



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Impactos das atividades antrópicas em bacia hidrográfica periurbana verificados por meio de indicador ambiental – Extremoz/RN

Carlos Wilmer Costa¹, Giulliana Karine Gabriel Cunha², Alisson Vicente Silva Bezerra³, Caio Vitor Matos Moreira⁴, Guilherme José da Silva Diniz⁵, Ana Gabriela Rodrigues de Souza⁶, Hanna Camila de Barros Câmara⁷, José Arthur do Nascimento Ramalho⁸, Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa⁹

¹Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECAM). Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Geógrafo pela Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá (FEPI). E-mail: carloswilmercosta@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3148-0030>

²Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas na UFRN. Engenheira Ambiental em Ciências e Tecnologia com ênfase em Tecnologia Ambiental, Mestre em Eng. Sanitária e Ambiental. E-mail: giullianakarine12@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7438-3233>

³Engenheiro ambiental, Mestre em Eng. Sanitária e Ambiental. E-mail: alissonvbezerra@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0529-1137>

⁴Doutorando em Ecologia na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Possui graduação em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. E-mail: caiovitormatos@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9720-1591>

⁵Engenheiro ambiental, Mestre em Eng. Sanitária e Ambiental. E-mail: guilherme.diniz@live.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1749-0726>

⁶Engenheira ambiental, Mestre em Eng. Sanitária e Ambiental. E-mail: gabrielarouza@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8080-0344>

⁷Engenheira ambiental, Mestre em Eng. Sanitária e Ambiental. E-mail: hannacamilabc@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0009-0000-9713-263X>

⁸Engenheiro ambiental, Mestrando em Eng. Sanitária e Ambiental na UFRN. E-mail: arthur.ramalho.094@ufrn.edu.br - orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0218-3037>

⁹Engenheiro Civil, Mestre em Eng. Civil e Ambiental. E-mail: matheusnatanacivil@gmail.com - orcid: <https://orcid.org/0009-0000-6546-3899>

Artigo recebido em 04/10/2023 e aceito em 29/06/2024

RESUMO

Em escala global, a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento humano são cada vez mais limitadas. Não há dúvidas que o processo para a recuperação da disponibilidade permeia técnicas de planejamento territorial de bacias hidrográficas que são utilizadas como mananciais de abastecimento. Este artigo tem como objetivo aplicar o Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO) na bacia hidrográfica de Extremoz que é um manancial superficial da cidade de Natal/RN. Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para delimitar a área de contribuição do manancial, na sequência, para mapear a cobertura natural e os usos do solo oriundos das atividades humanas, foram utilizadas imagens do satélite SENTINEL 2, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), as informações geográficas foram integradas e operações como Distância Euclidiana, Lógica Fuzzy e Soma Ponderada foram realizadas no software ArcGIS 10.5. Em se tratando de área de manancial periurbano, a aplicação de um índice que mede a distância das fontes impactantes em relação aos elementos hídricos, pode ser vista como um modelo com alto potencial de replicação, visando subsidiar com informações técnicas o planejamento de outras áreas de manancial. A análise do índice revela áreas de menor qualidade hídrica estão ligadas a atividades poluentes, urbanização acentuada, bem como à expansão urbana que invade zonas de mananciais. A presença de um aterro sanitário próximo ao manancial destaca a necessidade de um monitoramento rigoroso e manutenção preventiva para evitar danos ambientais graves que podem potencialmente afetar a saúde ambiental do corpo hídrico como também a saúde pública.

Palavras-chave: Segurança hídrica, Planejamento urbano, Geoprocessamento.

Impacts of anthropogenic activities in a peri-urban watershed area verified through an environmental indicator Extremoz/RN

ABSTRACT

3022

Costa, C. W., Cunha, G. K. G., Bezerra, A. V. S., Moreira, C. V. M., Diniz, G. J. S., Souza, A. G. R., Câmara, H. C. B., Ramalho, J. A. N., Sousa, M. N. F. A.

Globally, the quality and quantity of available water resources for human consumption are increasingly limited. There is no doubt that the process of recovering availability involves techniques of territorial planning for watersheds used as water supply sources. This article aims to apply the Water Resources Environmental Quality Index (IQA-HIDRO) in the Extremoz watershed, which is a surface water source for the city of Natal/RN. The Digital Elevation Model (DEM) derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) was used to delimit the contributing area of the water source. Subsequently, for mapping natural coverage and land uses resulting from human activities, images from the SENTINEL 2 satellite were used in a Geographic Information Systems (GIS) environment. Geographic information was integrated, and operations such as Euclidean Distance, Fuzzy Logic, and Weighted Sum were performed in ArcGIS 10.5 software. Regarding peri-urban watershed areas, applying an index that measures the distance from impacting sources to water elements can be seen as a model with high replicability potential, aiming to provide technical information for planning in other watershed areas. The index analysis reveals areas of lower water quality associated with pollution activities, pronounced urbanization, as well as urban expansion encroaching upon watershed zones. The presence of a landfill near the water source emphasizes the need for rigorous monitoring and preventive maintenance to avoid severe environmental damage that could potentially impact the environmental health of the water body as well as public health. Keywords: Water security, Urban planning, Geoprocessing

Introdução

O fornecimento de água é um pilar indispensável para a sobrevivência e o progresso da sociedade humana. Por essa razão, é de suma importância avaliar minuciosamente a qualidade ambiental e a capacidade de fornecer recursos hídricos das sub-bacias que possuem mananciais de abastecimento, como é o caso da Bacia Hidrográfica (BH) em estudo (Li et al., 2021). No entanto, emergem desafios substanciais que lançam ameaças à segurança do suprimento de água potável para uma parcela substancial da população (Ahmadi et al., 2020). O aumento previsto na demanda por água nos anos vindouros, aliado às mudanças climáticas em curso, colocam em risco a garantia de um fornecimento adequado de água (Miller et al., 2021).

Além disso, a expansão das áreas urbanas intrinsecamente ligada à ocupação de áreas próximas aos mananciais e ao aumento da demanda de água devido aos padrões de consumo, que são maiores nas cidades, exerce uma influência direta nesse cenário, intensificando a complexidade da gestão e do planejamento e tornando necessário a realização de estudos para adaptação das fontes de água, que já são escassas (Sanchez et al., 2020). Nesse contexto, é crucial reconhecer que o crescimento populacional nos próximos anos será um dos principais desafios no que concerne ao abastecimento de água (Golfam; Ashofteh; Loáiciga, 2021). As projeções indicam que a população global aumentará de 8,0 bilhões para 9,7 bilhões de pessoas até 2050, conforme dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2020).

A projeção de um aumento de 80% no consumo de água pelas áreas urbanas até 2050

destaca um cenário alarmante de possível escassez, afetando potencialmente 3,5 a 4,4 bilhões de pessoas, devido tanto às mudanças climáticas quanto ao crescimento do consumo hídrico para atividades humanas (Flörke; Schneider; McDonald, 2018). Adicionalmente, a indústria exerce um papel crucial no panorama global do uso de água, sendo responsável por cerca de 22% do consumo total de recursos hídricos em escala mundial. Estudos indicam que a demanda industrial por água pode crescer drasticamente, chegando a 400% até 2050, impulsionada pelo desenvolvimento econômico (OECD, 2012). Essa rápida expansão da indústria repercute diretamente no aumento da demanda de água, impondo pressões adicionais sobre os já limitados recursos hídricos disponíveis (WANG et al., 2018).

A urbanização de bacias hidrográficas estabelece uma conexão intrínseca com a degradação da qualidade da água nos rios e aquíferos subterrâneos. Essa degradação é mais pronunciada em centros urbanos densamente povoados, nos quais a eficácia dos sistemas de saneamento é reduzida (Valadão, et al, 2018). Mesmo bacias de pequenas cidades, com baixos níveis de impermeabilização, já exibem aumento dos níveis de poluentes em seus mananciais. O impacto negativo nos corpos d'água é amplificado proporcionalmente à expansão das áreas de baixa permeabilidade nas bacias (Nagy et al, 2011; Da Silva, 2018). Esse efeito deriva do acréscimo na taxa de escoamento superficial, resultado da impermeabilização do solo, o qual transporta poluentes como sólidos, metais pesados, nutrientes e microorganismos para os corpos hídricos,

potencializando a poluição difusa (Costa et al., 2013).

No contexto do crescimento contínuo das áreas urbanas, agrícolas e industriais, torna-se imperativo implementar estratégias de ordenamento territorial fundamentadas em diagnósticos abrangentes, considerando aspectos físicos, bióticos e antrópicos. Essa abordagem viabiliza o monitoramento das mudanças nos padrões de uso do solo e a antecipação dos possíveis impactos nos recursos hídricos. Apesar do crescente reconhecimento das bacias hidrográficas como unidades de planejamento, estudos que abordam os impactos das atividades humanas nas bacias utilizadas como fontes de abastecimento de água permanecem escassos (Costa et al., 2015).

A fim de conduzir estudos ambientais em bacias hidrográficas, é essencial obter uma compreensão abrangente das dinâmicas que ocorrem na bacia hidrográfica, considerando suas características geoambientais, uso e ocupação do solo, entre outros fatores. Esse conhecimento é fundamental para diagnosticar os impactos ambientais mais relevantes. Entre os impactos de grande relevância em sub-bacias que servem como mananciais de abastecimento, destaca-se a erosão do solo, que desencadeia uma série de problemas. Tais problemas incluem a remoção de nutrientes do solo, a diminuição da capacidade de absorção das raízes das plantas e, consequentemente, a redução do armazenamento de água disponível. Além disso, a erosão do solo também resulta na diminuição das áreas disponíveis para agricultura e pecuária. Além do mais, ela contribui para o assoreamento de corpos d'água, aumentando o risco de enchentes ao elevar o pico de vazão de rios, e propaga a poluição dos corpos hídricos, especialmente devido ao transporte de agroquímicos junto aos sedimentos erodidos (Guo et al., 2019).

A presença de vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP) proporciona inúmeras vantagens. Ela atua como um escudo contra a erosão, mantém a estabilidade do solo, reduz o escoamento superficial, filtra poluentes e aprimora a qualidade da água. Além disso, a vegetação desempenha um papel crucial na regulação do fluxo de água em bacias hidrográficas, inclusive durante períodos de seca, oferece habitats e benefícios sociais à população, como áreas para recreação.

A produção pecuária desempenha um papel notável na segurança alimentar sustentável, especialmente em regiões de baixa renda ou com limitada aptidão agrícola (Godber; Wall, 2014). Contudo, o futuro desse setor apresenta desafios consideráveis devido a seus impactos negativos no ambiente, contribuindo para o aquecimento global, poluição da água e do ar, perda de biodiversidade e outras consequências. No entanto, a redução da produção pode atenuar a pegada ambiental do setor, exercendo um papel benéfico em grande parte dos agroecossistemas (Barbieri et al., 2022).

A conversão de vegetação nativa para uso agrícola traz consigo impactos negativos significativos para a bacia, afetando a qualidade do solo e da água, impactos estes como: maiores concentrações de sólidos totais, turbidez e sólidos suspensos em áreas da bacia com predominância de atividades agrícolas. Regiões com maior densidade populacional e impermeabilização do solo também exibem elevadas concentrações de DBO, fosfato, nitrato e *Escherichia coli* (Filho et al., 2012).

No horizonte futuro, a crescente extração de água doce pelo setor agrícola evoca preocupações de sustentabilidade global dos recursos hídricos (Kögler; Söffker, 2017). A agricultura já absorve aproximadamente 80% da oferta hídrica superficial e subterrânea do mundo (Xinchun et al., 2017). Esse aumento na demanda agrícola por água, em escala global, é intrinsecamente moldado pelo crescimento populacional, pela expansão da renda e pelas alterações de hábitos alimentares (De Fraiture; Wichelns, 2010).

Por meio da coleta, análise e quantificação de dados geograficamente referenciados obtidos a partir de imagens de satélites orbitais, é possível rastrear as influências humanas nas bacias hidrográficas, utilizando indicadores ambientais, como a distância entre fontes que geram impactos adversos nos ecossistemas aquáticos. Um desses indicadores é o Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO) (Silva et al., 2017; Mazzuco et al., 2017; Mazzuco, Lorandi, 2018). Esse índice se fundamenta no cálculo das distâncias em relação a fontes importantes ligadas ao tipo de uso e cobertura do solo, localizadas próximas à rede de drenagem. O IQA-HIDRO se é uma ferramenta capaz de diagnosticar a perda de áreas naturais e a degradação dos bens e serviços ambientais associados aos mananciais, constituindo uma base sólida para decisões

relacionadas à ocupação e uso do solo com embasamento técnico.

Considerando os impactos negativos decorrentes do uso humano nas bacias hidrográficas, torna-se imprescindível acompanhar as mudanças na qualidade das águas dessas bacias, especialmente quando utilizadas para abastecimento humano. Nesse contexto, a utilização do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica emerge como uma ferramenta essencial para caracterizar a vulnerabilidade dos mananciais superficiais de Natal, o que consequentemente afeta os serviços ambientais prestados à sociedade devido ao uso humano. Portanto, o objetivo deste trabalho é aplicar o IQA-HIDRO em uma sub-bacia hidrográfica de manancial peri-urbano para analisar a vulnerabilidade dos corpos hídricos em relação à distância das fontes geradoras de impacto negativo. O que pode ajudar a avaliar o grau de

suscetibilidade do manancial quanto ao comprometimento do fornecimento de água para abastecimento humano em quantidade e qualidade.

Localização e caracterização geoambiental

Localizada no Rio Grande do Norte, o manancial de Extremoz abrange as sub-bacias hidrográficas do rio Mudo e do rio Guajiru, formando a bacia do rio Doce, que por sua vez deságua no estuário do Rio Potengi (Silva, 2017). A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) envolve parte dos municípios de Ielmo Marinho (13.901 habitantes; IDHM: 0,550), Taipu (12.297 hab.; IDHM: 0,569), Ceará-Mirim (73.886 hab., IDHM: 0,616), São Gonçalo do Amarante (103.672 hab.; IDHM: 0,661), Extremoz (23.936 hab.; IDHM: 0,660) e Natal (890.480 hab.; IDHM: 0,763) e possui uma área de drenagem de 32.826,26 ha (Figura 1).

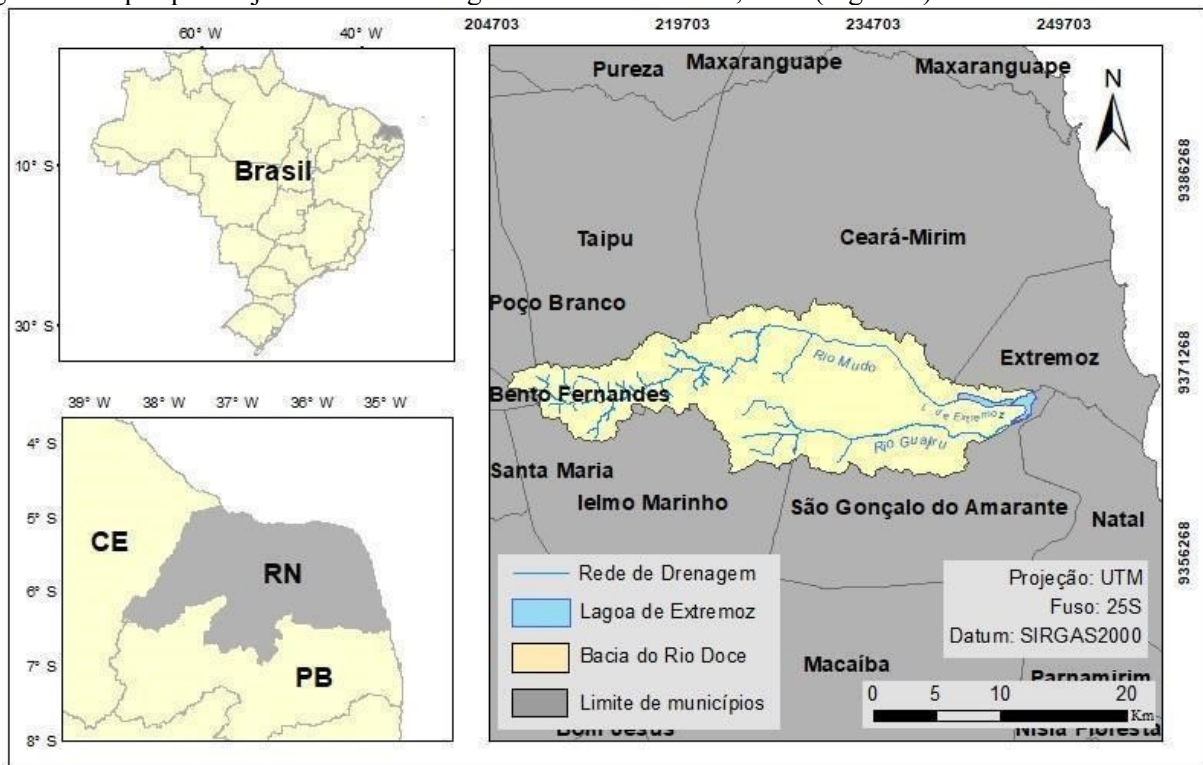


Figura 1. Localização da BHRD - Manancial de Extremoz (RN). Sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS2000, fuso 25 Sul.

O manancial de Extremoz está localizado a aproximadamente 15 km de Natal, entre as coordenadas 206045mE, 9369285mN (montante) e 247567mE, 9368418mN (jusante). A rede de drenagem possui 136,13175 km de comprimento, sendo que a área da barragem ocupa 337,884 ha e

11.019.525,00 m³ de capacidade máxima (SEMARH). Tal manancial é responsável pelo abastecimento de 62% da população localizada na Zona Norte de Natal (Melo et al., 2012), parte dos municípios de São Gonçalo do Amarante e

Extremoz (ANA, 2021), evidenciando a importância dos mananciais para o município.

Em relação aos aspectos geológicos, a bacia do rio doce é constituída predominante pela formação barreiras, estrutura na qual o solo é formado a partir do intemperismo físico de rochas compostas (ricas em silicato), as quais geram sedimentos clásticos, que a partir da sua estrutura granulométrica podem variar desde argila até conglomerados. Já a parte central é composta por depósitos sedimentares devido aos efeitos colúvio-eluviais, com superfície predominantemente plana. Sua estrutura é formada por uma sequência clástica grosseira do topo para a base, iniciando com o capeamento de solos arenosos e inconsolidados, isso em consequência dos processos de erosão, intemperismo e lixiviação, referentes às rochas pré-cambrianas e o grupo barreiras.

(RADAMBRASIL, 1981; Pereira et al.,2000; Barreto et al., 2004, Oliveira,2011)

Na região oeste há presença de depósitos aluvionares, que por sua vez são encontrados na forma de areias finas a grosseiras, cascalho até matacão e argila com material em decomposição, sobrepondo as extensões do grupo barreiras. A formação Jandaíra se encontra em pequenos trechos da bacia, ela é comumente usada para denominar a bacia potiguar, situada entre o embasamento cristalino e a base de escarpa, tal qual delimita seu contato com a Formação Jandaíra. E ao sul se encontra um trecho designado como formação Seridó, a qual apresenta uma faixa de xisto sob o grupo seridó, sendo afetada por no mínimo três fases de dobramento e metamorfismo. (RADAMBRASIL, 1981; Melo et at, 2000; Pereira et al., 2000; Barreto et al., 2004; Oliveira, 2011).

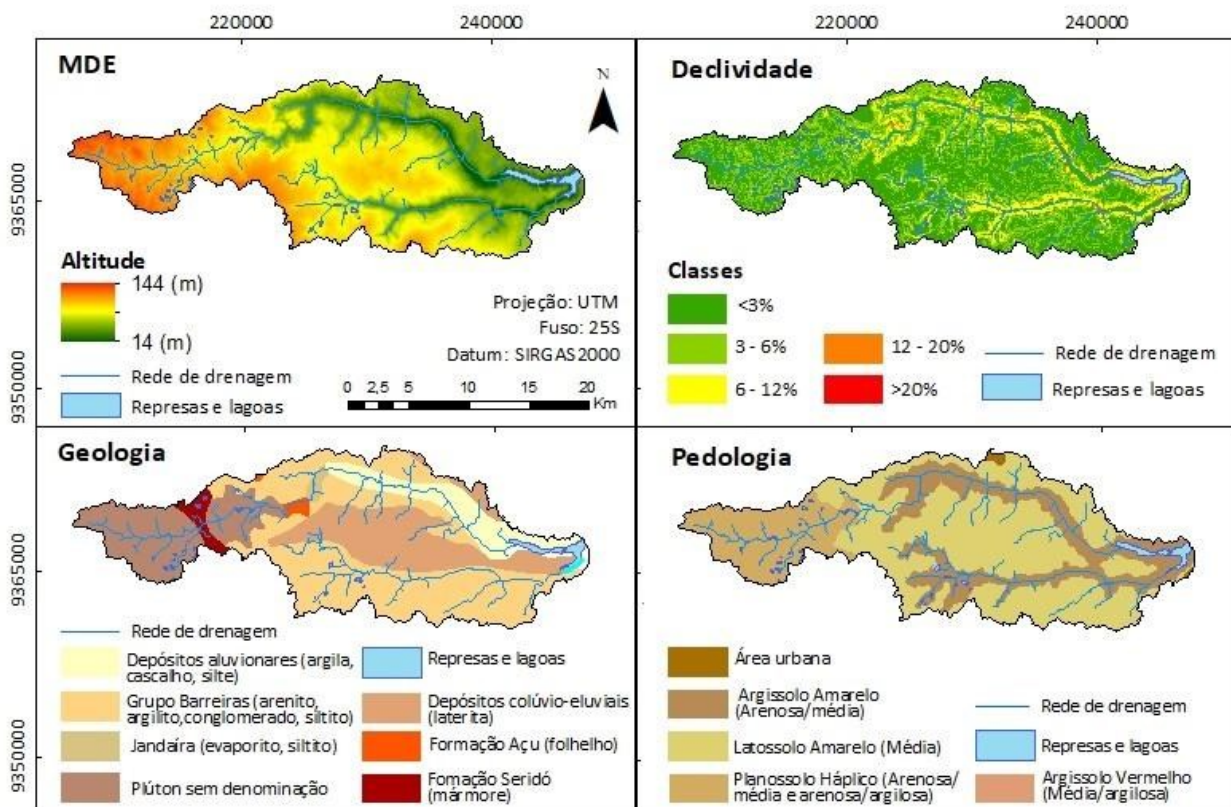


Figura 2. Geodados na forma de planos de informação de altimetria - Modelo Digital de Elevação (MDE), declividades, Geologia e Pedologia.

Quanto aos solos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), há

uma predominância de 62% de Latossolos Amarelos Distróficos e 25% de Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos na área da bacia (EMBRAPA, 2006). Isto é, solos areno-argilosos desenvolvidos a partir do intemperismo químico e

físico da formação Barreiras, assim como solos argilosos oriundos do desgaste de rochas cristalinas (Tabela 1).

Pela visão pedológica, o latossolo amarelo compreende aos solos minerais, não hidromórficos, com grau avançado de intemperismo que resulta no aparecimento de minerais de argila do grupo 1:1, apresenta textura argilosa média e relevo variando do plano a ondulado. Em análogo, o planossolo possui em sua constituição argila em atividade alta, com valores médios a elevados para saturação de base, solos rasos a medianamente profundos, sendo a mudança textural abrupta, com granulometria

areno argilosa (Melo et al., 2000; Pereira et al., 2000; Oliveira, 2011).

Já gleissolos são solos hidromórficos, desenvolvidos a partir de sedimentos recentes do Holoceno, de textura variável, e devido ao processo de gleização apresentam cores que variam do cinza ao preto. Em contrapartida, os argissolos vermelho-amarelos são formados a partir da deterioração de rochas cristalinas presentes no grupo barreiras, com grande acúmulo de argila, que varia sua tonalidade entre os tons vermelhos e amarelos, devido a presença de alguns óxidos presentes em sua composição. (Melo et al., 2000; Pereira et al., 2000; Oliveira, 2011).

Tabela 1 - Classificação do solo na área de estudo.

Símbolos	Composição do Solo	Textura	Área (km²)
LAd9	Latossolos Amarelos Neossolos Quartzarênicos	Distróficos Órticos	203,4 (62%)
PVAd51	Argissolos Vermelho-Amarelos Planossolos Háplicos Neossolos Flúvicos	Distróficos Eutróficos Ta Eutróficos	80,9 (25%)
SXe16	Planossolos Háplicos Planossolos Nátricos Neossolos Litólicos	Eutróficos Órticos Eutróficos	28,8 (9%)
GZn1	Gleissolos Sálcos Sódicos		15,2 (5%)

Fonte: EMBRAPA, 2006.

Com relação à declividade, foi possível perceber uma predominância de relevo plano (<3%) na maior parte da bacia, o que corresponde aos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras. As maiores declividades (>20%) foram identificadas nas vertentes dos rios Mudo e Guajiru.

O tipo climático da região é tropical chuvoso, com verão seco e período chuvoso entre os meses de fevereiro a setembro. A temperatura média anual é de 27° C e umidade relativa média anual de 76% (CPRM, 2005).

Quanto à pluviometria, para o ano de 2018 observou-se uma precipitação acumulada de 1165,2 mm, com mês de maior acumulado referindo-se a abril, com 247,6 mm. Para o ano de 2019, considerando o período entre 01/01/19 a

26/04/19, verifica-se um total acumulado de 654,4 mm.

Materiais e métodos

Fonte de dados matriciais primários, como imagens dos satélites de sensoriamento remoto da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e SENTINEL 2A/2B, bem como dados secundários (vetorizados), como mapas geológicos e pedológicos, são utilizadas neste trabalho. O software de SIG utilizado foi o ArcGIS 10.5. Será adotado o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS2000, fuso 25S (Tabela 2).

Tabela 2. Características dos geodados de Sensoriamento Remoto

Satélite	Sensor	Fonte	Data	Resolução Espacial (Metros)	Bandas
SRTM	Radar de Abertura Sintética	TOPODATA	11 a 22/02/2000	30	X-SAR
Sentinel-2A	MSI	ESA Copernicus	30/10/2019	10	2, 3, 4 e 8
Sentinel-2B			28/10/2019		

O cálculo do Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO)

envolve algumas etapas sequenciais que estão organizadas de forma esquemática na Figura 3.

Na etapa 1, após ser escolhida a área de estudo (manancial periurbano), foi obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE) para a delimitação da bacia hidrográfica por meio de algoritmos de análise hidrológica do disponíveis no módulo Spatial Analyst do ArcGIS 10.5. Nesta etapa também foi obtida a rede de drenagem.

Na etapa 2 foram obtidas imagens dos satélites de sensoriamento remoto Sentinel 2A e 2B, as quais foram utilizadas para a elaboração do mapa de cobertura e uso do solo. A classificação dos tipos de usos foi realizada por meio de

vetorização manual em tela (heads-up) (Santos, et al, 2021) tendo como pano de fundo as composições coloridas - cor natural (RGB 432). A interpretação dos objetos na superfície terrestre foi realizada a partir da interpretação das imagens (tonalidade, tamanho, contexto, forma, textura, padrão, proximidade, localização) (Garbin, 2023) das imagens satelitais. Para melhor verificação dos alvos, também foram utilizadas as imagens de alta resolução espacial dos aplicativos Google Earth, o Basemap, além do Street View disponível no Google Earth.

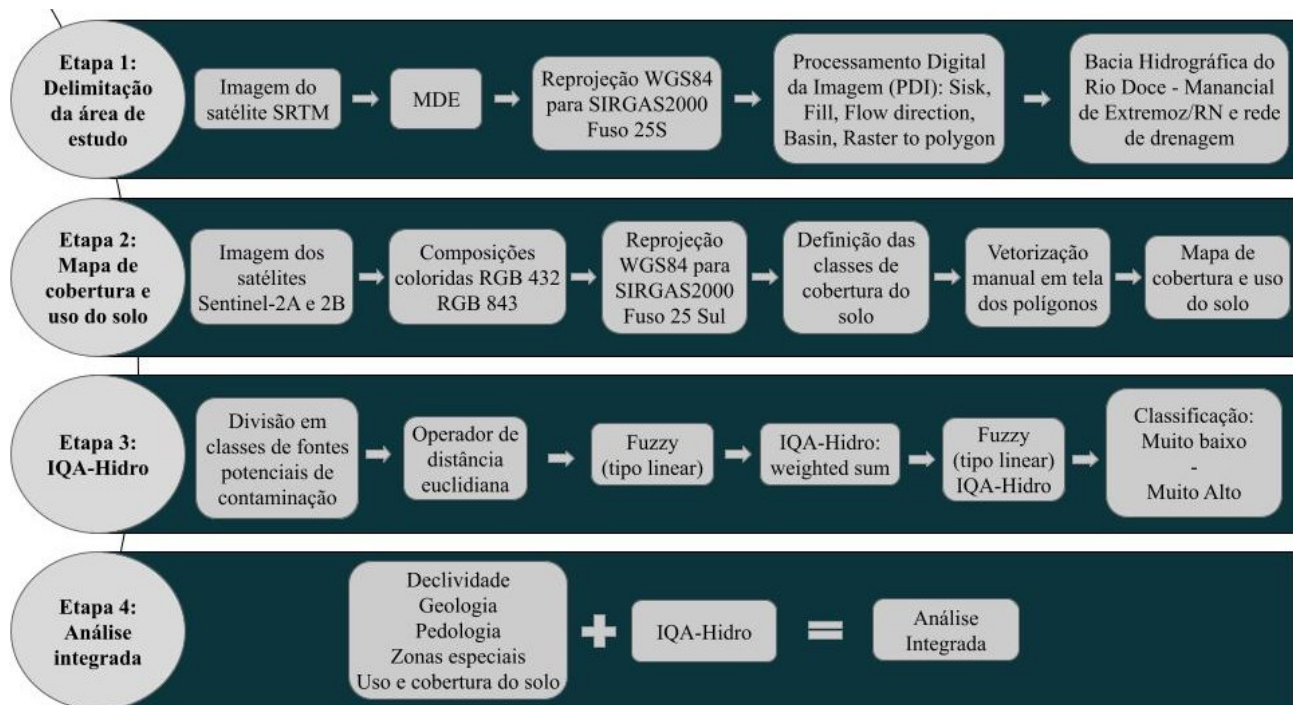


Figura 3: Fluxograma do Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO).

Na etapa 3, foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo para a divisão das classes de acordo com o seu potencial poluidor, também foram calculadas as distâncias das fontes impactantes e das áreas vegetadas com uso do operador de distância do SIG. Cada classe de uso do solo recebeu um peso de acordo com o potencial de contaminação dos recursos hídricos. Na sequência, por meio de álgebra de mapas, foi realizada a soma ponderada das diversas classes de

uso. Em seguida, tais dados foram reescalados tomando como base a Lógica Fuzzy linear $[y=f(x)]$, assumindo valores de 0 a 1, conforme Mazzuco & Lorandi (2018). Quanto menor o espaço entre as fontes impactantes e os recursos hídricos, maior a interferência negativa sobre o cálculo do IQA-HIDRO. Já com relação à distância entre as áreas vegetadas e os recursos hídricos, quanto menor a distância, maior a interferência positiva sobre o cálculo do IQA-HIDRO (Figura 4).

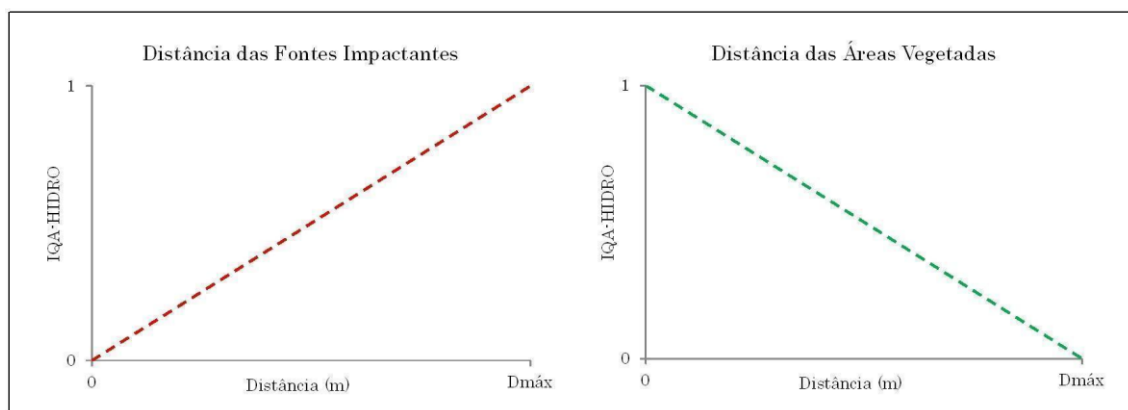


Figura 4: Curva funcional que expressa a relação entre susceptibilidade dos recursos hídricos com relação à distância (m) das fontes impactantes e das áreas com vegetação.

Por último, na etapa 4, foi feita uma análise integrada com os resultados obtidos, analisando-se os dados do IQA-HIDRO juntamente com as características do local, como o grau de declividade da região, a geologia, pedologia, a presença de poços e o uso e cobertura do solo.

A Tabela 3 mostra o potencial de contaminação dos diferentes usos encontrados na bacia, as categorias foram divididas em baixa, média, alta e muito alta, levando-se em consideração o uso de insumos agrícolas, desencadeamento de processos erosivos e uso de produtos químicos industriais.

Tabela 3. Classes dos usos do solo com potencial de contaminação dos recursos hídricos.

Baixa	Média	Alta	Muito Alta
-Cocoicultura	-Loteamentos (com vegetação herbácea)	-Solo exposto em preparo para o cultivo	-Aterro sanitário
	-Pequenas propriedades rurais com uso agrícola diversificado	-Pecuária intensiva e extensiva	-Área urbanizada
	-Subestação de energia	-Estradas	-Indústria
		-Mineração (minerais não metálicos)	-Rodovias
			-Aeroporto
			-Cana-de-açúcar

Para o cálculo da IQA-HIDRO as classes de uso com BAIXO potencial de contaminação receberam peso 1, as classes com MÉDIO potencial receberam peso 2, as de ALTO peso 3 e as de MUITO ALTO peso 4. Já com relação à vegetação, as regiões de Mata Atlântica esparsa de tabuleiro litorâneo receberam peso 2, as áreas de Mata Atlântica densa de tabuleiro litorâneo receberam peso 3 e as áreas úmidas ou de mata ciliar receberam peso 3,5.

O resultado para o IQA-HIDRO será reescalado tomando como base a lógica Fuzzy e divididos nos seguintes intervalos: Muito Baixo (0,0 – 0,2), Baixo (0,2 – 0,4), Médio (0,4 – 0,6), Alto (0,6 – 0,8) e Muito Alto (0,8 – 1,0). Desta forma, áreas com o grau mínimo de qualidade aproximam-se de 0, enquanto que o grau máximo de qualidade é representado por valores próximos à 1.

Dessa forma, o estudo contribui no sentido de cartografar as áreas onde são acentuados os impactos das atividades humanas sobre os recursos hídricos superficiais, que contribuem para diminuir a quantidade e a qualidade do manancial em estudo.

Globalmente, zoneamentos em áreas de mananciais que definem áreas com maiores vulnerabilidades ambientais, são instrumentos utilizados para o gerenciamento do uso do solo, refletindo positivamente nos recursos hídricos.

Dentro de uma abordagem holística de gestão de bacias hidrográficas, ainda faltam formas práticas de mensurar os efeitos da expansão urbana em áreas de mananciais periurbanos. O IQA-HIDRO, por medir a distância de fontes impactantes nos recursos hídricos e, com isso, indicar as áreas mais antropizadas, permite subsidiar possíveis estratégias de regulamentação

relacionadas ao planejamento territorial em área de manancial.

Para uma análise integrada, o resultado do IQA-HIDRO será comparado com as áreas especiais contidas nos planos diretores municipais e legislação pertinente (federal e estadual). Dessa forma, em mananciais, os impactos futuros da ocupação humana podem ser mitigados.

Resultados

A análise do uso e cobertura do solo (Figura 5) em conjunto com o IQA-HIDRO permitiu um diagnóstico das alterações na

paisagem no manancial, principalmente, considerando que as atividades humanas são eficientes em potencializar os processos de degradação dos recursos hídricos. Em áreas de mananciais as atividades antrópicas são tidas como as principais formas de degradação ambiental que altera as condições naturais de disponibilidade hídrica, tanto em quantidade quanto em qualidade. Com base no mapeamento do uso e cobertura do solo é possível verificar que a maior parte da ocupação da bacia é de uso antrópico (65,03%), sendo a maior parte dela utilizada para pecuária extensiva (36,39%) e para agricultura (15,46%).

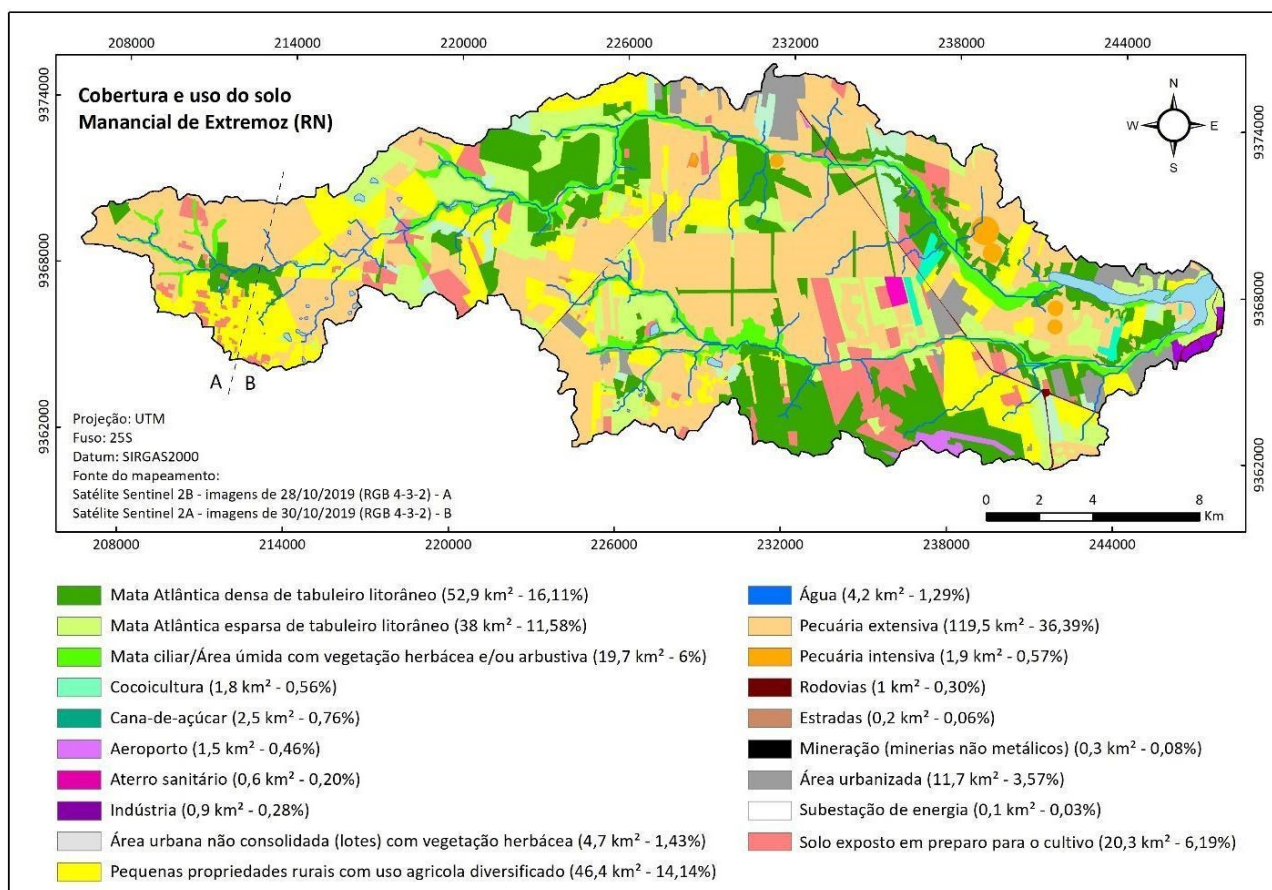


Figura 5: Cobertura e uso do solo no manancial de Extremoz.

A pecuária afeta diretamente o solo, consequentemente, os lençóis freáticos devido a compactação do solo, diminuindo a infiltração da água e degradando margens de corpos hídricos (Pasqualetto, et al, 2020). Esse modelo de atividade

humana gera impactos ao meio ambiente. A poluição desencadeada pela pecuária pode ser gerada a partir de defensivos agrícolas, fertilizantes, excretas de animais e de erosão. Dessa forma, ainda existe a poluição de maneira difusa que faz com essas substâncias sejam carregadas por todo terreno afetando o solo e os recursos hídricos (Ferreira, 2018). No mapa de uso e ocupação do

solo é possível observar as áreas utilizadas para a pecuária intensiva e extensiva em regiões bem próximas ao manancial e até mesmo na zona de APP tanto da Lagoa de Extremoz como nas APPs dos rios que desaguam na lagoa supramencionada. (Figura 5).

Com relação ao uso pela agricultura, principalmente na produção de coco e cana-de-açúcar, a utilização de pesticidas e fertilizantes promovem o enriquecimento desses contaminantes no solo que em temporadas de chuvas são levados para os corpos hídricos pelo escoamento superficial. Esses produtos são ricos em metais pesados, nutrientes e outros materiais inorgânicos maléficos ao ecossistema aquático (Luo et al, 2012). Parte do processo do cultivo mantém o solo exposto e potencializa a erosão e o carreamento dessas substâncias aos mananciais, outros métodos muito comuns na agricultura que podem trazer riscos aos corpos hídricos são as queimadas que enriquecem de matéria orgânica e retira a cobertura vegetal do solo, além da prática do arado que torna o solo mais suscetível a erosão (Dellamatrice; Monteiro, 2014).

O cultivo de cana-de-açúcar pode afetar a estrutura química e física dos corpos hídricos que recebem as águas de drenagem das plantações, inclusive esses impactos na qualidade da água

podem ser vistos também na biota local, a entrada de nutrientes e sólidos oriundos da produção de cana dão vantagens as espécies conhecidas como mais resistentes à poluição. Além do acréscimo nos sólidos suspensos e da matéria orgânica que dificultam o tratamento da água para a posterior utilização (Nhiwatiwa; Dalu; Brendonck, 2017). Outra produção que ocupa grande área na região estudada é a plantação de coco que também possui alto potencial de liberar sólidos para corpos d'água (Hernandez; Henderson; Oliver, 2012).

Com base no mapa de uso e ocupação da sub-bacia em análise pode-se observar a ampla distribuição das áreas agrícolas ao longo de toda a BH, contudo é importante visualizar a presença dessas áreas agrícolas nas zonas de APP dos rios afluentes e na Lagoa de Extremoz, que eleva a vulnerabilidade dos recursos hídricos.

Os resultados da aplicação dos indicadores expressos na Figura 6, mostram que as regiões com os melhores índices (0.8 - 1.0) e com a presença do verde mais escuro encontram-se no extremo oeste da bacia onde há a presença de Mata Atlântica densa de tabuleiro litorâneo e o uso por pequenas propriedades rurais com uso agrícola diversificado de médio potencial poluidor, além da agricultura extensiva de alto potencial poluidor.

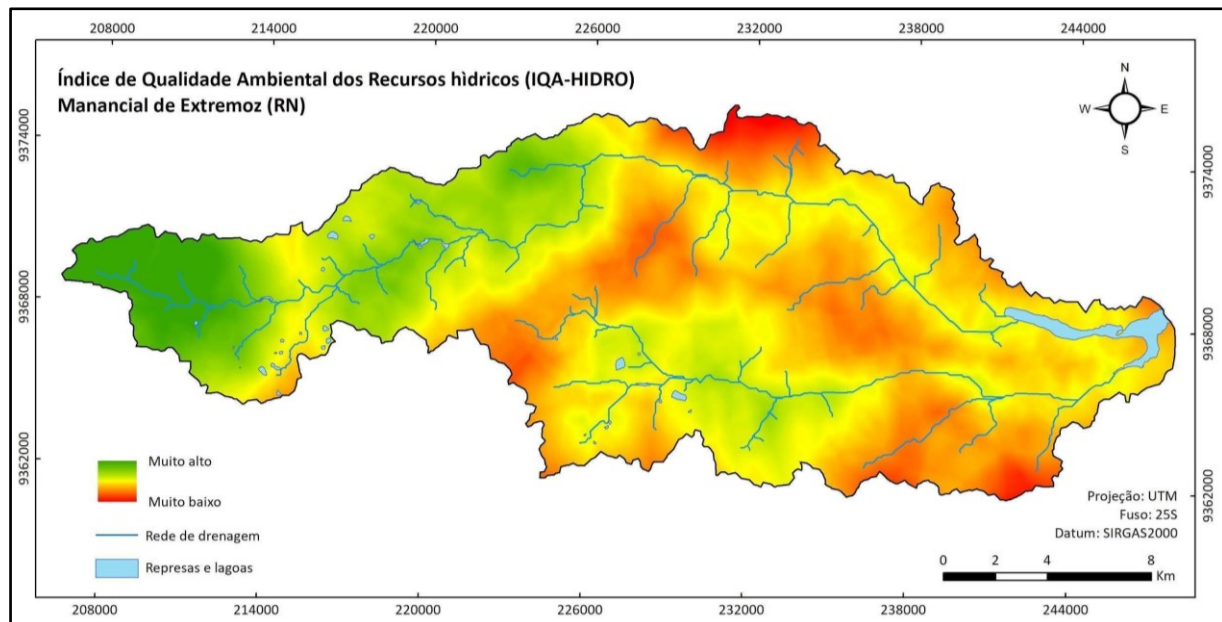


Figura 6: Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO) sobre o manancial de Extremoz/RN.

As regiões com índices entre 0.6 - 0.8 e 0.4 - 0.6 (verde claro e amarelo respectivamente) encontram-se em áreas com presença de solo exposto, pecuária extensiva e intensiva e áreas urbanizadas, que têm seus efeitos negativos amortecidos pela presença de Mata Atlântica densa de tabuleiro litorâneo e mata ciliar, principalmente ao redor do corpo hídrico. As regiões de índice entre 0.2 e 0.4 (cor laranja) encontram-se em boa área do mapa, regiões fortemente antropizadas e com baixa presença de vegetação. Já as regiões de vermelho mais forte (0.0 - 0.2) são as regiões com os piores índices de qualidade, onde existe a presença de diversas atividades com alto potencial poluidor, como as áreas urbanas, além disso, pouca presença de vegetação e próximos aos recursos hídricos.

Discussões

À medida que as cidades crescem, surge um cenário de invasão das áreas de mananciais, antes isoladas e distantes da ocupação urbana, contudo, vale salientar que todas as atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica exercem impacto direto na qualidade da água do manancial. A preservação ou degradação desse recurso vai além das ações que se restringem ao próprio corpo d'água, podendo ser também resultante de atividades distantes, como a presença de indústrias com significativo potencial poluidor.

De forma geral pode-se analisar do mapa do Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos sobre o manancial de Extremoz, que as cabeceiras dos rios afluentes, mesmo estando bastante antropizadas com usos agropecuários, elas possuem regiões de amortecimento do impacto negativo, ou seja, regiões ao longo do curso dos rios que estão preservadas e que elevam o IQA-Hidro das áreas a montante.

No entanto, à medida que se aproxima da lagoa, as áreas de mata nativa se resumem a algumas zonas de APP, além disso, há predominância de usos com maior potencial poluidor, tais como áreas urbanizadas, indústrias, aterro sanitário e rodovias. O que reflete no mapa da Figura 6, no qual há preponderância das cores amarelo e laranja nas proximidades do manancial.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Extremoz (Lei n.º 493/2006) em seu artigo 65 define as áreas especiais como porções com normas próprias de uso e ocupação do solo no inciso 1º estabelece como áreas *non aedificandi*,

dentre outras as áreas de nascentes dos corpos d'água de superfície, lagoas e demais mananciais, ou seja de acordo com o plano diretor do município de Extremoz não é permitido a existência de nenhuma edificação, porém isto não é visualizado no mapa de uso e ocupação presente na Figura 5 que indica o avanço da zona urbana para as margens do manancial.

Se analisarmos outros atributos como as características do solo, as regiões com IQA menos elevados na sub-bacia hidrográfica estudada são também caracterizadas pela alta permeabilidade do Latossolo da Formação Barreiras, e marcadas pelo relevo plano na região central da bacia. Isso indica que onde há uma maior proximidade de fontes potenciais de contaminação em relação ao manancial e maior distância das áreas vegetadas há também características topográficas e pedológicas que favorecem a infiltração. Isso ressalta o potencial risco de contaminação do lençol freático devido às ações antropogênicas nessa região central da bacia.

Nesse contexto, pode-se constatar a presença de um aterro sanitário, o que representa uma séria ameaça com possíveis impactos negativos, como a contaminação da água e a infiltração de resíduos no solo. Demandando um monitoramento mais rígido do sistema de impermeabilização do mesmo e uma manutenção preventiva mais frequente. Pois, podem acarretar danos ambientais significativos, incluindo a perda de habitats naturais, a redução da biodiversidade e riscos à saúde dos animais e da população que dependem dessas águas para consumo. Portanto, é necessário implementar monitoramento e medidas de proteção não apenas para a qualidade da água superficial, mas também para as águas subterrâneas, a fim de garantir a segurança hídrica da região.

Assim, mostra-se latente a importância da sensibilização da população quanto à necessidade de regulamentar e controlar todas as formas de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, com um foco particular nas áreas onde os cursos d'água constituem os mananciais essenciais para abastecer a população.

É evidente que as áreas em análise enfrentam uma maior pressão sobre seus recursos hídricos, devido à significativa demanda hídrica potencial do setor agrícola. Isso pode ser agravado caso haja adoção emergencial da prática de irrigação, visando melhorar a produção agrícola e

suprir as necessidades das culturas durante períodos de secas mais intensas.

A introdução de pequenos açudes emerge como uma estratégia indispensável para o armazenamento das águas pluviais, proporcionando uma fonte suplementar para atender às demandas hídricas das culturas existentes. Essa abordagem contribui para reduzir a dependência exclusiva de recursos hídricos externos. Além disso, é recomendável que os utilizadores dos recursos hídricos nessas sub-bacias hidrográficas invistam em sistemas de irrigação altamente eficientes, capazes de otimizar o uso da água. Adicionalmente, a adoção da rotação de culturas temporárias revela-se como uma prática crucial, pois reduz o volume de água consumido na irrigação, fomentando uma produção agrícola sustentável. Ao alternar culturas ao longo do tempo, é viável preservar a qualidade do solo e atenuar a pressão sobre os recursos hídricos.

Conclusão

A influência significativa de atividades humanas é observada no manancial de Extremoz, com a pecuária extensiva e a agricultura, destacando a urgência de um controle e gestão adequados dos recursos hídricos. O IQA-Hidro fornece informações relevantes sobre a vulnerabilidade do manancial diante das atividades exploratórias, identificando áreas críticas que demandam monitoramento constante para assegurar a qualidade e conservação ambiental.

A análise do índice reflete um cenário desafiador para a região, com várias áreas já fortemente afetadas pela ação humana, em contrapartida com as matas ciliares ainda relativamente preservadas. Diante desses resultados, torna-se indispensável adotar medidas robustas de gestão, regulamentação e controle do uso do solo nas bacias hidrográficas, bem como promover práticas sustentáveis em todas as esferas da sociedade. Destaca-se a urgência de ações concretas para preservar e restaurar os recursos hídricos, visando garantir um fornecimento contínuo de água de qualidade para as atuais e futuras gerações. O comprometimento com uma abordagem holística e sustentável na gestão dos mananciais é fundamental para enfrentar os desafios decorrentes do crescimento urbano e das atividades humanas, garantindo a saúde dos ecossistemas aquáticos e o bem-estar da população.

Diante deste contexto, torna-se essencial estabelecer mecanismos de controle e restrições para conter o avanço de atividades que prejudicam o manancial. O manejo adequado do solo e da cobertura vegetal desempenha um papel crucial na preservação dos recursos hídricos, considerando que a sociedade depende destes recursos para abastecimento e bem-estar. Assim, é fundamental adotar práticas que assegurem a sustentabilidade dos mananciais e promover a conscientização da população sobre a importância da conservação dos recursos hídricos, incentivando a participação ativa na implementação de medidas de proteção. Além disso, é necessário que as autoridades competentes implementem políticas públicas eficazes, incluindo fiscalização rigorosa, regulamentações adequadas e incentivos para práticas sustentáveis. Desta forma, a preservação do manancial de Extremoz requer ações imediatas e coordenadas, com a participação de todos os setores da sociedade, desde os produtores rurais até os órgãos governamentais e a comunidade em geral.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPCivAm) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Referências

- Ahmadi, M. S., Susnik, J., Veerbeek, W., & Zevenbergen, C. 2020. Towards a global day zero? Assessment of current and future water supply and demand in 12 rapidly developing megacities. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102295.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102295>.
- Ahmadi, M. S., Susnik, J., Veerbeek, W., Zevenbergen, C., 2020. Towards a global day zero? Assessment of current and future water supply and demand in 12 rapidly developing megacities. *Sustainable Cities and Society*, v. 61.
- Barbieri, P., Dumont, B., Benoit, M., Nesme, T., 2022. Opinion paper: Livestock is at the heart of interacting levers to reduce feed-food competition in agroecological food systems. *Animal*, v. 16, n. 2, p. 100436.
- BRASIL. Agência Nacional de águas. Agência Nacional de Águas. Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. 2021. Disponível

- em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/story/maps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>. Acesso em: 17 jul. 2023.
- Costa, C. W., Piga, F. G., Moraes, M. C. P., Dorici, M., Sanguineto, E. C., Lollo, J. A., Moschini, L. E., Lorandi, R., Oliveira, L. J., 2015. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras, Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20 (4). Disponível: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p946-958>. Acesso: 07 de abril de 2020.
- Costa, C. W., Dupas, F. A., Cespedes, J. G., Silva, L. F., 2013. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. *Geociências*, 32 (1), 63-80.
- Da Silva, A. P., Campos, L. G., Mauad, F. F., Moschini, L. E., 2018. Geotecnologias Aplicado à Análise Do Risco à Contaminação Dos Aquíferos Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Roque – SP. *Águas Subterrâneas (São Paulo, Brazil)*. 32 (3). Disponível: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29136>. Acesso: 22 de setembro de 2023
- Filho, P. C. O., Dutra, A. M., Ceruti, F. C., 2012. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. *Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 1, p. 32-43. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4322/foram.2012.005>. Acesso: 07 de abril de 2020
- De Fraiture, C., Wichelns, D., 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 4, p. 502–511.
- Dellamatrice, P. M., Monteiro, R. T. R., 2014. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 18, n. 12, p. 1296-1301. *FapUNIFESP (SciELO)*. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301>.
- EMBRAPA, 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Eastman, J. R., 1997. Idrisi for Windows. Tutorial Exercises. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic. Clark University.
- Ferreira, D. B., Mühlenhoff, A. P., Fernandes, C. V. S., 2018. Modelos de poluição difusa: desafios, estratégias e impacto para a gestão de recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 15. Disponível: DOI: 10.21168/rega.v15e10. Acesso: 22 de setembro de 2023.
- Flörke, M., Schneider, C., McDonald, R. I., 2018. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, v. 1, n. 1, p. 51–58.
- Garbin, E. P., 2023. Sensoriamento Remoto como Jogo Semiótico. *Rev. Bras. Cartogr*, 75. Disponível: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv75n0a-67859>. Acesso: 22 de setembro de 2023
- Godber, O. F., Wall, R., 2014. Livestock and food security: Vulnerability to population growth and climate change. *Global Change Biology*, v. 20, n. 10, p. 3092–3102.
- Golfam, P., Ashofteh, P. S., Loáiciga, H. A., 2021. Modeling adaptation policies to increase the synergies of the water-climate-agriculture nexus under climate change. *Environmental Development*, v. 37.
- Guo, M., Wang, W., Shi, Q., Chen, T., Kang, H., Li, J., 2019. An experimental study on the effects of grass root density on gully headcut erosion in the gully region of China's Loess Plateau. *Land Degrad Dev*, v. 30, p. 2107–2125. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3404>.
- Hernandez, E.C., Henderson, A., Oliver, D.P., 2012. Effects of changing land use in the Pagsanjan–Lumban catchment on suspended sediment loads to Laguna de Bay, Philippines. *Agricultural Water Management*, [S.L.], v. 106, p. 8-16. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.012>.
- Kögler, F., Söffker, D., 2017. Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. *Ecological Modelling*, v. 361, p. 135-156.
- Li, X., Sun, W., Zhang, D., Huang, J., Li, D., Ding, N., Zhu, J., Xie, Y., Wang, X., 2021. Evaluating water provision service at the sub-watershed scale by combining supply, demand, and spatial flow. *Ecological Indicators*, v. 127, p. 107745.
- Luo, C., Yang, R., Wang, Y., Li, J., Zhang, G., Li, X., 2012. Influence of agricultural practice on trace metals in soils and vegetation in the water conservation area along the East River (Dongjiang River), South China. *Science Of*

- The Total Environment, [S.L.], v. 431, p. 26-32. Elsevier BV. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.0>. Acesso: 09 de abril de 2020.
- Mazzuco, G. G.; Goncalves, M. P.; Miguel, B. H.; Villa, M. F.; Costa, C. W.; Moschini, L. E., 2017. Indicadores de Naturalidade da Paisagem Aplicados no Monitoramento da Qualidade Ambiental de Mananciais. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 10, p. 1406.
- Mazzuco, G. G., Lorandi, R. Impactos ambientais negativos das atividades antrópicas na qualidade das águas superficiais da sub-bacia do ribeirão dos toledos: aplicação do IQA-Hidro. In: 8º Congresso Luso-Brasileiro Para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2018, Coimbra, Portugal.
- Melo, J., Vasconcelos, M., Morais, S., Alves, R., 2012. Avaliação Hidrogeológica da Zona Norte da Cidade de Natal e os Problemas Associados ao Desenvolvimento Urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 17. 123-134. [10.21168/rbrh.v17n1.p123-134](https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n1.p123-134).
- Miller, O. L., Putman, A. L., Alder, J., Miller, M., Jones, D. K., Wise, D. R., 2021. Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States. *Journal of Hydrology X*, v. 11, n. January, p. 100074.
- Nagy, R. C., Lockaby, B. G., Kalin, L., Anderson, C., 2011. Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the florida gulf coast. *Hydrological Processes*, [S.L.], v. 26, n. 13, p. 2019-2030. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8336>.
- Nhiwatiwa, T., Dalu, T., Brendonck, L., 2017. Impact of irrigation based sugarcane cultivation on the Chiredzi and Runde Rivers quality, Zimbabwe. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 587-588, p. 316-325. Elsevier BV. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.155>. Acesso: 22 de setembro de 2023.
- OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD Environmental outlook to 2050: the consequences of inaction. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 13, n. 3, 2012.
- ONU - Organização das Nações Unidas. UN 75 - I grandi temi: Una demografia che cambia. 2020. Disponível em: <https://unric.org/it/un-75-i-grandi-temi-una-demografia-che-cambia/>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- Pasqualetto, A., Souza, G. P. Á., de Lima Ferreira, U., Matsuura, F. 2020. Rio Crixás, ação antrópica e os impactos ambientais no Rio Crixás, no município de Santa Terezinha de Goiás-2000/2017. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 77394-77411. Disponível: DOI:10.34117/bjdv6n10-243. Acesso em: 25 de setembro de 2023.
- Sanchez, G. M., Terando, A., Smith, J. W., García, A. M., Wagner, C. R., Meentemeyer, R. K., 2020. Forecasting water demand across a rapidly urbanizing region. *Science of the total environment*, v. 730, p. 139050.
- Santos, K., Vieira, P. B. D. H. G., 2021. Análise do uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente no trecho entre as divisas intermunicipais de Blumenau e Gaspar-SC. *Planejamento e gestão territorial: áreas protegidas*. Criciúma, SC : UNESC, Cap. 2. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18616/planar02>. Acesso: 22 de setembro de 2023.
- Silva, C. C. L., Ferreira, J. C. V., Batista, I. S., Fernandes, E., 2017. Unidades Naturais Da Bacia Hidrográfica Do Rio Doce – Rn. In: I Congresso Nacional De Geografia Física, 1., 2017, Campinas. Os Desafios Da Geofísica Na Fronteira Do Conhecimento. Campinas: Instituto De Geociências - Unicamp, p. 6185-6195.
- Silva, F. L. Da, Oliveira, E. Z., Picharillo, C., Ruggiero, M. H., Costa, C. W., Moschini, L. E., 2017. Landscape naturalness verified by environmental indicators: Monjolinho River manantial, São Carlos-SP. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 10, p. 970-980.
- Valadão, L. S., Pereira, R. S., Silva, M. D., Monks, J. L. F., 2018. Caracterização Espacial e Análise da Qualidade da água da Bacia do Arroio Moreira/Fragata, RS. *Revista Thema*. 15(1), 282-297. Disponível: <http://dx.doi.org/10.15536/thema.15.2018.282-297.554>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.
- Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Z., Yan, G., Nan, W., Weiguang, W., 2017. Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. *Science of the Total Environment*, v. 609, p. 587-597.

Wang, X. J., Zhang, J. Y., Shahid, S., Bi, S. H., Elmanhdi, A., Liao, C. H., Li, Y. D., 2018. Forecasting industrial water demand in Huaihe River Basin due to environmental changes. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 23, n. 4, p. 469–483.