DOI: 10.00000/Territoriov1i1.xxxx

TERRITÓRIO E PLANEJAMENTO

Revista do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial da UEFS

e-ISSN 0101-0000

Volume 1 N. 1 - Nov. 2026

ARTIGO

USO DO SOLO, PRESSÃO ANTRÓPICA E CONSERVAÇÃO DE NASCENTES NO GRADIENTE URBANO-RURAL EM BREJO DE ALTITUDE PERNAMBUCANO

LAND USE, ANTHROPOGENIC PRESSURE, AND SPRING CONSERVATION ALONG THE URBAN-RURAL GRADIENT IN A PERNAMBUCO HIGHLAND FOREST

Éllida Cilene de Oliveira Dantas
Engenheira Ambiental (UFCG). Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Victor Casimiro Piscoya
Doutor em Ciência do Solo (UFRPE). Docente da UFRPE/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB)

Luiz Diego Vidal Santos
Mestre e Doutor em Ciência da Propriedade Intelectual (UFS). Docente da UEFS/PLANTERR, ldvsantos@uefs.br

Guilherme Ferreira de Brito
Agrônomo (UFCG). Mestre em Engenharia Agrícola (UFRPE)

Yana Batista Brandão
Doutora em Engenharia Química (UFPE). Mestra em Tecnologias Energéticas e Nucleares (UFPE). Docente da UFRPE/PPEAMB

William Pinedo Cruz
Pesquisador peruano. Doutor em Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Docente da Universidad Nacional de la Amazonía Peruana

Moacyr Cunha Filho
Doutor em Ciência do Solo (UFRPE). Docente da UFRPE/Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA)

Mickaelly Espírito Santo Santos
Mestranda em Planejamento Territorial (PLANTERR/UEFS). Pesquisadora FAPESB, mickaelly_ess@hotmail.com

Renisson Neponuceno de Araújo Filho
Doutor em Ciência do Solo (UFRPE). Mestre em Agroecossistemas (UFS). Docente da UFRPE/PPEAMB

Jémison Mattos dos Santos
Doutor em Geografia (UFF). Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente (UFBA). Docente da UESC/PROGEO

Resumo

O avanço de usos agropecuários e urbanos amplia a pressão sobre nascentes situadas nas bordas de refúgios ecológicos. Este estudo examina a relação entre dinâmica do uso do solo e estado de conservação de nascentes ao longo do gradiente urbano-rural na Área de Proteção Ambiental (APA) Serras e Brejos do Capibaribe, em Taquaritinga do Norte, Pernambuco. Foram avaliadas seis nascentes (N1–N6) mediante o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), marcadores de qualidade da água, levantamento florístico do entorno e mapeamento multitemporal pela série MapBiomas (1985–2023). Os resultados indicam que, embora 50% das nascentes apresentem proteção estrutural ótima (Classe A), 100% das fontes registraram contaminação por coliformes fecais (Escherichia coli) acima do limite de potabilidade. A adjacência ao perímetro urbano concentrou maior aporte de efluentes e resíduos, enquanto áreas rurais apresentaram perda de cobertura protetiva, trilhas e contato animal. Conclui-se que a conservação dessas nascentes depende da incorporação da segurança hídrica aos instrumentos de ordenamento territorial, associando saneamento local, manejo de Áreas de Preservação Permanente (APPs), controle de acesso animal e monitoramento contínuo da qualidade da água.

Palavras-chave: Planejamento territorial; Nascentes; Qualidade hídrica.

Abstract

The expansion of agricultural and urban land uses increases pressure on springs located at the edges of ecological refuges. This study examines the relationship between land-use dynamics and the conservation status of springs along the urban-rural gradient in the Serras e Brejos do Capibaribe Environmental Protection Area (APA), in Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brazil. Six springs (N1–N6) were assessed using the Environmental Impact Index for Springs (IIAN), water quality indicators, surrounding floristic surveys, and multitemporal mapping through the MapBiomas dataset (1985–2023). Results indicate that, although 50% of the springs exhibited optimal structural protection (Class A), all sources (100%) recorded fecal contamination by Escherichia coli above the potability threshold established by Brazilian regulation. Urban proximity concentrated higher effluent and waste inputs, whereas rural areas showed loss of protective vegetation cover, trails, and animal access. The study concludes that spring conservation depends on incorporating water security into territorial planning instruments, combining local sanitation, Permanent Preservation Area (APP) management, animal exclusion, and continuous water-quality monitoring.

Keywords: Territorial planning; Springs; Water quality.

1 Introdução

Os brejos de altitude constituem enclaves úmidos incrustados no semiárido nordestino, descritos por Ab'Saber (2003) como unidades dependentes da interação entre relevo elevado e circulação atmosférica regional. A exposição aos ventos alísios e a manutenção de cobertura vegetal remanescente sustentam refúgios biogeográficos, função também discutida por Porto; Cabral; Tabarelli (2004) e Tabarelli; Santos (2004). Em escala regional, Diogo (2017) também associa esses enclaves à persistência de remanescentes úmidos em matrizes semiáridas.

Essas formações atuam como reguladores microclimáticos e zonas preferenciais de recarga hídrica, conectando biodiversidade e oferta de água em áreas serranas do Agreste, como indicam Braga et al. (2002) e Rodrigues et al. (2008). A dependência local de nascentes para usos domésticos, agropecuários e ecológicos ocorre em uma região de forte sazonalidade pluviométrica, condição registrada por Gois; Correa; Monteiro (2019). A conversão de vegetação nativa reduz infiltração e serviços hidrológicos, como discutido por Foley et al. (2005). A reorganização espacial das paisagens e as transições de uso da terra ampliam compactação, supressão ciliar e fontes difusas de contaminação (Lambin; Meyfroidt, 2011; Turner; Lambin; Reenberg, 2007). Em brejos de altitude, o desmatamento do entorno altera condições microclimáticas e disponibilidade hídrica, como observado por Dantas et al. (2024).

No município de Taquaritinga do Norte, situado no limite oriental do Planalto da Borborema, os afloramentos hídricos integram a cabeceira ecológica da bacia hidrográfica do rio Capibaribe, conforme a caracterização fisiográfica de CPRM - Servico Geologico do Brasil (2005) e a base territorial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica (2024). A criação da APA Serras e Brejos do Capibaribe em 2020 representou um avanço institucional (Pernambuco, 2020). A proteção efetiva das nascentes ainda depende de diagnósticos locais que articulem condição macroscópica das surgências, qualidade da água e cobertura vegetal do entorno, como sugerem Panta et al. (2024) e Farias et al. (2024).

A legislação brasileira estabelece faixas de proteção no entorno de nascentes (Brasil, 2012). A efetividade dessas APPs depende de sua materialização no terreno, com vegetação nativa, cercamento e controle de acesso (Carmo; Felippe; Magalhaes Junior, 2014; Holanda; Sales, 2022). Em muitos contextos, a proteção legal coexiste com práticas locais de uso da água que tensionam os limites normativos, como observado por Ginko (2023).

O Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), proposto por Gomes; Melo; Vale (2005), classifica surgências com base em parâmetros macroscópicos como cor da água, odor, presença de resíduos, proteção do entorno e usos antrópicos. Aplicações em parques urbanos e paisagens rurais demonstram a utilidade do índice para registrar pressões de acesso, lixo e alteração da vegetação (Felippe; Magalhaes Junior, 2012; Pieroni et al., 2019). Estudos recentes ampliaram seu uso para diagnósticos de nascentes sob diferentes formas de ocupação (Araujo et al., 2025; Soares; Barros Junior, 2023). Em regiões agrícolas, o IIAN tem se mostrado sensível à presença de cultivos, acesso animal e ausência de vegetação protetiva (Copetti et al., 2022; Todeschini et al., 2016).

A classificação macroscópica, contudo, nem sempre corresponde à qualidade microbiológica da água, como indicam Seben et al. (2024) e Jung et al. (2024). Essa dissociação entre aparência e segurança sanitária é particularmente relevante em áreas rurais e periurbanas. Estudos de qualidade hídrica mostram contaminação mesmo em nascentes ou captações visualmente protegidas (Donadio; Galbiatti; Paula, 2005; Pinto; Roma; Balieiro, 2012). Padrão semelhante foi observado em investigações recentes sobre contaminação fecal e risco sanitário (Brito et al., 2024; Schultz et al., 2025).

Apesar do acúmulo de estudos setoriais sobre nascentes, ainda são escassos os trabalhos que integram, em um mesmo desenho amostral, série temporal de uso do solo, classificação macroscópica pelo IIAN, caracterização microbiológica da água e levantamento florístico do entorno. Essa lacuna é mais sensível nos brejos de altitude do Agreste pernambucano, onde Leal et al. (2017) e Melo et al. (2022) indicam pressões combinadas sobre vegetação, água e usos locais. Em recortes próximos, Nascimento et al. (2023) também registra a necessidade de leitura integrada entre conservação e uso territorial.

Para Taquaritinga do Norte, a integração é necessária porque o município combina mancha urbana em expansão e agricultura familiar (Coelho et al., 2014). A pecuária extensiva e os remanescentes florestais protegidos por unidade de conservação completam um gradiente urbano-rural que permite testar a resposta das nascentes a diferentes níveis de pressão antrópica (Santos et al., 2018; Tenorio et al., 2020).

A hipótese que orienta este estudo é que a degradação das nascentes tende a variar conforme a posição no gradiente urbano-rural, com maior comprometimento estrutural nas surgências próximas a ocupações adensadas, condição recorrente em diagnósticos macroscópicos de áreas antropizadas (Carmo; Felippe; Magalhaes Junior, 2014; Holanda; Sales, 2022). O comprometimento microbiológico e químico também tende a aumentar em usos agropecuários com acesso animal direto e aporte de compostos nitrogenados, como sugerem os resultados de Souza-Silva et al. (2023).

Para testar essa hipótese, este estudo examina a relação entre dinâmicas do uso do solo e estado de

conservação de seis nascentes na APA Serras e Brejos do Capibaribe, avaliando como a pressão antrópica se associa às condições macroscópicas, sanitárias e florísticas dos mananciais e oferecendo subsídios ao planejamento territorial e à recuperação de cabeceiras úmidas no Agreste pernambucano.

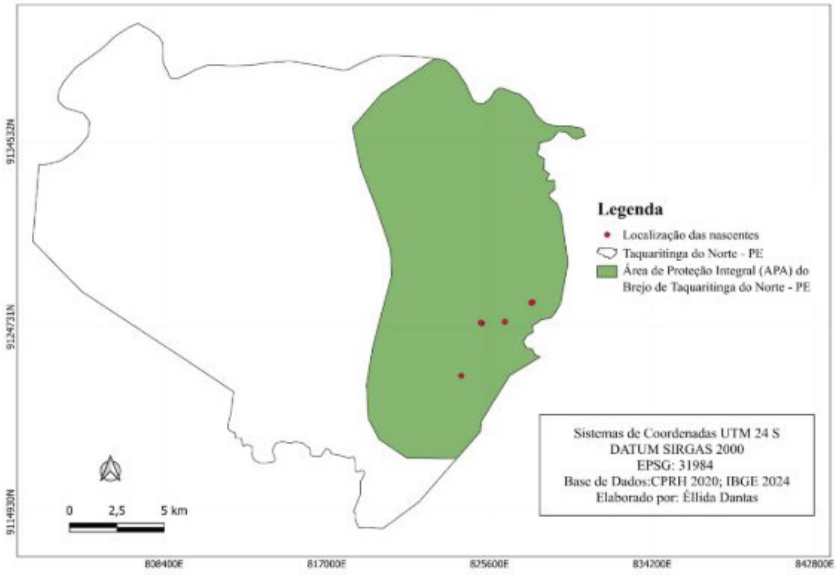
2 Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em Taquaritinga do Norte, dentro da APA Serras e Brejos do Capibaribe, na microrregião do Alto Capibaribe. O município apresenta clima tropical chuvoso com verão seco, precipitação média anual em torno de 800 mm e temperaturas amenas associadas à altitude, conforme descrito por Silva; Souza (2022). O recorte espacial (Figura 1) situa as nascentes avaliadas em relevo serrano, com influência da escarpa da Borborema indicada por CPRM – Servico Geologico do Brasil (2005) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica (2024). Os remanescentes úmidos locais são relevantes para a bacia do rio Capibaribe (Panta et al., 2024; Rodrigues et al., 2008).

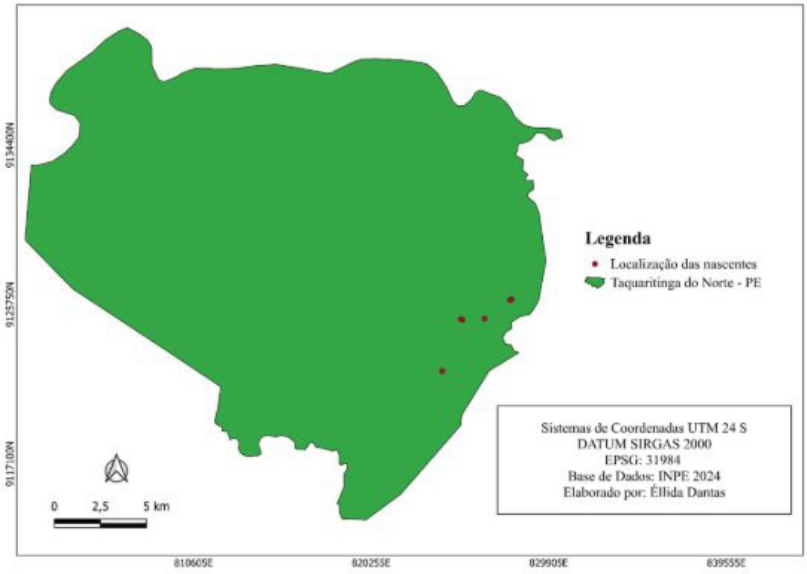
As seis nascentes perenes foram selecionadas de forma intencional para representar situações contrastantes de uso do entorno. A distribuição espacial dos pontos (Figura 2) abrange áreas urbanas, interfaces periurbanas agrícolas e matrizes rurais com diferentes níveis de acesso humano e animal, o que permite testar a resposta do IIAN e dos indicadores de qualidade da água ao gradiente de pressão territorial.

Figura 1: Área de Proteção Ambiental Serras e Brejos do Capibaribe e Unidade de Conservação de Uso Sustentável no município de Taquaritinga do Norte-PE.



Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

Figura 2: Localização das nascentes avaliadas no município de Taquaritinga do Norte-PE, abrangendo matrizes urbanas e rurais.



Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

A identificação espacial das surgências confirma a amplitude do gradiente amostral, com pontos em áreas urbanas adensadas, frentes periurbanas de cultivo, áreas rurais agrícolas e setores mais isolados (Tabela 1). Reconhece-se como limitação o tamanho restrito do estrato (n = 6), embora a seleção contemple as principais tipologias de uso verificadas no raio de influência das nascentes.

O desempenho estrutural no campo foi avaliado pelo Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN) (Gomes; Melo; Vale, 2005), aplicado em vistorias mensais entre setembro e dezembro de 2024. O período correspondeu à fase de estiagem, quando a redução da vazão tende a ampliar a exposição das surgências a captações, pisoteio e acúmulo de contaminantes no entorno (Felippe; Magalhaes Junior, 2012; Seben et al., 2024). Dois avaliadores preencheram a matriz macroscópica de forma sincronizada, reduzindo viés de observação, e cada nascente foi enquadrada nas classes A (ótima), B (boa), C (razoável), D (ruim) e E (péssima).

Tabela 1: Identificação espacial e enquadramento territorial das nascentes (N1 – N6) na APA Serras e Brejos do Capibaribe.

Identificação	Coordenadas geográficas	Enquadramento Territorial Dominante
N1	S 7° 54’ 22.3” / W 36° 3’ 3.1”	Zona urbana (adensamento residencial)
N2	S 7° 54’ 21.4” / W 36° 3’ 5.3”	Zona urbana (franja de ocupação/lixão)
N3	S 7° 54’ 19.7” / W 36° 2’ 23.6”	Periurbano agrícola (lavouras próximas a residências)
N4	S 7° 53’ 46.8” / W 36° 1’ 38.3”	Rural agrícola (fruticultura e trilha perimetral)
N5	S 7° 53’ 45.5” / W 36° 1’ 36.0”	Rural agrícola/pastagem (livre acesso animal)
N6	S 7° 55’ 53.0” / W 36° 3’ 38.0”	Rural isolado (refúgio de biodiversidade restrita)

Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

Para complementar a leitura macroscópica, realizou-se a quantificação físico-química e microbiológica da água em 11 de novembro de 2024. As análises seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2017) e os procedimentos preconizados pela Fundação Nacional de Saúde (Brasil. Fundacao Nacional de Saude, 2013), determinando turbidez, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT) e nitrato. O Centro de Apoio à Pesquisa da UFRPE quantificou *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas, tomando como referência os limites da Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil. Ministerio da Saude, 2021).

Para sintetizar a covariação entre os indicadores físico-químicos e microbiológicos, aplicou-se análise de componentes principais (PCA) à matriz formada por turbidez, SDT, condutividade, nitrato, *E. coli*, coliformes totais e bactérias heterotróficas. As contagens microbiológicas foram transformadas por log10(x+1) para reduzir assimetria, enquanto todas as variáveis foram centradas e escalonadas por escore z, pois estavam em unidades e amplitudes distintas. A decomposição da matriz padronizada foi realizada por valores singulares em Python 3, usando pandas para organização da matriz, NumPy para extração dos componentes e Matplotlib para representação gráfica.

A interpretação restringiu-se aos dois primeiros eixos, com os scores descrevendo a posição relativa das nascentes e os loadings indicando a contribuição de cada variável para os gradientes multivariados. Devido ao tamanho amostral reduzido, a PCA foi tratada como análise exploratória de ordenação, sem inferência causal ou teste confirmatório. A ausência de amostragem multissazonal limita a extrapolação para o período chuvoso, de modo que os resultados microbiológicos descrevem principalmente as condições de acúmulo e exposição observadas na estiagem.

O levantamento florístico inventariou os espécimes lenhosos nas proximidades acessíveis das nascentes, com registro das áreas onde a supressão recente impediu delimitação padronizada, especialmente em N1 e N2.

A trajetória territorial foi analisada com mosaicos anuais da Coleção 9 do MapBiomas entre 1985 e 2023 (MapBiomas, 2024). O processamento em QGIS 3.22 calculou áreas absolutas em hectares e tendências das classes florestais e agropecuárias no perímetro de contribuição. Essa estratégia segue aplicações de sensoriamento remoto e séries temporais de cobertura da terra no Nordeste (Almeida et al., 2018; Coelho et al., 2014). Análises recentes também empregam séries de cobertura para discutir dinâmica municipal e conservação ambiental (Francisco et al., 2023; Silva Neto et al., 2024). A conversão de vegetação foi interpretada com base em estudos de Sousa (2023). Trabalhos de Costa et al. (2024) e Gomes et al. (2017) sustentam o uso de séries temporais para interpretar expansão agropecuária e retração de formações nativas. O uso de bases multitemporais em diagnósticos territoriais também é discutido por Moraes (2020).

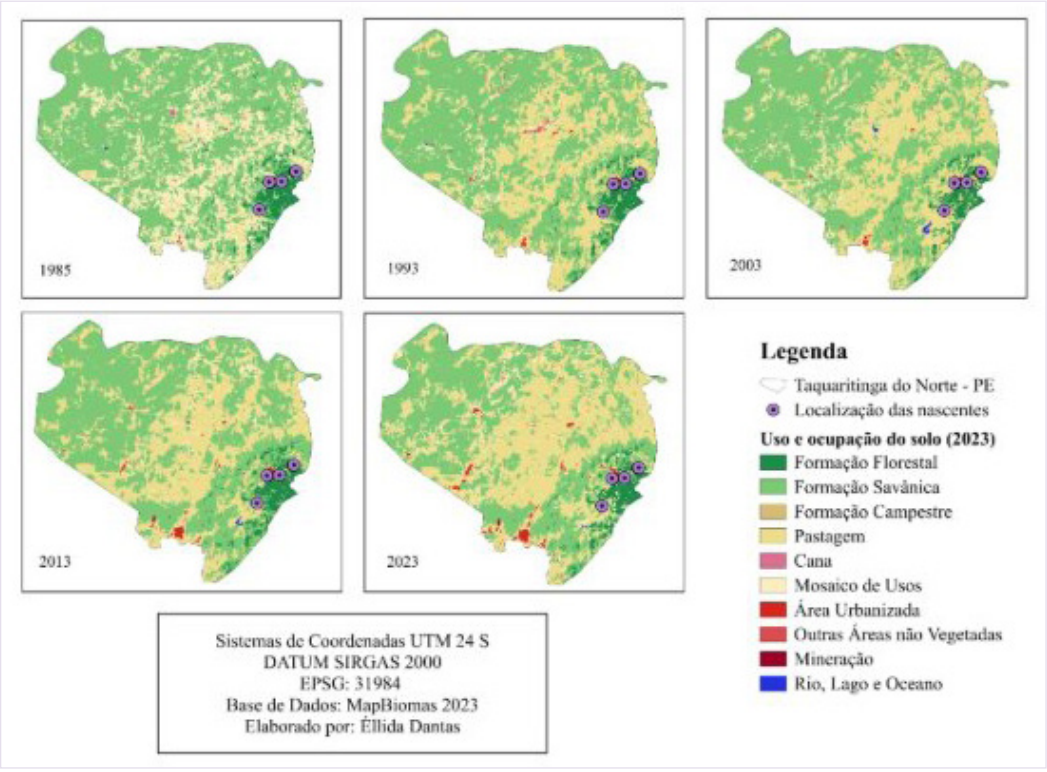
3 Resultados e Discussão

3.1 Dinâmica territorial e integridade das nascentes

A série histórica de 1985 a 2023 indica retração de formações florestais e expansão de usos agropecuários no município. As classes de formação florestal e savânica, estimadas a partir da série MapBiomas (MapBiomas, 2024), ocupavam aproximadamente 42% da área municipal em 1985 e recuaram para cerca de 28% em 2023. No mesmo período, as áreas de pastagem e agricultura expandiram-se de 51% para 63%, enquanto a mancha urbana passou de 1,8% para 4,5% da cobertura total.

A distribuição espacial dessas mudanças (Figura 3) sugere maior fragmentação da paisagem da APA Serras e Brejos do Capibaribe, com redução de zonas de amortecimento em áreas próximas às nascentes. Esse padrão é consistente com a relação entre conversão de vegetação nativa e perda de serviços hidrológicos discutida por Foley et al. (2005). Os efeitos de reorganização da paisagem foram descritos por Turner; Lambin; Reenberg (2007), enquanto trajetórias de transição de uso da terra foram analisadas por Lambin; Meyfroidt (2011). No Nordeste, mudanças semelhantes foram associadas à expansão agropecuária e à compactação do solo por Coelho et al. (2014).

Figura 3: Uso e ocupação do solo do município de Taquaritinga do Norte-PE na série histórica de 1985 a 2023.



Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

O registro de campo confirmou que a pressão sobre as nascentes não ocorre apenas nas áreas urbanas. A composição visual das seis áreas avaliadas (Figura 4) evidencia contrastes entre captações com estrutura física, trechos com solo exposto, áreas com trilhas, presença animal e vegetação ciliar descontínua.

Esses elementos explicam a sensibilidade do IIAN às condições do entorno, conforme a matriz proposta por Gomes; Melo; Vale (2005). Aplicações posteriores em nascentes urbanas e rurais reforçam essa resposta do índice ao entorno imediato (Felippe; Magalhaes Junior, 2012; Soares; Barros Junior, 2023). A proteção da caixa de captação, contudo, não substitui a proteção da faixa de recarga, uma vez que alterações no acesso, na vegetação e no entorno imediato continuam afetando a classificação macroscópica (Seben et al., 2024).

A síntese por nascente mostra que as classes do IIAN se diferenciaram conforme o entorno imediato, com N3, N4 e N6 em Classe A, N5 em Classe C, N1 em Classe D e N2 em Classe E (Quadro 1). O enquadramento reforça que as piores condições se concentram onde há combinação entre ocupação urbana, resíduos, esgoto ou perda total da vegetação, padrão compatível com diagnósticos de nascentes antropizadas descritos por Carmo; Felippe; Magalhaes Junior (2014) e Holanda; Sales (2022). As melhores classes dependeram de isolamento físico e menor acesso direto ao afloramento, condição também associada a melhores classificações macroscópicas por Pieroni et al. (2019) e Araujo et al. (2025).

O monitoramento ao longo de quatro meses revelou estabilidade temporal nas classes do IIAN para

Figura 4: Registro das seis nascentes analisadas no município de Taquaritinga do Norte-PE. Painéis A a F correspondem, respectivamente, às nascentes N1 a N6.



Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

as nascentes mais conservadas, com N3, N4 e N6 em Classe A em todas as visitas, e para a nascente crítica, com N2 em Classe E em todas as visitas. N1 oscilou de Classe C para Classe D e N5 manteve-se em Classe C. As pontuações médias do IIAN foram de 31,2 (DP ± 1,5) para N1, 27,5 (DP ± 1,7) para N2, 39,0 para N3 e N4, 32,0 (DP ± 1,2) para N5 e 42,5 (DP ± 0,6) para N6.

As atividades antrópicas mais frequentes incluíram desmatamento no entorno e uso da água por animais, cada uma incidindo sobre cinco das seis nascentes, além de trilhas, captações para consumo humano e irrigação de hortas. O diagnóstico territorial das pressões principais (Quadro 1) indica que esse conjunto de usos produz pressão difusa mesmo sobre as surgências mais bem avaliadas, padrão também apontado por Garcia et al. (2018) e Maia et al. (2021) em áreas de nascente.

Quadro 1: Condição macroscópica das nascentes e diagnóstico territorial das pressões principais.

Nascente	Classe IIAN	Diagnóstico territorial das pressões no entorno
N1	D (Ruim)	Pressão urbana, uso para irrigação local, trilhas frequentes e queimadas.
N2	E (Péssima)	Transição urbana, esgoto direto, lixo doméstico, animais e desmatamento total.
N3	A (Ótima)	Periurbano com captação intermitente, vizinha a residências.
N4	A (Ótima)	Rural com uso local, ladeada por fruticultura e vegetação secundária.
N5	C (Razoável)	Rural com trânsito de rebanho ocasional, vegetação lenhosa ausente.
N6	A (Ótima)	Rural isolado, estrutura limpa e maior suporte da vegetação.

Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

3.2 Qualidade sanitária e contaminação em áreas protegidas

Apesar da melhor aparência visual de N3, N4 e N6, o monitoramento microbiológico apontou coliformes totais e *Escherichia coli* em 100% da amostra, em desconformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil. Ministerio da Saude, 2021). A contaminação fecal em nascentes com estrutura de alvenaria indica que a proteção física reduz a entrada direta de material grosseiro, mas não elimina infiltração de efluentes e transporte de microrganismos no entorno, processos documentados por Donadio; Galbiatti; Paula (2005) e Pinto; Roma; Balieiro (2012).

O pisoteio animal, o manejo inadequado da área de recarga e a exposição a resíduos ampliam essa vulnerabilidade sanitária (Brito et al., 2024; Cessel; Gasparetto; Benatti, 2019). Essa vulnerabilidade persiste inclusive em contextos onde a estrutura de captação sugere proteção visual (Schultz et al., 2025). Esse resultado é consistente com o observado por Felippe; Magalhaes Junior (2012) em parques urbanos de Belo Horizonte e por Garcia et al. (2018) em nascentes urbanas, onde a presença de estruturas de captação não garantiu potabilidade microbiológica.

A nascente N2 concentrou a condição físico-química mais crítica, com turbidez de 41,0 UT, nitrato de 33,7 mg/L e sólidos dissolvidos totais de 687,0 mg/L. Os parâmetros de qualidade da água das seis nascentes (Tabela 2) evidenciam o gradiente de degradação, com N1 e N2 apresentando os maiores valores de turbidez, SDT, condutividade e nitrato, enquanto N3, N4 e N6 exibiram valores mais baixos para a maioria dos parâmetros físico-químicos, embora N4 tenha registrado nitrato de 10,92 mg/L, ligeiramente acima do VMP de 10 mg/L, e N6 tenha ultrapassado o limite de turbidez (9,0 UT).

A ordenação multivariada concentrou 83,7% da variância nos dois primeiros eixos da PCA, com 48,4% no PC1 e 35,3% no PC2. O PC1 foi positivamente associado a SDT, condutividade, nitrato e turbidez, separando N1 e N2 no extremo de maior carga físico-química, enquanto N3 ocupou a extremidade oposta pela baixa mineralização e pelo baixo teor de nitrato.

O PC2 capturou principalmente a variação microbiológica, diferenciando N5 pela maior carga de *E. coli* e bactérias heterotróficas e N6 pela maior contribuição relativa de coliformes totais (Figura 5). Esse arranjo sugere que a degradação sanitária não segue apenas o gradiente urbano-rural. Fontes físico-químicas associadas à ocupação adensada são consistentes com processos discutidos por Tucci (2012). As fontes microbiológicas difusas, por sua vez, associam-se a efluentes, resíduos e baixa proteção da área de recarga (Garcia et al., 2018; Von Sperling, 2014).

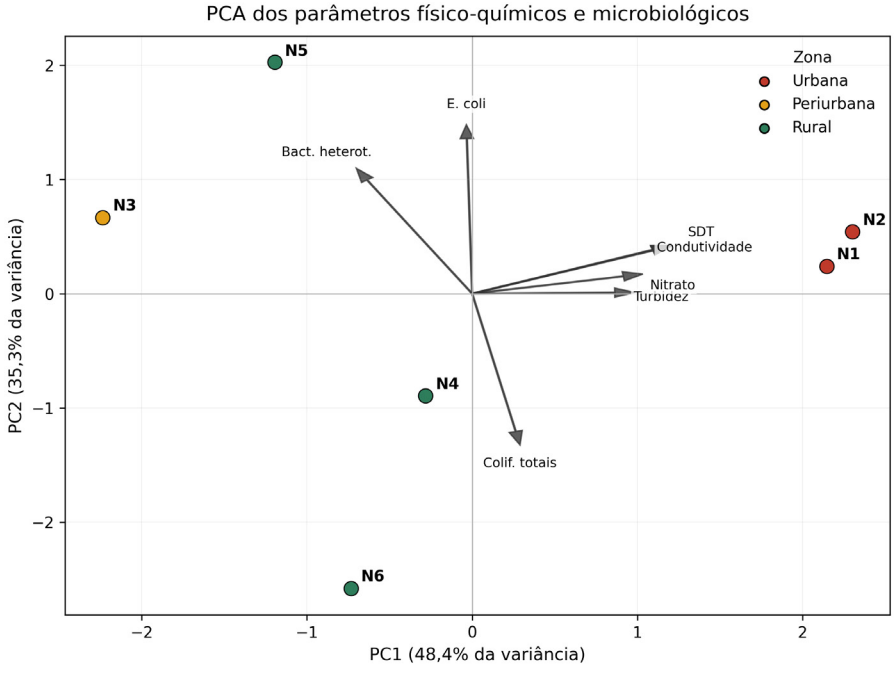
A correlação de Spearman entre a pontuação média do IIAN e os parâmetros de qualidade da água indicou associação negativa para todos os indicadores, com significância estatística para SDT ($\rho = -0{,}841$; $p = 0{,}036$). Esse resultado sugere que as nascentes com pior classificação macroscópica tenderam a apresentar maior concentração de sólidos dissolvidos totais.

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das seis nascentes avaliadas (novembro de 2024).

Parâmetro	VMP*	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Turbidez (UT)	≤ 5	41,0	14,8	2,24	3,2	3,7	9,0
SDT (mg/L)	≤ 500	687,0	682,8	<0,1	276,0	352,2	150,6
Condutividade (µS/cm)	—	1145	1138	14,8	461	587	251
Nitrato (mg/L N)	≤ 10	10,85	33,7	0,02	10,92	0,48	0,13
E. coli (NMP/mL)	Ausente	22,2	36,4	40,4	7,3	98,8	2,7
Colif. totais (NMP/L)	Ausente	1195,7	994,3	722,1	994,3	722,1	2275,2
Bact. heterot. (UFC/mL)	—	3306,7	2823,3	4046,7	2843,3	5073,3	2930,0

*VMP = Valor Máximo Permitido pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Valores em negrito excedem o VMP.
Elaboração dos autores, 2025.

Figura 5: Ordenação por análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das seis nascentes avaliadas. As contagens microbiológicas foram transformadas por log10(x + 1), e todas as variáveis foram padronizadas antes da decomposição por valores singulares. Fonte própria, 2026.



Fonte: Elaboração dos autores, 2025.

Apesar de a análise de Kruskal-Wallis não ter detectado diferenças significativas entre as zonas urbana, periurbana e rural para turbidez (H = 4,29; p = 0,117), nitrato (H = 3,10; p = 0,213) ou *E. coli* (H = 0,86; p = 0,651), o reduzido tamanho amostral (n = 6) limita o poder do teste. As tendências observadas, contudo, são compatíveis com o gradiente esperado.

A combinação entre nitrato elevado, turbidez e proximidade de residências sem esgotamento adequado indica aporte de efluentes, relação discutida por Tucci (2012) e Von Sperling (2014) em sistemas urbanos e periurbanos. A baixa capacidade de filtração do solo periurbano tende a se intensificar quando a vegetação do entorno foi removida, condição associada a contaminação nitrogenada por Souza-Silva et al. (2023) e a alterações sanitárias em nascentes urbanas por Garcia et al. (2018).

Padrão semelhante de contaminação por nitrato em áreas periurbanas foi documentado por Santos; Santos (2021) em nascentes de Arapiraca, AL, e por Silva (2018) em assentamento rural no Ipojuca, PE.

Em áreas rurais, Schneider et al. (2021) e Tarone (2021) também identificaram que poços e nascentes utilizados para consumo humano frequentemente apresentam contaminação fecal associada à ausência de proteção sanitária no entorno, indicando que esse não é um problema restrito ao semiárido.

O levantamento florístico inventariou 158 indivíduos lenhosos distribuídos em 19 espécies nas proximidades das nascentes, com predominância de espécies nativas em aproximadamente 75% dos registros. A estrutura horizontal das parcelas revelou diversidade moderada, com índice de Shannon-Wiener (H') de 2,04 nats/ind na parcela mais diversa e equabilidade de Pielou (J) de 0,80, refletindo a dominância de poucas espécies frutíferas e cultivadas.

Apenas N6 manteve estrato lenhoso mais contínuo e compatível com as funções de APP, enquanto as demais áreas apresentaram vegetação descontínua, frutíferas cultivadas ou espécies exóticas esparsas. A ocorrência de *Musa spp.* e *Spondias mombin* é coerente com paisagens rurais manejadas e quintais agroflorestais descritos por Chaves et al. (2013) e Jansen et al. (2021). Essa composição também se aproxima de arranjos produtivos e florísticos discutidos por Moura et al. (2022).

A presença de espécies nativas como *Zanthoxylum rhoifolium* e representantes de Lauraceae, Anacardiaceae e Myrtaceae indica potencial de regeneração, como esperado em remanescentes de floresta estacional e brejos de altitude (Ferraz; Rodal, 2006; Ribeiro et al., 2009). A ausência de continuidade, cercamento e controle de acesso, contudo, limita a função protetiva da vegetação sobre as áreas de recarga, especialmente quando a estrutura florestal não recompõe os estratos necessários à proteção do solo (Vibrans; Gasper; Muller, 2012).

Esses resultados indicam que o planejamento territorial precisa combinar saneamento local, proteção de APPs, controle do acesso animal e recomposição vegetal no entorno das surgências. Nas áreas urbanas e periurbanas, como N1 e N2, a prioridade recai sobre esgotamento sanitário, gestão de resíduos e fiscalização de descarte, em linha com o preconizado por Tucci (2012) para bacias urbanas.

Nas matrizes rurais, como N4, N5 e N6, cercamento e manutenção das captações podem reduzir o contato direto entre animais, solo exposto e aquífero livre (Calheiros et al., 2009; Valente; Gomes, 2015). A condução da regeneração natural pode ampliar proteção do solo e continuidade vegetal no entorno das surgências (Benini et al., 2016; Skorupa et al., 2021). Sistemas agroflorestais também podem contribuir para recompor cobertura e reduzir exposição da área de recarga, como discutido por Weber et al. (2022).

A efetividade dessas medidas depende de arranjos de governança local que articulem poder público, proprietários rurais e usuários da água, especialmente em municípios com capacidade institucional limitada (Taquaritinga do Norte. Prefeitura Municipal, 2019).

4 Conclusão

A integração entre dinâmica do uso do solo, classificação macroscópica, qualidade da água e composição florística sustenta parcialmente a hipótese de que a degradação das nascentes acompanha o gradiente urbano-rural. O comprometimento estrutural concentrou-se nas surgências adjacentes a ocupações adensadas, ao passo que as nascentes em matrizes rurais apresentaram pressões difusas associadas a acesso animal, supressão ciliar e fragilidade sanitária, indicando que a proteção física da captação não assegura, isoladamente, a segurança hídrica. Os resultados sugerem que a conservação das cabeceiras úmidas no Agreste pernambucano depende menos de intervenções pontuais e mais da articulação entre saneamento, recomposição efetiva de APPs, controle de acesso e governança compartilhada, com a APA Serras e Brejos do Capibaribe operando como arcabouço institucional para traduzir diretrizes gerais em metas locais verificáveis.

O desenho amostral restrito a uma campanha de estiagem limita a extrapolação para outros períodos hidrológicos e para o conjunto da APA. Estudos subsequentes podem ampliar a cobertura sazonal, incorporar buffers explícitos de uso do solo, vazão e contaminantes emergentes, fortalecendo subsídios para Pagamento por Serviços Ambientais e planos municipais de segurança hídrica.

Referências

AB'SABER, Aziz Nacib. **Os dominios de natureza no Brasil: potencialidades paisagisticas**. Sao Paulo: Atelie Editorial, 2003.

ALMEIDA, D. N. O. *et al.* Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municipios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 58-68, 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

ARAUJO, R. M. *et al.* Avaliaçãoo do estado de conservação de nascentes na área rural do município de Patrocinio, MG. **Multitemas**, v. 30, n. 74, p. 5-27, 2025.

BENINI, R. *et al.* **Cartilha de restauracao florestal de areas de preservacao permanente Alto Teles Pires, MT**. *[S.l.]*: The Nature Conservancy, 2016.

BRAGA, R. A. P. *et al.* Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude: o caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 539-546, 2002.

BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012: dispoe sobre a protecao da vegetacao nativa**. Brasilia, DF Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2012.

BRASIL. FUNDACAO NACIONAL DE SAUDE. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasilia: Funasa, 2013.

BRASIL. MINISTERIO DA SAUDE. **Portaria GM/MS no 888, de 4 de maio de 2021: estabelece os procedimentos de controle e de vigilancia da qualidade da água para consumo humano e seu padrao de potabilidade**. Brasilia, DFDiario Oficial da Uniao, 2021.

BRITO, L. M. *et al.* Qualidade fisico-quimica e microbiologica da água de nascentes da Bacia Hidrografica do Rio Coruripe, Alagoas-Brasil. **Interfaces Cientificas – Saude e Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 53-67, 2024.

CALHEIROS, R. de O. *et al.* **Preservacao e recuperacao das nascentes de água e de vida**. 2. ed. Sao Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2009.

CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JUNIOR, A. P. Areas de preservacao permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislacao ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, 2014.

CESSEL, G. M.; GASPARETTO, N. V. L.; BENATTI, C. T. Análise da qualidade da água na nascente do Rio Pirapo, Apucarana, PR. *In*: Maringa: 2019.

CHAVES, A. D. C. G. *et al.* A importancia dos levantamentos floristico e fitossociologico para conservacao e preservacao das florestas. **ACSA**, v. 9, n. 2, p. 42-48, 2013.

COELHO, V. H. R. *et al.* Dinamica do uso e ocupacao do solo em uma bacia hidrografica do semiarido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

COPETTI, C. M. *et al.* Impacto ambiental e grau de preservacao de nascentes de água em região essencialmente agricola. *In*: Ijui: 2022.

COSTA, L. J. A. da *et al.* Dinamica da conversao de floresta nativa usando MapBiomas. **Ensaios e Ciencia: Ciencias Biologicas, Agrarias e da Saude**, v. 28, n. 4, p. 521-524, 2024.

CPRM – SERVICO GEOLOGICO DO BRASIL. **Diagnostico do municipio de Taquaritinga do Norte, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DANTAS, E. C. O. *et al.* Alteracoes microclimaticas em area de Brejo de Altitude associadas a influencia do desmatamento. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 10, p. e11458, 2024.

DIOGO, I. J. S. **Biogeografia e diversidade de florestas serranas umidas do Nordeste do Brasil**. Tese de doutorado – Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrografica do Corrego Rico, Sao Paulo, Brasil. **Engenharia Agricola**, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

FARIAS, P. L. C. *et al.* Brejos de altitude no estado de Pernambuco como areas potenciais para estudos etnopedogeomorfologicos. **Margarida Penteado: Revista de Geomorfologia**, v. 1, n. 2, p. 1-20, 2024.

FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JUNIOR, A. P. Impactos ambientais macroscopicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte, MG. **Revista Geografias**, v. 8, n. 2, p. 8-23, 2012.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N. Caracterizacao fisionomico-estrutural de um remanescente de floresta ombrofila montana de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 911-926, 2006.

FOLEY, J. A. *et al.* Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FRANCISCO, P. R. M. *et al.* Dinamica temporal da cobertura e uso das terras do estado da Paraiba utilizando MapBiomas. **Revista GEAMA**, v. 9, n. 3, p. 56-65, 2023.

GARCIA, J. M. *et al.* Degradacao ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade e Natureza**, v. 30, n. 1, p. 228-254, 2018.

GINKO, Marcelo Adriano. **A influência do uso e ocupacao do solo sobre parametros de qualidade da água em nascentes da Bacia do Rio das Antas, Irati-PR**. mathesis – Irati: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2023.

GOIS, L. S. S.; CORREA, A. C. B.; MONTEIRO, K. A. Analise integrada dos brejos de altitude do Nordeste do Brasil a partir de atributos fisiograficos. **Espaco Aberto**, v. 9, n. 2, p. 77–98, 2019.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliacao dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade e Natureza**, v. 17, n. 32, p. 103-120, 2005.

GOMES, S. O. *et al.* Uso e cobertura dos solos de Petrolandia utilizando MapBiomas. *In*: Rio de Janeiro: 2017.

HOLANDA, D. M. C.; SALES, M. C. L. Nascentes na legislacao brasileira: implicacoes e consequencias para o gerenciamento hidrico ambiental. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 23, n. 3, p. 470-482, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Cidades: Taquaritinga do Norte**. Rio de Janeiro, 2024.

JANSEN, D. S. *et al.* Composição florística e fitossociologica em manancial de Brejo de Altitude. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e1091013900, 2021.

JUNG, M. S. *et al.* Water springs: an immeasurable resource for ensuring sustainability. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 3, 2024.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465–3472, 2011.

LEAL, M. S. *et al.* Caracterizacao hidroambiental de nascentes. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 1, 2017.

MAIA, C. O. *et al.* A qualidade da agua de nascentes e cursos fluviais de baixa ordem como indicador de desafios de gestao de parques urbanos em Belo Horizonte-MG. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 64, p. 91-119, 2021.

MAPBIOMAS. **Colecao 9 de mapas anuais de cobertura e uso da terra**., 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>

MELO, M. P. *et al.* Effects of local land use on riparian vegetation, water quality, and in situ toxicity. **Revista Ambiente e Água**, v. 17, n. 6, p. e2856, 2022.

MORAES, R. A. Análise das mudanças do uso e da cobertura da terra em municipios com areas de mineracao na microrregiao de Itabira, a partir de dados do MapBiomas entre 1987 e 2017. **Revista Engenharia de Interesse Social**, v. 5, n. 6, p. 77–96, 2020.

MOURA, P. J. R. *et al.* Levantamento floristico qualitativo em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual riparia em Pouso Alegre, MG. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e32711427545, 2022.

NASCIMENTO, R. O. *et al.* Characterization of water quality and the effects of land use and seasonality on springs in eastern Amazonia. **Revista Ambiente e Água**, v. 18, p. e2909, 2023.

PANTA, D. L. S. *et al.* Análise da adequabilidade geoecologica do brejo de altitude Serra Negra no Agreste de Pernambuco: uma abordagem integrada dos componentes ambientais. **Geografia**, v. 49, n. 1, p. 447-506, 2024.

PERNAMBUCO. **Decreto no 49.976, de 16 de dezembro de 2020: dispoe sobre a criacao da Area de Protecao Ambiental Serras e Brejos do Capibaribe**. Recife, 2020.

PIERONI, J. P. *et al.* Avaliacao do estado de conservacao de nascentes em microbacias hidrograficas. **Geociencias**, v. 38, n. 1, p. 185-193, 2019.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliacao qualitativa da agua de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012.

PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (ORGS.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraiba: história natural, ecologia e conservacao**. Brasilia: Ministerio do Meio Ambiente, 2004.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

RODRIGUES, P. C. G. *et al.* Ecologia dos brejos de altitude do agreste pernambucano. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 3, 2008.

SANTOS, D. R. C. S.; SANTOS, V. C. Impactos ambientais macroscopicos e qualidade da água em nascentes

localizadas na Vila Bananeira, Arapiraca, AL. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 481-498, 2021.

SANTOS, J. N. B. *et al.* Uso e ocupacao do solo de Areia-PB em cenario de exploracao do brejo de altitude. **ACSA**, v. 14, n. 4, p. 305-310, 2018.

SCHNEIDER, S. I. *et al.* Qualidade da agua em sistemas individuais de abastecimento de aguas subterraneas no sul do Brasil. **Ciencia e Natura**, v. 43, p. 1-21, 2021.

SCHULTZ, A. M. B. *et al.* Qualidade da água destinada ao consumo humano frente a caracterizacao do entorno de pocos artesianos localizados em areas rurais de um municipio da regiao noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista de Gestao e Secretariado**, v. 16, n. 1, p. 1-19, 2025.

SEBEN, D. *et al.* Importance of macroscopic environmental analysis for spring preservation used for human consumption. **Ciencia e Natura**, v. 46, p. e72355, 2024.

SILVA, B. H. S.; SOUZA, W. M. Estudo climatologico da cidade de Taquaritinga do Norte-PE para a producao de cafe arabica Coffea arabica. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, v. 4, n. 2, 2022.

SILVA NETO, J. O. *et al.* Análise da evolução do uso e cobertura do solo do municipio de Taua-CE nos anos de 1991 a 2021, a partir de dados do MapBiomas. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 46, p. 132-151, 2024.

SILVA, Paloma Eduarda de Jesus. **Impactos de acoes antropicas na qualidade da água de nascentes: caso do Assentamento Amazonas, Ipojuca-PE**. mathesis –Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

SKORUPA, L. A. *et al.* **Roteiro para elaboração de um projeto de recomposicao de areas degradadas ou alteradas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021.

SOARES, T. M. A.; BARROS JUNIOR, W. W. R. Avaliação do estado de conservacao de nascentes: estudo de caso em um territorio quilombola estabelecido na bacia do rio Fagundes, Areal, RJ. **Novos Cadernos NAEA**, v. 26, n. 1, p. 301-330, 2023.

SOUSA, S. G. **Uso do Google Earth Engine na identificacao de uso do solo e areas desmatadas visando a construcao de estrategias para recuperacao ambiental**. mathesis – Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2023.

SOUZA-SILVA, G. *et al.* Contaminacao por compostos nitrogenados e coliformes em águas subterrâneas da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 106-124, 2023.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. *In*: PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (Orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraiba: história natural, ecologia e conservacao**. Brasilia: Ministerio do Meio Ambiente, 2004.

TAQUARITINGA DO NORTE. PREFEITURA MUNICIPAL. **Plano Diretor de Taquaritinga do Norte**. Recife, 2019.

TARONE, Vanessa Faco. **Avaliacao de potabilidade da água de poços rasos para consumo humano no municipio de Jaboticaba-RS**. Frederico Westphalen – Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

TENORIO, J. C. S. *et al.* Acao antropica na producao de alimentos em areas de brejos de altitude no semiarido do Nordeste, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciencias Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 578-593, 2020.

TODESCHINI, R. *et al.* Qualidade da água em nascentes com diferentes usos e coberturas do solo. *In*: 2016.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2012.

TURNER, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservacao de nascentes: producao de água em pequenas bacias hidrograficas**. Vicosa: Aprenda Facil, 2015.

VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L.; MULLER, J. J. V. Para que inventariar florestas? Reflexoes sobre a finalidade do inventario floristico florestal de Santa Catarina. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 6–13, 2012.

VON SPERLING, M. **Introducao a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WEBER, S. B. *et al.* **Protecoes de nascentes**. Florianopolis: Epagri, 2022.