acesso em: 01 jul. 2020.
- Pearson Education do Brasil. (2011). Gestão ambiental. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Pereira, J. D. A.; Nogueira, V. de F. B.; Souza, C. L. O. de; Nogueira, V. da S.; Gomes, F. T.; Rocha, D. S. (2020). Uso do sensoriamento remoto para monitoramento da redução das águas do complexo curuma-mãe d'água. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 13954-13966. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-312>
- Pufal, M. I. (2001). Uso de Sensoriamento Remoto na obtenção de parâmetros de qualidade da água em lagos. Brasília, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - UNB. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/01/MarcosIrineu.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Reis, A. Obras novas contra as secas. (1975). In: Cartaxo, R. (Org.). Estrada das boiadas: roteiro para São João do Rio do Peixe. João Pessoa: Nopigral, p. 71-81.
- Rocha Junior, C. A. N. da; Costa, M. R. A. da; Menezes, R. F.; Attayde, J. L.; Becker, V. (2019). Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. Acta Limnologica Brasiliensia, 30(106). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2117>
- Rolim, H. de O.; Nunes, A. B. de A.; Nascimento, F. J. de S. C.; Chaves, J. R. (2019). Proposal of a Trophic State Index in Semiarid reservoirs using data of the Banabuiú Basin, state of Ceará, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, 31(26). DOI: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x12517>
- Rolim, K. A. M.; Oliveira, M. A. B.; Leite, G. U.; Monteiro, H. B. dos S.; Sousa, F. C. de F.; Porto, T. M. R. (2019). Avaliação da qualidade da água do Açude Grande na cidade de Cajazeiras-PB. Revista Interdisciplinar em Saúde, 6(3), 3-22. DOI: <https://doi.org/10.35621/23587490.v6.n3.p3-22>
- Silva Neto, B. (2013). Perda da vegetação natural na Chapada do Araripe (1975/2007) no Estado do Ceará. Rio Claro, Tese (Doutorado em Geografia) - UNESP. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104464/silvaneto_b_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 01 jul. 2020.
- Sousa, K. A. de; Espindola, G. M. de; Silva, C. E. da. (2021). Qualidade da água e sensoriamento remoto: análise bibliométrica da produção científica mundial. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.1, p.577-590. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-602>
- Souza, J. A. P. de. (2015). Aspectos gerais da degradação das águas do “Açude Grande” de Cajazeiras-PB. Cajazeiras, Monografia (Graduação em Geografia) - UFCG. Disponível em: <http://www.cfp.ufcg.edu.br/geo/monografias/JOSE%20ADNAYLTON%20%20PEREIRA%20DE%20SOUZA.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Souza Júnior, T. G. de; Meireles, A. C. M.; Oliveira, C. W.; Santos, Y. T. da C.; Roque, R. de L. (2020). Açude Grande de Cajazeiras (PB): um insustentável exemplo de descuido com a água no semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA). 15, 3, 315-337. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2020.v15.9701>
- Sposito, M. E. B. (2005). Capitalismo e urbanização. São Paulo: Contexto, 15 ed.
- Tamdjian, J. O.; Mendes, I. L. (2010). Geografia: estudos para a compreensão do espaço. São Paulo: FTD, 1 ed., vol. 2.
- USGS - United States Geological Survey. (2019). Earth Explorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 01 jul. 2020.
- Valente, J. P. S.; Padilha, P. M.; Silva, A. M. M. da. (1997). Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. Eclética Química, 22. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46701997000100004>
- Vilela, M. A. M. A. (2010). Metodologia para monitoramento da qualidade da água de reservatórios utilizando Sensoriamento Remoto. Uberlândia, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFU. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14144/1/MetodologiaMonitoramentoQualidade.pdf> Acesso em: 01 jul. 2020.