



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÉNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 11, nº 1 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1ID37134>



Análise da qualidade da água de nascente em diferentes tipos de uso do solo após recuperação pelo método solo-cimento

Analysis of water quality in springs in different types of land use using the soil-cement method

Valdemir Antoneli¹; Luciano Marcos Antonio²; Kelly Geronazzo Martins³ Kely Viviane de Souza³

¹ Universidade Estadual do Centro-oeste, Campus de Irati Pr. Departamento de Geografia. Irati PR, Brasil. E-mail: vaantoneli@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5942-8330>

² Universidade Estadual do Centro-oeste, Campus de Irati. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Irati PR, Brasil. E-mail: lucianoantonio15@icloud.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0366-9449>

³ Universidade Estadual do Centro-oeste, Campus de Irati. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Irati PR, Brasil. E-mail: kellygm77@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0447-4444>

⁴ Universidade Estadual do Centro-oeste, Campus de Irati. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Irati PR, Brasil. E-mail: kelyvdesouza@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7680-852X>

Resumo: Durante muito tempo, a água das nascentes foi considerada pura e limpa, devido à filtragem natural que ocorre durante a infiltração e movimentação da água de nascente através de aquíferos profundos e rasos. Mas, devido ao aumento das atividades antrópicas, a água das nascentes tem apresentado problemas de contaminação. Na literatura são encontrados diversos métodos de recuperação de nascentes, principalmente em áreas rurais onde a água das nascentes é utilizada para o abastecimento da população. Na região Sudeste do estado do Paraná- Brasil, os agricultores têm aplicado o método solo-cimento para melhoria da qualidade da água das nascentes. No entanto há poucos estudos sobre a eficiência deste método. O objetivo deste artigo é avaliar se houve melhoria na qualidade da água após três anos da utilização do método de solo-cimento em nascente localizadas em diferentes tipos de uso do solo (pastagem, faxinal, floresta, agricultura e urbano). Foram coletadas amostras de água, antes da recuperação, um ano após e três anos após a recuperação. Ao término da pesquisa observamos que houve melhoria na qualidade da água e as áreas com animais pastando, indicaram os melhores índices de recuperação. Alguns parâmetros indicaram melhoria significativa como *E. coli*, *Coliformes* totais e turbidez.

Palavras-chave: Recuperação; Nascentes; Qualidade da água.

Abstract: For a long time, spring water was considered pure and clean due to the natural filtration that occurs during the infiltration and movement of spring water through deep and shallow aquifers. However, due to the increase in anthropogenic activities, spring water has shown contamination problems. Various methods for spring recovery are found in the literature, especially in rural areas where spring water is used to supply the population. In the southeast region of the state of Paraná, Brazil, farmers have been applying the soil-cement method to improve the quality of spring water. However, there are few studies on the efficiency of this method. The objective of this article is to evaluate whether there has been an improvement in water quality after three years of using the soil-cement method in springs located in different types of land use (pasture, faxinal, forest, agriculture, and urban). Water samples were collected before the recovery, one year after, and three years after the recovery. At the end of the research, we observed an improvement in water quality, with areas with grazing animals showing the best recovery indices. Some parameters indicated significant improvement, such as *E. coli*, total coliforms, and turbidity.

Keywords: Recovery; Springs; Water quality.

1. Introdução

A água é um recurso natural disponível em várias formas na natureza, no entanto, sua qualidade pode mudar devido a processos naturais e antropogênicos que ocorrem no meio ambiente. Entre as ações antropogênicas que afetam a qualidade da água estão: resíduos de atividades industriais (TOMASZEWSKA et al., 2020), agricultura (CHAKRABORTY et al., 2016), pastoreio de animais (WEN et al., 2017), o impacto da urbanização (ESTRADA-RIVERA et al., 2022), degradação ambiental devido à mineração (BARRAL et al., 2021), poluentes emergentes (ARMAN et al., 2021), entre outros. Portanto, todas essas fontes de poluição levaram a uma crise hídrica, que tem origens sociais, econômicas e ambientais (ELLIS e RIVETT, 2007; VOROSMARTY et al., 2010).

Dados das Nações Unidas (ONU) indicam que 2,2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a água potável. Nos países em desenvolvimento, essa questão é responsável por 80% das doenças e mortes. Durante o século XX, o consumo de água aumentou seis vezes em relação ao crescimento da população global. Atualmente, 26 países enfrentam escassez crônica de água, e prevê-se que, até 2025, esse problema afetará 52 países e 3,5 bilhões de pessoas (KUMMU et al., 2016).

Nas últimas décadas, inúmeros pesquisadores empregaram diversos modelos para aumentar a precisão das previsões de qualidade da água. Esses modelos podem ser categorizados em dois tipos principais: modelos convencionais e modelos baseados em inteligência artificial (IA) (RAJAEE et al., 2020). Outros esforços de pesquisa buscam determinar os níveis de poluição em rios e lagos, identificando as fontes de poluição (ALTENBURGER et al., 2019). Vale destacar que a maioria dos projetos de qualidade da água é realizada em rios e lagos.

A pesquisa sobre a melhoria da qualidade da água em nascentes é incipiente. No entanto, há uma série de estudos que propõem métodos para a recuperação de nascentes: restauração e implementação de vegetação em áreas de nascentes (WINSA e BERGSTEN, 1994; CASTRO RIBEIRO et al., 2012); construção de zonas de amortecimento vegetais ao redor de riachos e nascentes (BOURGEOIS et al., 2016); e manutenção da zona ripária (XIANG et al., 2016).

Entre essas diversas técnicas de restauração de rios e nascentes, existe um método amplamente utilizado em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil, conhecido como método solo-cimento, que envolve o isolamento da nascente (SOARES et al., 2021). No entanto, pouco se sabe sobre sua eficiência na melhoria da qualidade da água.

Diante desse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência do método solo-cimento utilizado para a recuperação de nascentes. O estudo buscou responder a várias perguntas, como: a) O método solo-cimento é eficiente para melhorar a qualidade da água? b) Os tipos de uso do solo ao redor da nascente afetam a qualidade da água, mesmo com a nascente totalmente restaurada? c) A pecuária extensiva interfere na qualidade da água?

Para responder a essas perguntas, foram realizadas três campanhas de amostragem de água em nascentes com diferentes tipos de uso do solo, como: área agrícola, área florestada, pecuária extensiva (faxinal) e áreas urbanas. Vale destacar que a pesquisa sobre a técnica do solo-cimento é ainda incipiente, tornando este um estudo pioneiro na avaliação da eficiência desse método.

2. Método solo-cimento

O método solo-cimento envolve a limpeza manual da área ao redor das nascentes, removendo materiais orgânicos como raízes, folhas, galhos e lama. Em seguida, fragmentos de rocha são colocados para preencher toda a nascente, seguido da instalação de canos. A nascente é então selada com uma mistura feita de solo peneirado, cimento e água (na proporção de 3 partes de solo para 1 parte de cimento). Após a preparação da mistura, cria-se um pequeno reservatório para armazenar a água, que é preenchido ao máximo com blocos de rocha (recomenda-se o uso de rochas ígneas) (Figura 1). É importante destacar que os fragmentos de rocha têm a função de filtrar a água.



Figura 1 – Recuperação da nascente através do método solo-cimento. A) Nascente a ser recuperada. B) Limpeza da nascente. C) Mistura de solo e cimento. D) Construção da mini barragem. E) Nascente sendo coberta por fragmentos de rocha. F) Nascente recuperada e em funcionamento.

Fonte: Autores (2024).

Juntamente com a adição das rochas, são instalados canos que desempenham diferentes funções (Figura 2). O cano vertical é utilizado para a adição de água sanitária e cloro, quando necessário, para a desinfecção da água. No entanto, essa prática não é comum entre os agricultores que utilizam essa técnica.

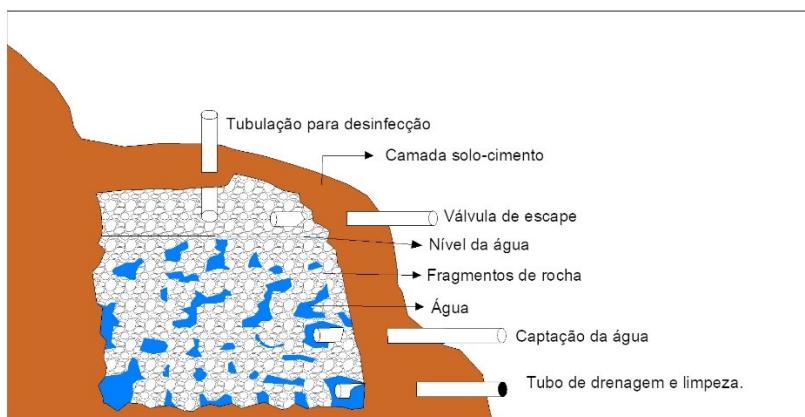


Figura 2 – Esquema de funcionamento de uma nascente recuperada pelo método solo-cimento. Adaptado de Crispin et al. (2012).

Fonte: Autores (2024).

Acima do nível da água dentro da nascente, é instalado um tubo que atua como válvula de extravasamento para o excesso de água durante períodos chuvosos. Sem esse tubo, poderia ocorrer a ruptura da micro barragem. Perto da superfície da nascente, um tubo é instalado para a limpeza da estrutura interna da nascente. Aproximadamente 25 cm acima do leito da nascente, é instalado um tubo para exportar a água do interior da área recuperada para consumo e/ou para seguir o curso normal do rio.

3. Metodologia

O município de Prudentópolis está localizado na Mesorregião Geográfica do Sudeste do Paraná, com uma população estimada em 52.513 habitantes (IBGE, 2020). Situa-se na Latitude 25° 12' 47" S e Longitude 50° 58' 40" O, com uma altitude média de cerca de 840 metros.

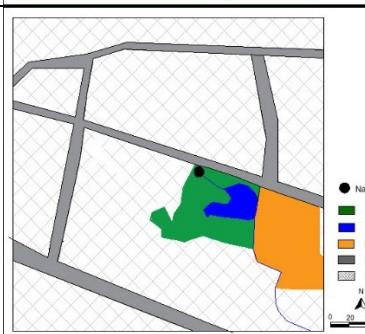
A agricultura praticada no município, de acordo com a classificação do IAPAR (1995), insere-se no conglomerado denominado C13, que define a região com alta participação de culturas temporárias, principalmente tabaco, milho e feijão, utilizando mão de obra familiar e tração animal. A área também é composta por pastagens, floresta nativa, reflorestamento e áreas de pousio, com uso reduzido de insumos agroindustriais e motorização. Além disso, há o emprego de práticas agrícolas de baixa tecnologia, utilizando implementos e ferramentas rudimentares, devido, em grande parte, à predominância de pequenas propriedades, onde uma parcela significativa da área agrícola é dedicada ao cultivo de tabaco (ANTONELI, THOMAZ e BEDNARZ, 2022).

Entre as áreas agrícolas, encontram-se fragmentos da Floresta de Araucária utilizados para a pecuária extensiva, conhecida como Sistema Faxinal. Vale destacar que o Sistema Faxinal é uma forma de organização camponesa característica do Sul do Brasil, baseada na agricultura familiar, no uso coletivo de recursos e no trabalho coletivo em atividades silvipastorais (ANTONELI, OLIVEIRA e BEDNARZ, 2019).

3.1. Coleta de dados

As áreas de nascentes selecionadas para esta pesquisa seguiram um padrão de representatividade, o que significa que diversas nascentes foram visitadas em cada tipo de uso do solo, e aquelas que apresentaram características semelhantes foram escolhidas (Tabela 1).

Tabela 1 – Características do uso e ocupação do solo das águas das nascentes pesquisadas.

Tipos de usos	Características das nascentes	Características dos usos do solo
Agricultura	Localizada sob as coordenadas 25°14'12"S e 50°59'38"W. Ao redor desta nascente, há cultivo de soja e tabaco, com pouca vegetação ao redor. Inclinação média de 10%. As florestas ripárias são deficientes, com pontos de erosão nas margens.	 <ul style="list-style-type: none"> ● Nascente respondida ■ Nascente sem resposta ■ Floresta ■ Rio / Lago ■ Pastagem ■ Agrofloresta ■ Estradas ■ Casas <p>0 20 40 80 m</p>
Forestal	Floresta Ombrófila Mista, sem a presença de animais domésticos. Localizada entre as coordenadas 25°09'55"S e 51°01'09.". Floresta ripária preservada. Inclinação montante: 14%, sem erosão nas margens.	 <ul style="list-style-type: none"> ● Nascente ■ Floresta ■ Rio ■ Pastagem ■ Estradas ■ Casas <p>0 20 40 80 m</p>
Faxinal	Área de criação de animais extensiva sem práticas conservacionistas. Contato dos animais com rios. Zona ripária degradada. Declividade 10%.	 <ul style="list-style-type: none"> ● Nascente ■ Floresta ■ Rio ■ Faxinal ■ Pastagem ■ Estradas ■ Casas ■ Agricultura <p>0 20 40 80 m</p>
Urbana	Área residencial com 75% de área construída. Saneamento básico adequado. Localizada nas coordenadas 25°12'19"S e 50°58'34"W. A vegetação consiste principalmente em plantas herbáceas.	 <ul style="list-style-type: none"> ● Nascente ■ Vegetação ■ Rio / lago ■ Novo lotamento ■ Ruas ■ Área construída <p>0 20 40 80 m</p>

Fonte: Autores (2024).

Como as amostras de água foram coletadas antes da implementação do método de solo-cimento para recuperação de nascentes, um ano após a implementação e três anos após a recuperação, essa cronossequência com três períodos distintos pode demonstrar a eficiência potencial dessa técnica ao longo do tempo. Três amostras foram coletadas de cada nascente, totalizando 15 amostras por campanha. A água coletada foi armazenada em recipientes selados, devidamente rotulados para transporte ao laboratório.

No laboratório, as amostras foram analisadas seguindo a metodologia padrão descrita nos "Métodos Padrão para Análise de Água e Esgoto" (APHA, 2018). Os parâmetros analisados foram: turbidez, pH, fósforo, alcalinidade, coliformes totais e Escherichia coli.

As características de cada uso do solo e as imediações das nascentes foram observadas por meio de trabalho de campo e análise de imagens aéreas para quantificar fragmentos de paisagem ao redor das nascentes.

3.2. Análise de dados

A análise de componentes principais (PCA) explorou possíveis agrupamentos entre o uso do solo das nascentes e seu tempo de recuperação nos parâmetros de qualidade da água (alcalinidade, E. coli, pH, fósforo, coliformes totais e turbidez). O critério de Kaiser foi utilizado para considerar os componentes significativos.

Modelamos as relações entre os parâmetros de qualidade da água e fatores: tempo de recuperação (três níveis) e uso do solo das nascentes (cinco níveis) em um modelo linear misto geral (GLMM). Os tempos após a perturbação não foram independentes; portanto, consideramos esse fator como uma medida repetida no GLMM. As suposições da distribuição gaussiana foram verificadas usando o teste de Shapiro-Wilk e os dados foram transformados logaritmicamente quando necessário. O nível de significância para todas as análises foi de 5%. As análises foram realizadas utilizando o software RStudio, versão 4.0.2 (RSTUDIO, 2020).

4. Resultados e Discussões

As nascentes são amplamente reconhecidas por sua diversidade física e são abundantes fontes pontuais de biodiversidade e produtividade, frequentemente possuindo funções e valores ecológicos, socioculturais e econômicos substanciais (HERSHLER et al., 2014; MULLER et al., 2017). No entanto, têm sido impactadas por atividades antropogênicas (STEVENS et al., 2021), o que destaca a importância de métodos e técnicas para sua restauração.

Ao analisar os dados, identificamos agrupamentos bem definidos fortemente relacionados ao uso e ocupação do solo, assim como aos parâmetros de qualidade da água das nascentes determinadas neste estudo. De acordo com o diagrama da análise de componentes principais (PCA) (Figura 3), a formação dos agrupamentos foi principalmente impulsionada pelas variáveis: Tempo (loading = 0,86), E. coli (-0,72), Coliformes totais (-0,70) e Turbidez (-0,47), explicando aproximadamente 34% do agrupamento.

Notavelmente, à medida que o tempo de recuperação das nascentes aumentava, esses parâmetros diminuíam, dado seus índices de correlação negativa. Outras variáveis, incluindo Fósforo (-0,86), pH (-0,71) e Alcalinidade (-0,47), explicaram cerca de 28% e estão mais relacionadas ao PCA2, representadas no diagrama de ordenação como o eixo perpendicular.

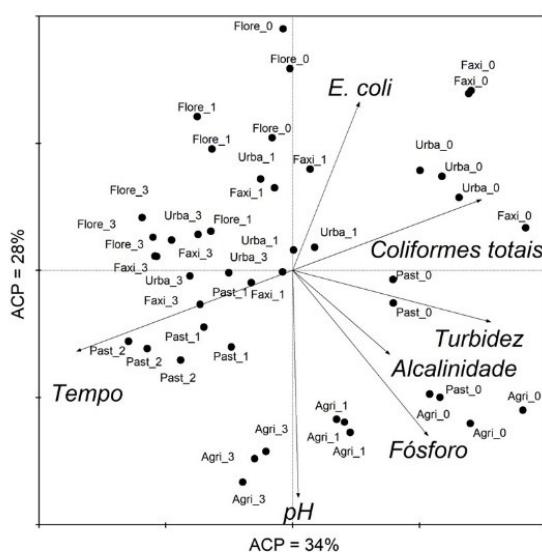


Figura 3 – Diagrama de ordenação da análise de componentes principais para parâmetros de qualidade da água em função do tempo de recuperação em diferentes tipos de uso e ocupação do solo (Agri - Agricultura; Urba - Urbano; Fore - Floresta; Past - Pastagem; Fax - Sistemas de Faxinal).

Fonte: Autores (2024).

O quadrante inferior direito é ocupado por nascentes localizadas em áreas de pastagem e agrícolas no tempo zero (antes da recuperação) e áreas agrícolas após um ano de recuperação. Essas amostras estão associadas a parâmetros como Turbidez, Alcalinidade, Fósforo e pH. O quadrante inferior esquerdo é composto principalmente por áreas de pastagem após a recuperação (um e dois anos pós-recuperação) e nascentes agrícolas (dois anos de recuperação). Essas amostras estão associadas ao tempo de recuperação das nascentes.

O quadrante superior esquerdo contém amostras com a melhor qualidade da água. Este quadrante inclui amostras de água da Floresta Ombrófila Mista nos três períodos de coleta (zero, um e três anos). Também inclui duas áreas urbanas e duas áreas de sistemas de faxinal, ambas após dois anos de recuperação. O quadrante superior direito comprehende nascentes com os piores parâmetros de qualidade da água: nascentes localizadas em áreas urbanas antes da recuperação (tempo zero) e áreas de sistemas de faxinal (tempo zero). Essas amostras estão fortemente relacionadas a altos valores de *E. coli* e coliformes totais.

Por meio da análise de variância calculada usando o modelo linear misto generalizado (GLMM), é evidente que todos os parâmetros foram significativamente influenciados pelo tempo de recuperação. Em relação ao uso e ocupação do solo, pode-se afirmar que apenas a alcalinidade foi significativamente influenciada exclusivamente na área urbana. Portanto, não houve diferença estatística na alcalinidade da água das nascentes entre a floresta ombrófila mista e a área urbana. No entanto, houve diferença estatística entre as outras variáveis (Tabela 1).

Tabela 2 – Componentes das Análises de Variância dos modelos lineares generalizados para parâmetros de qualidade da água das nascentes em função do tempo de recuperação em diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

.Variável dependente	Efeitos	Grau de Liberdade	F	p	R ²
Alcalinidade	Springs	4	2.12	0.15	0.85
	Time	2	17.57	<0.01*	
	Time*Springs	8	9.05	<0.01*	
E. Coli	Springs	4	15.73	<0.01*	0.91
	Time	2	65.72	<0.01*	
	Time*Springs	8	6.43	<0.01*	
pH	Springs	4	9.30	.002*	0.87
	Time	2	14.06	<0.01*	
	Time*Springs	8	6.99	<0.01*	
Fosforo	Springs	4	47.75	<0.01*	0.98
	Tempo	2	11.94	<0.01*	
	Tempo*Nascentes	8	1.96	0.11	
Coliformes totais	Nascentes	4	11.84	<0.01*	0.96
	Tempo	2	86.22	<0.01*	
	Tempo*Nascentes	8	7.73	<0.01*	
Turbidez	Nascentes	4	14.19	<0.01*	0.87
	Tempo	2	33.68	<0.01*	
	Tempo*Nascentes	8	7.21	<0.01*	

Fonte: Autores (2024).

**Resultados significantes.*

Vale ressaltar que apenas o Fósforo não apresentou uma interação significativa entre o tempo de recuperação das nascentes e o tipo de uso e ocupação do solo. Nesse contexto, as outras variáveis flutuam em valor à medida que o tempo de recuperação das nascentes aumenta (Figura 4).

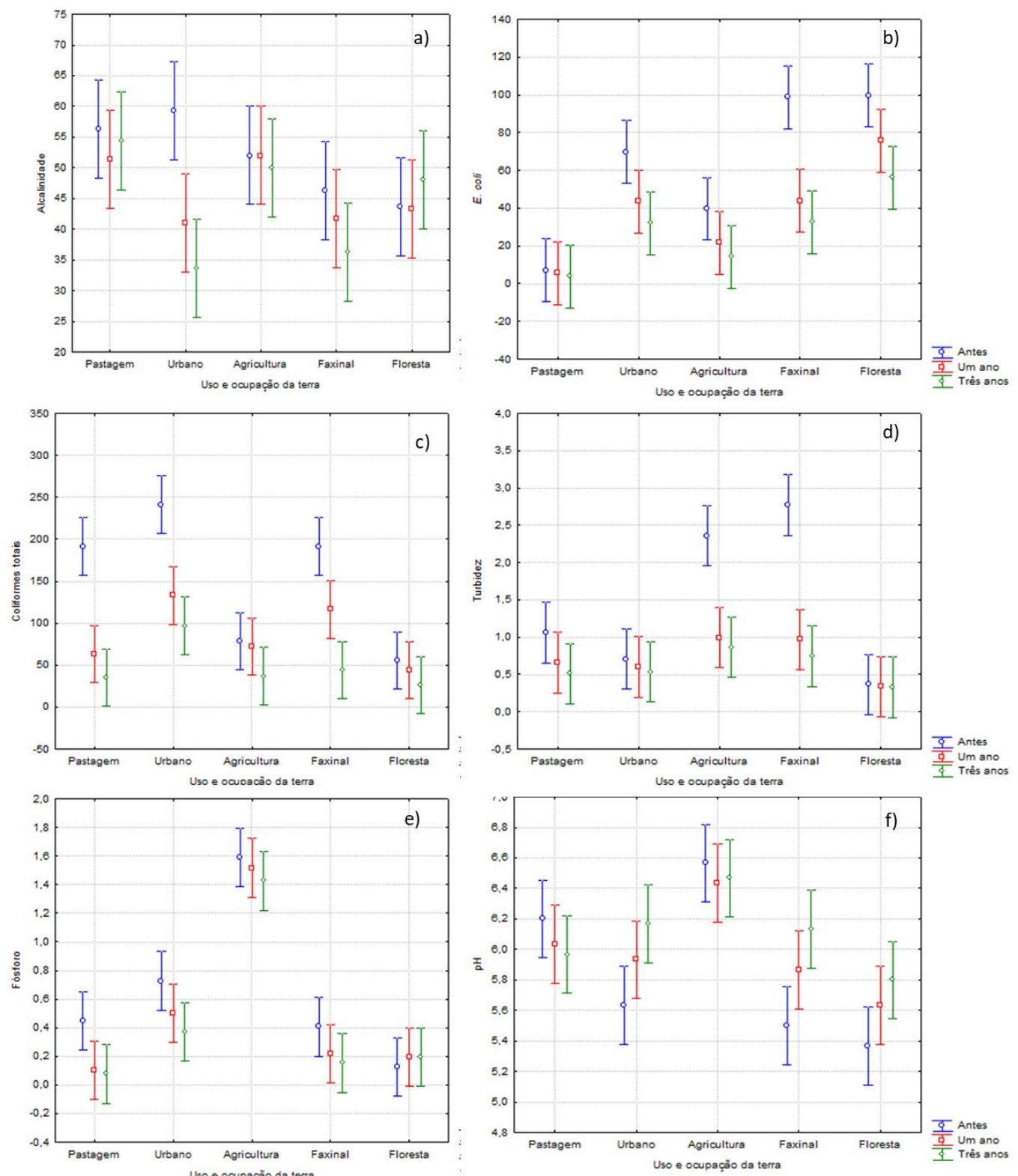


Figura 4 – Boxplots para os parâmetros de qualidade da água das nascentes em função do tempo de recuperação, em diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

Fonte: Autores (2024).

Por meio da Figura 4, pode-se observar o comportamento de cada variável ao longo do tempo em diferentes tipos de uso do solo. As áreas urbanas mostraram a maior diferença nos valores de alcalinidade após três anos de recuperação (uma média de 59 antes da recuperação e uma média de 33 após três anos), uma redução de 44% (Figura 4a). Após três anos de recuperação das nascentes, apenas as florestas indicaram um aumento na alcalinidade. Os outros usos do solo mostraram uma redução na alcalinidade após três anos de recuperação.

A alcalinidade é uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos, indicando a presença de substâncias alcalinas, como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Nas nascentes, pode variar dependendo da geologia circundante. A alcalinidade pode ter origem natural através da dissolução de rochas, da reação do CO₂ (da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica) com a água, ou de ações antropogênicas, como descarte industrial. Na faixa de pH de 5,4 a 6,5, conforme observado neste estudo em cinco campanhas, os bicarbonatos parecem contribuir significativamente para a alcalinidade.

Parâmetros como *E. coli*, coliformes totais e turbidez são cruciais para avaliar a potabilidade da água potável (XAVIER et al., 2022), conforme avaliado periodicamente pela legislação brasileira (BRASIL, 2011). Em geral, esses parâmetros mostraram as mudanças mais significativas ao longo do tempo de recuperação, sendo influenciados pelo uso e ocupação do solo, conforme indicado pela PCA (Figura 2) e GLMM (Tabela 1).

Nas Figuras 4b, 4c e 4d, pode-se observar um padrão semelhante de valores decrescentes para *E. coli*, coliformes totais e turbidez. Esses resultados confirmam a eficiência da metodologia de solo-cimento para a recuperação de nascentes e destacam as interferências sensíveis do uso e ocupação do solo nas áreas onde as nascentes estão localizadas. Também se observa que a recuperação em áreas com sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal) e áreas urbanas, assim como em florestas, foi significativamente mais rápida do que em áreas agrícolas.

Escherichia coli é um indicador de poluição fecal na água potável. Esse tipo de contaminação na água é comumente devido ao descarte direto de esgoto em canais de drenagem (GHANEM et al., 2021). Isso demonstra que altas concentrações de *E. coli* em áreas de pecuária são resultado do contato direto dos dejetos animais (fezes) com as nascentes, corroborando as descobertas apresentadas por JEBREEN e GHANEM (2015).

Em relação às concentrações de coliformes totais, foram observados dois grupos distintos, onde a maior concentração foi encontrada em nascentes urbanas, seguidas de nascentes em sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal) e pastagens, com as menores concentrações observadas na agricultura e nas florestas. A maior eficiência dos métodos de recuperação de nascentes na redução das concentrações de coliformes totais foi observada em pastagens e sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal). Isso pode ser atribuído ao isolamento das nascentes, o que reduz o contato direto dos animais.

Os maiores valores de fósforo foram encontrados em nascentes agrícolas. Mesmo após a recuperação (três anos), esses valores permaneceram mais altos em comparação a outros usos do solo. Essas descobertas são consistentes com as relatadas por Pinto et al. (2012), onde a atividade agrícola aumentou as concentrações de fósforo nas nascentes. Pastagens, áreas urbanas e sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal) mostraram uma redução na concentração de fósforo após três anos de recuperação. As florestas foram o único tipo de uso do solo que indicou um aumento no fósforo após três anos de recuperação.

O fósforo é um indicador crítico da qualidade da água em sistemas de drenagem agrícola (TOOTONCHI et al., 2018). Nas atividades agrícolas, fertilizantes contendo fósforo são comumente aplicados para promover o crescimento das plantas. No entanto, quando aplicados em excesso, esses podem ser transportados pela água da chuva ou irrigação e alcançar corpos d'água. A dinâmica das áreas agrícolas contribui para a redução da qualidade da água nas nascentes em comparação com outros usos do solo. Fatores que contribuem para isso incluem escoamento superficial (ANDRASKI e BUNDY, 2003), erosão do solo (ZAHOOR e MUSHTAQ, 2023), fertilizantes (YANG et al., 2017) e resíduos animais (SCHAFFNER et al., 2010), entre outros.

A maior turbidez da água antes da recuperação foi encontrada na agricultura e em sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal). O pH da água nas nascentes agrícolas (Figura 4f) indicou os maiores valores em comparação a outros tipos de uso do solo. No entanto, essas nascentes mostraram a maior homogeneidade em comparação com outras áreas. Em pastagens, o pH da água diminuiu ao longo do período de recuperação. As áreas urbanas, os sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal) e as florestas mostraram comportamentos semelhantes, com aumento do pH ao longo do tempo de recuperação.

O aumento do pH nessas áreas pode ser atribuído à redução da matéria orgânica que chegava às nascentes antes da recuperação. Maiores concentrações de matéria orgânica aumentam a acidez da água devido à liberação de dióxido de carbono e ácidos orgânicos. O isolamento das nascentes em áreas de florestas e sistemas agroflorestais tradicionais (faxinal) reduziu o contato animal, diminuindo assim a conectividade da matéria orgânica e dos resíduos animais com as nascentes.

Nossos resultados indicam restrições ao uso da água proveniente de nascentes de pastagens, urbanas e agrícolas, exceto pela água de florestas ombrófilas mistas, que apresentaram condições adequadas para consumo. Essas descobertas são consistentes com as observações de WANG et al. (2006) e JOSHI (2006), onde a água de nascentes

florestais é adequada para beber, enquanto nascentes em terras cultivadas ou pastagens tornam-se inadequadas e inseguras para o consumo humano.

4. Conclusão

O método de solo-cimento demonstrou melhorias na qualidade da água em todas as variáveis analisadas após três anos. No entanto, algumas variáveis, como *E. coli* e coliformes totais, mostraram melhorias significativas em nascentes localizadas em áreas de pastagem, urbanas e faxinais. O isolamento das nascentes em áreas de pastagem e faxinais (pecuária extensiva) reduziu a conectividade de sedimentos e matéria orgânica das áreas circundantes, assim como o impacto de animais em busca de água nessas áreas.

As nascentes em áreas agrícolas não mostraram melhoria significativa na qualidade da água, exceto em relação à turbidez da água. O isolamento das nascentes em áreas agrícolas pode ter reduzido o contato dos sedimentos provenientes de processos erosivos com as nascentes, reduzindo assim a turbidez. No entanto, a infiltração da água a montante das nascentes agrícolas pode ter contribuído com os altos valores de alguns parâmetros como o Fosforo e pH.

O sistema de solo-cimento para a recuperação de nascentes é eficiente para alguns parâmetros, especialmente aqueles influenciados pelo contato de materiais das áreas a montante das nascentes. No entanto, é necessário avaliar a eficácia desse método de recuperação ao longo de uma escala temporal mais longa.

Também é necessário avaliar as condições de uso e ocupação do solo a montante da água das nascentes, pois a dinâmica hidrológica dessas áreas pode afetar a qualidade da água, mesmo com o método de solo-cimento.

Referências

- Altenburger, R.; Brack, W.; Burgess, R.M. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures, *Environ Sci Eur*, v.31, n. 12, 2019.
- Andraski, T. W.; Bundy, L. G. Relationships between phosphorus levels in soil and in runoff from corn production systems. *J. Environ. Qual.*, n. 32, 310–316, 2003.
- Antoneli, V.; Bednarz, J.A.; Thomaz, E.L. Tobacco harvest phase is critical to runoff and soil loss in conventional tillage system. *Soil Use and Management*, v. 39, n. 1, 1–11. 2023.
- Antoneli, V.; Oliveira, T. de.; Bednarz, J. A. A fragmentação da floresta é um indicador de compactação do solo em sistema faxinal? *Caminhos de Geografia*, v. 20, n. 72, 2019.
- Arman, N.Z.; Salmiati, S.; Aris, A.; Salim, M.R.; Nazifa, T.H.; Muhamad, M.S.; Marpongahtun, M. A Review on Emerging Pollutants in the Water Environment: Existences, Health Effects and Treatment Processes. *Water*, v.13, n. 3258, 2021.
- Barral, N.; Maleki, M.; Madani, N.; Cánovas, M.; Husillos, R.; Castillo, E. Spatio-temporal geostatistical modelling of sulphate concentration in the area of the Reocín Mine (Spain) as an indicator of water quality. *Environ Sci Pollut Res*, 1–15. 2021.
- Bourgeois, B.; Vanasse, A.; Rivest, D.; Poulin, M. Establishment success of trees planted in riparian buffer zones along an agricultural intensification gradient. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 222, n. 15, p 60-66. 2016.
- Brasil. *Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)*. Resolução no 430. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 16 mai. 2011.
- Castro Ribeiro, de P. R. C.; Ribeiro, J.J.; Dos Santos Neto, A. R.; Pereira da Rocha, J.R.; Souza Corte, I. Métodos de recuperação de mata ciliar como proposta de recuperação de nascentes no cerrado. *Encyclopédia Biosfera*, v.8, n.15, 1866, 2012.
- Chakraborty, P.; Khuman, S.N.; Selvaraj, S.; Sampath, S.; Devi, N.L.; Bang, J.J.; Katsoyiannis, A. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in river Brahmaputra from the outer himalayan range and river hooghly emptying into the bay of bengal: occurrence, sources and ecotoxicological risk assessment. *Environ. Pollut.*, n. 219, 998-1006, 2016.

- Ellis, P.A.; Rivett, M.O. Assessing the impact of VOC-contaminated groundwater on surface water at the city scale. *J. Contam. Hydrol.*, n.91, 107-127, 2007.
- Estrada-Rivera, A.; Díaz Fonseca, A.; Treviño Mora, S.; García, W.; Suastegui, A.; Chávez Bravo, E.; Castelán Vega, R.; Morán Perales, J.L.; Handal-Silva, A. The impact of urbanization on water quality: case study on the Alto Atoyac Basin in Puebla, Mexico. *Sustainability*, v. 14, n. 667, 2022.
- Ghanem, M.; Ahmad, W.; Keilani, Y.; Sawaffah, F.; Schelter, L.; Schuettrumpf, H. Spring water quality in the central West Bank, Palestine. *J Asian Earth Sci.*, v. 5, 2021.
- Hershler, R.; Liu, H.P.; Howard, J. Springsnails: A new conservation focus in western North America. *BioScience*, v. 64, 693–700, 2014
- IAPAR –Instituto Agronômico do Paraná. *Caracterização da Agricultura no Paraná*. Londrina, 1995.
- Jebreen, H.; Ghanem, M. Spring water qualitative assessment in mountainous areas, case study: Soreq Catchment/Ramallah/West Bank. *J Water Res Protect.*, v.7, n 11, 851–859, 2015.
- Joshi, B. Hydrology and nutrient dynamics of spring of Almora-Binsar area, Indian central Himalaya: landscapes, practices, and management. *Water Resources*, v.33, 87–96, 2006.
- Kummu, M.; Guillaume, J. H. A.; de Moel, H.; Eisner, S.; Flörke, M.; Porkka, M.; Siebert, S.; Veldkamp, T. I. E.; Ward, P. J. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Sci Rep.*, n. 6, 2016.
- Mueller, J. M.; Lima, R. E.; Springer, A. E. Can environmental attributes influence protected area designation? A case study valuing preferences for springs in Grand Canyon National Park. *Land Use Policy*, v. 63, 196–205, 2017.
- Pinto, L. V. A.; Roma, T. N. De.; Balieiro, K. R. de C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. *CERNE*, v.18, n.3, 495–505.,2012.
- Rajaee, T.; Khani, S.; Ravansalar, M. Artificial intelligence-based single and hybrid models for prediction of water quality in rivers: A review, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 200, 2020.
- Tootoonchi, M.; Jehangir, H. B.; Lang T. A.; McCray. J. M.; Clark, M. W.; Daroub. S. H. Reducing drainage water phosphorus concentration with rice cultivation under different water management regimes. *Agricultural Water Management*, v. 205, 30-37. 2018.
- RStudio Team. RStudio. *Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.2020.
- Schaffner, M.; Bader, H. P.; Scheidegger, R. Modeling the contribution of pig farming to pollution of the Thachin River. *Clean Techn Environ Policy*, v. 12, 407–425, 2010.
- SOARES, S. E. H.; de OLIVEIRA, M.M.A.; SILVA de ALBUQUERQUE, A. L. *Tecnologia Social de Recuperação de Nascentes no estado de Alagoas*, v.6, n.1, 1828-1836, 2021.
- Stevens, L. E.; Schenk, Edward R.; Springer, A. E. Springs ecosystem classification. *Ecological Applications*, v. 31, n.1, 2021.
- Tomaszewska, B.; Bundschuh, J.; Pajak, L.; Dendys, M.; Quezada, V.D.; Bodzek, M.; Armienta, M.A.; Muñoz, M.O.; Kasztelewicz, A. Use of low-enthalpy and waste geothermal energy sources to solve arsenic problems in freshwater production in selected regions of Latin America using a process membrane distillation – research into model solutions. *Sci. Total Environ.*, v.714. 2020.
- Vorosmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Green, P.; Glidden, S.; Bunn, S.E.; Sullivan, C.A.; Liermann, C.R.; Davies P.M. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, v. 467, n.7315, 555-561, 2010.
- Wang, X.; Lu. X.; Yan B.; Yu, L.; Zhang, Z.; Zhang, L.; Zhang. X. On the water environmental capacity of Lake Songhua based on eutrophication threshold. *J Lake Sci*, v.5, 503–508, 2006.
- Wen, Y.; Schoups, G.; Giesen, N. van de. Organic pollution of rivers: combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. *Sci Rep.*, v. 23, n.7, 2017.

-
- Winsa, H.; Bergsten, U. Direct seeding of *Pinus sylvestris* using microsite preparation and invigorated seed lots of different quality. *Canadian journal of forest Research*, v. 24, n. 1, 1994.
- Xavier, M.; Das, V. S.; Quadros, H. C.; Silva, M. S. S. da. Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, 2022.
- Xiang, H.; Zhang, Y.; Richardson, J. S. Importance of Riparian Zone: Effects of Resource Availability at Land-water Interface. *Riparian Ecol. Conserv.*, v.3, 1-17. 2016.
- Yang, Q.; Liu, J.; Zhang, Y. Decoupling agricultural nonpoint source pollution from crop production: a case study of Heilongjiang Land Reclamation Area, *China Sustainability*, v.9, n. 6, 2017.
- Zahoor, I.; Mushtaq, A. Water Pollution from Agricultural Activities: A Critical Global Review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, v.23, n.1, 164-176, 2023.