

Article

Caracterização da Composição Química dos Sedimentos e a Presença de Coliformes Termotolerantes em Diferentes Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Grande

Lelisberto Baldo Vieira¹, Eliana Aparecida Panarelli², Daniela Fernanda da Silva Fuzzo³, Rodrigo Ney Millan⁴

¹ Licenciado em Biologia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Câmpus Botucatu Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Minas Gerais Unidade Frutal, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0009-0006-1860-973X. E-mail: lelisberto@hotmail.com

² Doutora em Ciências Biológicas (Área de Concentração: Zoologia) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Professora do Mestrado em Ciências Ambientais Universidade do Estado de Minas Gerais Unidade Frutal, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0000-0003-1605-6298. E-mail: eliana.panarelli@uemg.br

³ Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) Professora do Mestrado em Ciências Ambientais Universidade do Estado de Minas Gerais Unidade Frutal, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0000-0003-0442-5578. E-mail: daniela.fuzzo@uemg.br

⁴ Doutor em Microbiologia Geral pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Câmpus Jaboticabal Professor do Mestrado em Ciências Ambientais Universidade do Estado de Minas Gerais Unidade Frutal, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0000-0002-9324-7330. E-mail: rodrigo.millan@uemg.br

RESUMO

A água e os sedimentos em nascentes são influenciados por fatores naturais e antrópicos. Em áreas rurais, a atividade agropecuária exerce influência na dinâmica e estrutura dos ecossistemas de nascentes. Este estudo teve como objetivo verificar diferenças na composição química dos sedimentos e na presença de coliformes termotolerantes na água de 15 nascentes da região da Serrinha, localizadas em paisagem rural de cinco sub-bacias do Rio Grande, no Cerrado Mineiro. Foram analisadas concentrações de metais e nutrientes, além da estimativa da densidade de coliformes termotolerantes, a fim de correlacionar esses parâmetros com o uso e ocupação da terra. Os elementos chumbo, cromo, níquel e manganês não foram detectados nas amostras, dentro dos limites do equipamento utilizado. A análise de componentes principais (ACP) indicou que a sub-bacia 3 apresentou maiores concentrações de cálcio, enquanto a sub-bacia 6 se destacou pelo teor elevado de fósforo, alumínio e magnésio. A sub-bacia 2 apresentou altos níveis de potássio e ferro, enquanto as sub-bacias 1 e 4 mostraram as maiores concentrações de cobre e coliformes termotolerantes, possivelmente associadas à presença de áreas de pastagem próximas. Os valores de coliformes nestas sub-bacias sugerem influência direta da atividade pecuária, reforçando a necessidade de práticas de manejo que impeçam o contato de dejetos animais com a água das nascentes. Os resultados indicam que a dinâmica dos elementos químicos nos sedimentos está diretamente relacionada ao uso da terra na região. Esses achados reforçam a importância da preservação adequada da vegetação ciliar e do controle da poluição difusa para garantir a qualidade dos recursos hídricos.

Palavras-chave: cerrado, rios de primeira ordem; contaminação de nascentes; metais tóxicos; coliformes fecais.



Submissão: 21/02/2025



Aceite: 08/04/2025



Publicação: 05/06/2025





ABSTRACT

Natural and anthropogenic factors influence water and sediment in springs. In rural areas, agricultural and livestock activities affect the dynamics and structure of spring ecosystems. This study aimed to assess differences in the sediment chemical compositions and the presence of thermotolerant coliforms in the water of fifteen springs, in Serrinha region, located in rural landscape of the five Grande River's sub basins. Concentrations of metals and nutrients were analyzed, along with density estimates of thermotolerant coliforms, to correlate these parameters with land use and occupation. Lead, chromium, nickel, and manganese were not detected in the samples, considering the detection limits of the analytical equipment. Principal component analysis (PCA) indicated that sub-basin 3 had the highest calcium concentrations, while sub-basin 6 exhibited elevated levels of phosphorus, aluminum, and magnesium. Sub-basin 2 had high concentrations of potassium and iron, while sub-basins 1 and 4 showed the highest levels of copper and thermotolerant coliforms, which are probably associated with pasture areas around springs. The coliforms values in these sub-basins suggest a direct influence of livestock activities, emphasizing the need for management practices that prevent the animal waste contact with spring water. The results indicate that the dynamics of chemical elements in sediments are directly related to land use in the region. These findings underscore the importance of adequate preservation of riparian vegetation and controlling diffuse pollution to ensure water resource quality.

Keywords: brazilian savanna; first-order stream; spring contamination; toxic metals; fecal coliforms.

Introdução

O cerrado brasileiro é uma das maiores savanas tropicais do mundo em extensão e, como consequência de seu tamanho, torna-se uma área atrativa para os cultivos de interesse econômico (Pinto 2020). Mesmo com altos índices de alumínio e teores de cálcio e magnésio em baixa concentração natural no solo, a biodiversidade vegetal apresenta-se em altos índices nos cerrados distróficos (Haridasan 2008). Esta diversidade evidencia a importância ecológica deste bioma que é considerado um *hotspot* mundial e o mais impactado de todos os biomas brasileiros (Reis 2022). O bioma está sob intensa pressão antrópica, com conflitos de terra e altas taxas de desmatamento, que vêm aumentando desde a década de 1990 (Silva et al. 2023). A principal característica climática deste bioma são duas estações bem definidas de inverno seco e verão chuvoso. As chuvas concentradas influenciam nos eventos edáficos, lixiviando o solo e causando empobrecimento do mesmo, com influência na hidrologia (Nascimento & Novais 2020).

Seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras têm nascentes na região: a bacia Amazônica (rios Xingu, Madeira e Trombetas), a bacia do Tocantins (rios Araguaia e Tocantins), a bacia Atlântico Norte/Nordeste (rios Parnaíba e Itapecuru), a bacia do São Francisco (rios São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jequitaiá, Paracatu, Urucuaia, Carinhanha, Corrente e Grande), a bacia Atlântico Leste (Rios Pardo e Jequitinhonha) e a bacia dos Rios Paraná/Paraguai (Felfili et al. 2005).

As nascentes correspondem a pontos de afloramento do lençol freático, cujas matas ciliares desempenham papel essencial na sua preservação e estabilidade ecológica. De acordo com a Lei nº 12.651/2012 (Brasil 2012), esses ambientes naturais são responsáveis pela gênese dos cursos d'água, os quais, em estágio inicial, são classificados como de primeira ordem, considerando sua vazão e volume. Esses cursos podem confluir, dando origem a rios de ordens superiores. Tal processo evidencia a relevância da conservação das nascentes para garantir a integridade das redes hidrográficas e, por consequência, a sustentação da biodiversidade associada aos diferentes biomas (Moreira et al. 2019). Atuam também como filtros naturais das águas pluviais, promovendo sua liberação gradual à superfície da crosta terrestre (Anyanwu & Onyele 2018). Ainda, contribuem para o transporte e redistribuição de matéria orgânica nos ecossistemas aquáticos. Ademais, alterações físicas e químicas induzidas pela água proveniente das nascentes, como mudanças na turbidez e na oxigenação, atuam como importantes estímulos ecológicos à reprodução de diversas espécies de peixes (Carvalho & Uieda 2004).

Nesse contexto, destaca-se a importância do Cerrado como região estratégica para a manutenção dos sistemas hidrológicos do Brasil, dada sua posição central e sua elevada altimetria. Tal configuração geográfica favorece a ocorrência do chamado efeito “guarda-chuva”, expressão que descreve o comportamento de dispersão das águas superficiais em múltiplas direções a partir do planalto central, abastecendo diversas



bacias hidrográficas adjacentes (Souza 2019). Como consequência desse relevo peculiar e da intensa lixiviação que o acompanha, os solos do Cerrado tornam-se naturalmente pobres em nutrientes, promovendo o carreamento de sedimentos para os corpos hídricos da região. Esse processo afeta diretamente a composição física e química dos sedimentos das nascentes, interferindo na qualidade da água e nos processos ecológicos associados (Novais 2019).

Os sedimentos são parte integrante do ecossistema aquático, definidos como sólidos suspensos ou depositados, de material mineral ou orgânico, que age como componente principal de uma matriz que foi ou é suscetível ao transporte pela água (Owens 2008). Esse compartimento pode ser utilizado para monitorar o impacto ocasionado pela poluição antrópica, como a ocasionada por metais tóxicos (Alves et al. 2014).

São considerados metais tóxicos os elementos que não fazem parte do ciclo biológico dos organismos e que a presença dos mesmos interfira em qualquer reação bioquímica ou fisiológica do organismo, alguns possuindo afinidade química com o DNA, promovendo respostas cancerígenas (Garcia 2022). Os poluentes metálicos apresentam persistência, reciclagem biogeoquímica e risco ambiental, e, os sedimentos, apresentam capacidade de absorção de metais vestigiais da água e possuem associação a espécies metálicas, a depender do material geológico da bacia de drenagem (Paula-Filho et al. 2015).

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a existência de variações na composição de elementos químicos presentes nos sedimentos, bem como na concentração de coliformes termotolerantes na água, entre diferentes sub-bacias hidrográficas localizadas em uma região do Cerrado.

Material e métodos

Área de estudo

O trabalho foi realizado na região denominada Serrinha, no município de Frutal, MG, entre as latitudes 19°46'52"; 20°01'28" S e longitudes 48°49'29"; 49°08'53" O (Figura 1). A média de precipitação na região é de aproximadamente 1600 mm, com temperatura média anual de aproximadamente 24°C. Clima definido como Aw, tropical com a estação seca e fria ocorrendo no inverno, e o verão com maiores índices pluviométricos (Alvares et al. 2014). Tal clima juntamente com a estrutura geomorfológica estabelecem a configuração do Domínio Fitogeográfico e Morfoclimático do Cerrado, onde o ambiente estudado está situado.

A Serrinha compõe o divisor de bacias entre o rio Paranaíba e o rio Grande, composta por rochas areníticas da Formação Uberaba (Grupo Bauru), seguida ao sul por uma faixa da Formação Vale do Rio do Peixe (CPRM 2012). As bordas dessa formação compõem área de recarga importante para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas e seus afloramentos. Recentemente, foram contabilizadas 702 nascentes nas bacias dos principais riachos que formam a rede hidrográfica do município de Frutal: Ribeirão São Mateus, Ribeirão Marimbondo, Córrego Bebedouro, Ribeirão Frutal e Rio São Francisco (Panarelli et al. 2025). Todos esses riachos possuem as nascentes na porção sul da Serrinha, compondo sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Grande.

A proteção da Serrinha é fundamental para evitar o desmatamento, o uso incorreto dos solos e a instalação de atividades potencialmente poluidoras (Brasil, 2007), em ambiente de grande importância para a manutenção dos recursos hídricos, onde o setor agropecuário movimenta grandes recursos financeiros (IBGE 2023).

Período e pontos de coleta

A Figura 1 apresenta a área de estudo, com a identificação da cabeceira das sub-bacias do Rio Grande, onde estão inseridas as áreas de nascentes que foram estudadas. Em cinco sub-bacias hidrográficas (1, 2, 3, 4, 6), foram selecionados três trechos de rios de primeira ordem, nos quais foram coletadas 3 réplicas de sedimento



em cada trecho (Figura 1), nos períodos de seca e chuva, totalizando um número amostral de 90. A sub-bacia 5 foi descartada por dificuldade de acesso às nascentes.

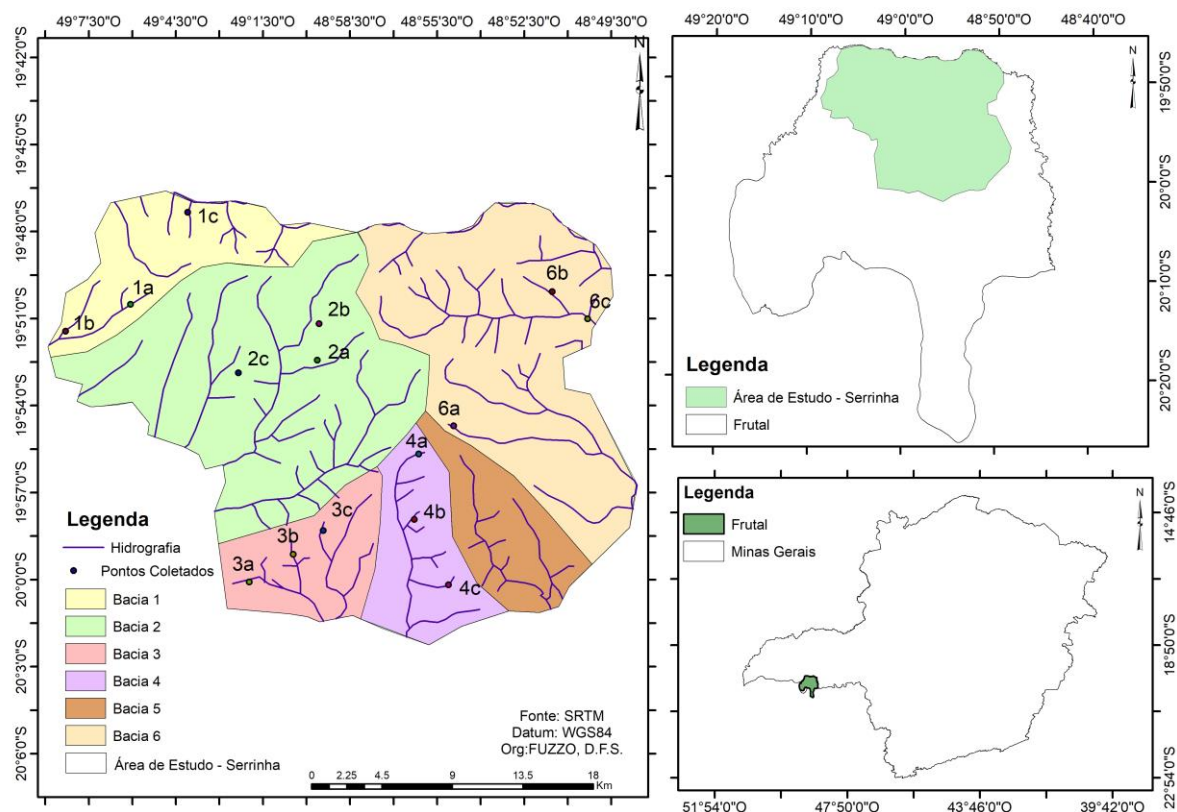


Figura 1. Localização da área de estudo inserida nas sub-bacias dos principais rios no município de Frutal: 1 – Ribeirão São Mateus; 2 – Ribeirão Marimbondo; 3 – Córrego Bebedouro; 4 – Ribeirão Frutal; 5 – Córrego São Bento da Ressaca (área marrom - não foi amostrado); 6 – São Francisco.

Organização: D.F.S. Fuzzo, 2024

A Figura 2 mostra a altimetria da região de estudo. A área da Serrinha, em Frutal (MG), apresenta altitudes entre <530 m e >660 m, as porções mais baixas, localizadas ao sul e sudoeste, concentram-se nos fundos de vale, enquanto as áreas mais elevadas, ao norte-central, correspondem a divisores de bacia. Essa variação altimétrica influencia diretamente o escoamento superficial, o uso da terra e o potencial erosivo. Áreas baixas costumam ser mais voltadas à agricultura e pastagens, enquanto áreas com altitudes maiores requerem mais cuidado com o manejo.

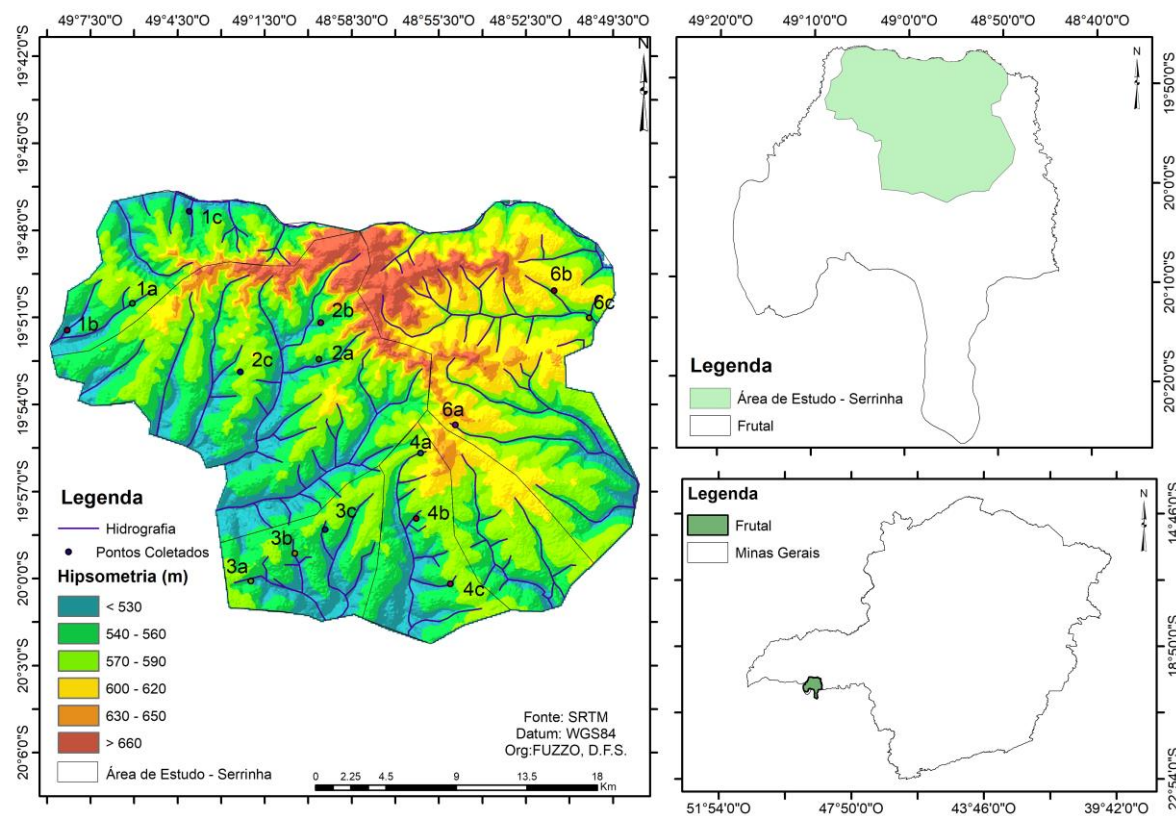


Figura 2. Altimetria da região da Serrinha e os pontos selecionados para análises. Organização: D.F.S. Fuzzo, 2024

As coletas de sedimentos foram executadas nos períodos de seca e chuva no ano de 2023. As amostras foram coletadas usando um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro. O sedimento foi armazenado em frascos plásticos devidamente identificados e levados ao freezer para congelamento até o momento dos processos laboratoriais.

Análise do sedimento

As amostras encaminhadas para as dependências do laboratório foram devidamente registradas em uma planilha de excel para obtenção de dados de rastreabilidade. Para quantificar os elementos escolhidos para este estudo os processos laboratoriais foram divididos em seis etapas: secagem, pesagem, ataque das amostras, diluições (quando necessário), leitura pelos equipamentos e digitação.

As amostras foram colocadas em estufa aquecida para secagem a uma temperatura de 45°C por 12 horas. Em seguida as amostras foram peneiradas em malha de 20 mesh, para retirada de galhos, pedras e qualquer material não desejado. A pesagem foi realizada utilizando uma balança semi-analítica para obtenção de uma alíquota de 5 g de terra fina seca em estufa (TFSE) que foram acondicionadas em frascos de polietileno de 80 mL. O próximo passo foi adicionar 50 mL da solução extratora às amostras, atingindo-se a proporção 1:10. Os frascos foram levados a uma mesa agitadora para serem misturados à 200 rpm por 5 minutos. Ao término da agitação as soluções ficaram em repouso por 16 horas. Esse processo tem a função de decantar materiais particulados da amostra para que se possa retirar uma alíquota líquida superficial do sobrenadante e encaminhá-la para leitura em equipamento adequado. Para leitura de cálcio e magnésio foi adicionado cloreto de estrôncio (SrCl_2) 0,5 mol/l para estabilização da chama do espectrofotômetro de absorção atômica (AAS). Para leitura de fósforo foi adicionado o cromóforo constituído por molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e subcarbonato de bismuto ($(\text{BiO})_2(\text{CO}_3)$).



Para leitura de chumbo, cromo, níquel, manganês, cobre, zinco, ferro, cálcio e magnésio foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin Elmer, modelo 3110. Para leitura de potássio foi utilizado um fotômetro de chama (Micronal). Para a leitura do fósforo um espectrofotômetro ultravioleta visível foi utilizado (Analytik Jena). Alumínio fora quantificado por titulação. Todas as amostras foram processadas seguindo a metodologia de extração recomendada pela EMBRAPA (2017). Para avaliação de cálcio, magnésio e alumínio fora utilizado como solução extratora de KCl 1,0 mol por litro na relação sedimento/solução de 1:10.

Para leitura do chumbo, cromo, níquel, manganês, cobre, zinco, ferro, fósforo e potássio a solução extratora foi mehlich -1 (0,05 mol L⁻¹ de HCl + 0,0125 mol L⁻¹ H₂SO₄) (Mehlich 1953) na proporção de sedimento/solução de 1:10. O elemento alumínio fora titulado com NaOH 0,025 molar e como agente indicador azul de bromotimol 1,0 molar, até a viragem de amarelo para azul.

Curvas de calibração foram montadas para cada elemento cuja leitura fora realizada em equipamentos seguindo a lei de Lambert-Beer, onde foram medidas absorbâncias de soluções padrão com concentração conhecida e posteriormente calculados a equação reduzida da reta onde $y = ax + b$. Assumiu-se curvas com r^2 superiores a 0,9800. Todas diluições foram calculadas para obtenção das concentrações reais dos elementos detectados nos sedimentos. Na tabela 1 apresenta-se os limites de quantificação de cada elemento químico analisado.

Tabela 1. Limite de quantificação dos elementos químicos analisados

Elemento	Limite de quantificação (mg L ⁻¹)
Ca	0,003
Mg	0,002
Zn	0,001
Cu	0,003
K	0,632
P	0,029
Fe	0,500
Al	0,010
Pb	0,020
Cr	0,250
Ni	0,030

Fonte: elaborada pelos autores.

Coliformes termotolerantes

A amostragem de água para determinação de coliformes termotolerantes ocorreu em frascos de vidro previamente esterilizados com volume de 500 mL. A quantificação ocorreu por meio do kit de análises Colilert, onde diluições da amostra (1 mL, 0,1 mL e 0,01 mL) foram agregadas ao meio de cultura. As amostras foram incubadas em cartelas Quanti-Tray/ 2000, por 24 horas em estufa a 35°C ± 0,5°C. Os resultados foram verificados através da leitura dos poços positivos na tabela de NMP 100 mL⁻¹ (IDEXX 2017).

Mapas de uso e ocupação da terra

Foram gerados os mapas de composição colorida RGB-432, com imagens do satélites Landsat8/Sensor Oli, disponibilizadas pela NASA, no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USG). Foi possível elaborar uma base cartográfica com o limite e rede de drenagem, obtidas das imagens SRTM (Shuttle Radar



Topography Mission) resultados da missão espacial americana (NASA E NGA), italiana (ASI) e alemã (DLR), com resolução espacial de 30 m. Os dados foram processados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) software QGIS, versão 3.16, e a delimitação da bacia foi realizada a partir do complemento Grass, onde foram criados dados *raster* de elevação das depressões, que originaram as sub-bacias. Logo, o limite da bacia foi obtido por meio da determinação do ponto de exutório (seção de controle). O arquivo resultante foi transformado em vetor para posteriores análises, do que se refere à rede de drenagem. As imagens vetoriais de limites municipais, foram obtidas por meio do *site* do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Para identificação e análise de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens do catálogo MapBiomas, disponibilizadas por meio do *site* <https://brasil.mapbiomas.org/>, gratuitamente. São mapas no formato matricial (pixel de 30x30m) baseados na coleção Landsat 5/TM e 8/OLI, dos anos de 1985 a 2023. Os dados na plataforma são classificados automaticamente e processados em nuvem para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (Moraes 2020). Assim, cada pixel das imagens é classificado, entre 27 classes de uso da terra (MAPBIOMAS 2019). Os dados foram processados pelo software QGIS 3.16, possibilitando a quantificação da análise espacial do uso da terra.

Análise estatística dos dados

Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para comparar a composição de elementos químicos dos sedimentos e coliformes termotolerantes da água entre as sub-bacias. Os dados foram padronizados para homogeneizar as variâncias (Legendre & Legendre 2012). As análises foram realizadas utilizando o software Statistica 14 (Cloud Software Group 2023).

Resultados e discussão

Os elementos chumbo, cromo, níquel e manganês não foram detectados pelo método quantitativo empregado neste trabalho o que não representa a ausência destas espécies químicas nas amostras, apenas que, se houver, não estão dentro do limite de detecção do equipamento utilizado (Tabela 1).

O primeiro plano fatorial da análise de componentes principais envolvendo as sub-bacias hidrográficas da região da Serrinha reteve 71,09% da variabilidade original dos dados (CP1 = 38,27% e CP2 = 32,82%). A sub-bacia 3 (B3) posicionou-se do lado positivo do componente principal 1, associando-se ao cálcio. Contrastando-se a este cenário, a sub-bacia 6 posicionou-se do lado negativo do componente principal 1, associando-se às variáveis fósforo total, alumínio e magnésio. A sub-bacia 2 posicionou-se do lado positivo do componente principal 2, associando-se às variáveis potássio e ferro. Contrastando a este diagnóstico, posicionaram-se do lado negativo do componente principal 2 as sub-bacias 1 e 4, que se associaram a coliformes termotolerantes e cobre (Figura 3).

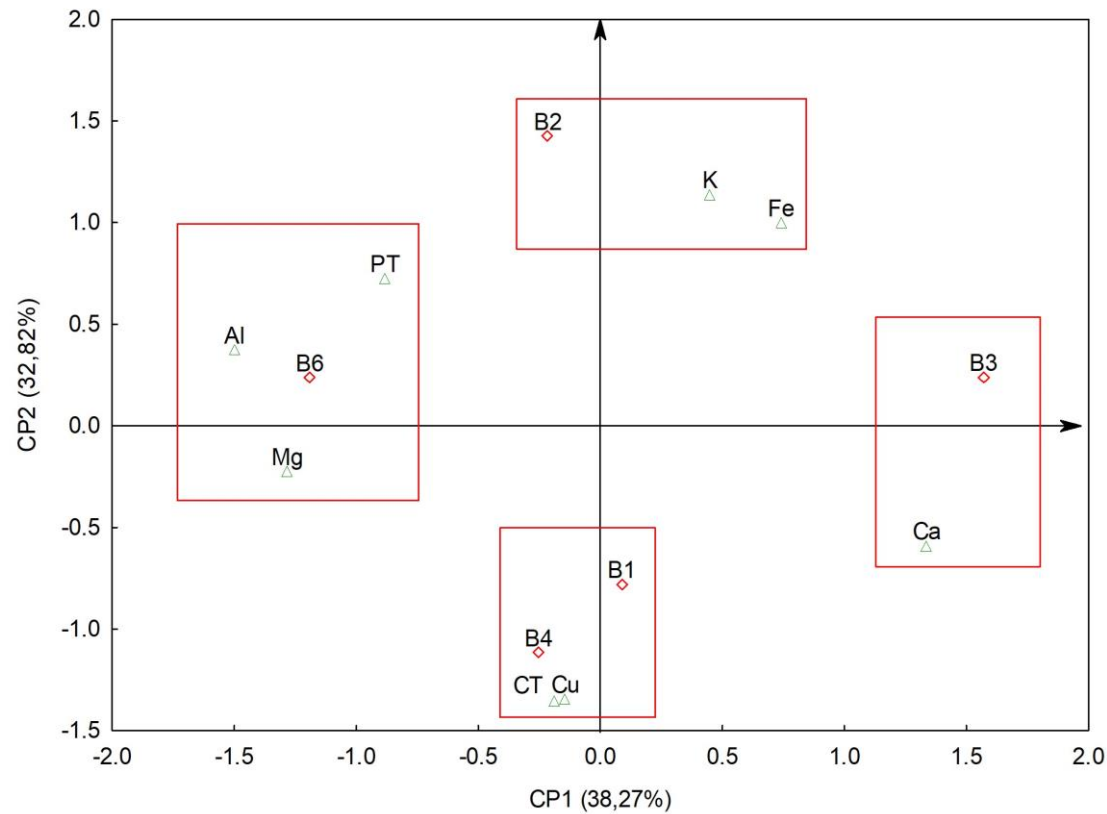


Figura 3. Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo as sub-bacias hidrográficas amostradas na região da Serrinha no município de Frutal/MG desprezando a influência dos períodos de seca e chuva, onde: B1 a B6 = sub-bacias hidrográficas; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total. Fonte: Autores (2025).

A sub-bacia 3 apresentou os maiores valores médios de cálcio ($13,3 \text{ mg L}^{-1}$) e a sub-bacia 2 os menores ($3,1 \text{ mg L}^{-1}$). A sub-bacia 6 apresentou os maiores valores médios de fósforo total ($9,0 \text{ mg L}^{-1}$), alumínio ($87,7 \text{ mg L}^{-1}$) e magnésio ($2,1 \text{ mg L}^{-1}$). A sub-bacia 2 apresentou os maiores valores médios de K ($21,1 \text{ mg L}^{-1}$) e Fe ($64,2 \text{ mg L}^{-1}$) (Tabela 2). As sub-bacias 1 e 4 apresentaram os maiores valores de coliformes termotolerantes ($515,1$ e $1312,1 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, respectivamente) e cobre ($0,09$ e $0,08 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente).

Tabela 2. Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados (mg L^{-1}) e coliformes termotolerantes (CT - $\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$) nas sub-bacias hidrográficas (B1-B6)

Sub-bacias	PT	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	CT
B1	3,9	16,1	7,0	2,1	75,5	45,5	0,09	515,1
	$\pm 3,4$	$\pm 6,7$	$\pm 6,7$	$\pm 0,9$	$\pm 20,9$	$\pm 18,5$	$\pm 0,22$	$\pm 576,9$
B2	5,9	21,1	3,1	2,2	82,4	64,2	0,05	124,9
	$\pm 5,3$	$\pm 9,0$	$\pm 9,5$	$\pm 1,0$	$\pm 17,6$	$\pm 23,2$	$\pm 0,03$	$\pm 121,3$
B3	5,3	18,4	13,3	1,3	63,6	47,0	0,05	324,0
	$\pm 5,6$	$\pm 6,3$	$\pm 14,4$	$\pm 0,9$	$\pm 18,6$	$\pm 34,2$	$\pm 0,11$	$\pm 416,5$
B4	4,7	17,6	7,9	2,3	77,0	22,4	0,08	1312,1
	$\pm 3,9$	$\pm 6,1$	$\pm 7,1$	$\pm 0,7$	$\pm 22,6$	$\pm 13,8$	$\pm 0,12$	$\pm 3415,8$
B6	9,0	15,8	4,2	2,1	87,7	18,5	0,06	356,6
	$\pm 12,8$	$\pm 5,9$	$\pm 4,9$	$\pm 1,5$	$\pm 24,8$	$\pm 14,6$	$\pm 0,02$	$\pm 581,0$

Fonte: Autores (2025).



Nas sub-bacias 1 e 4 a análise estatística indicou grande quantidade de coliformes termotolerantes, que são bactérias encontradas em material fecal de animais homeotérmicos (Brito et al. 2024). Todas as nascentes amostradas estão pelo menos parcialmente inseridas em pastagens (Figura 4; Tabela 3), sendo que duas nascentes da sub-bacia 1 possuem as condições de mata ciliar alteradas, já as nascentes da bacia 4 possuem mata ciliar relativamente preservada (conforme Antônio et al. 2023). Entretanto os valores de coliformes termotolerantes, apresentaram-se com valores alarmantes, o que indica que mesmo com a vegetação presente as nascentes não estão protegidas do acesso do gado ou do escoamento de seus dejetos. Na região, foram observadas fezes bovinas, associadas a pastagem, evidenciando que a proximidade de animais e o tipo de cobertura promovem contaminação fecal que está atingindo os pontos e que a área deveria estar protegida e inacessível à criação animal (Santos et al. 2021).

O cobre apresentou maior concentração nas sub-bacias 1 e 4, porém os valores estão abaixo do limite máximo permitido pela CONAMA 357/2005 (Brasil 2005) que é $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ para a água (não existe referência para o sedimento). Apesar de estar dentro do preconizado na legislação, nota-se que ocorre incremento de cobre nos locais associados a pastagem e cana-de-açúcar, com lixiviação de parte dos produtos agrícolas utilizado nos tratos culturais para o sistema hídrico, que estão atingindo o sedimento (Moreira et al. 2024).

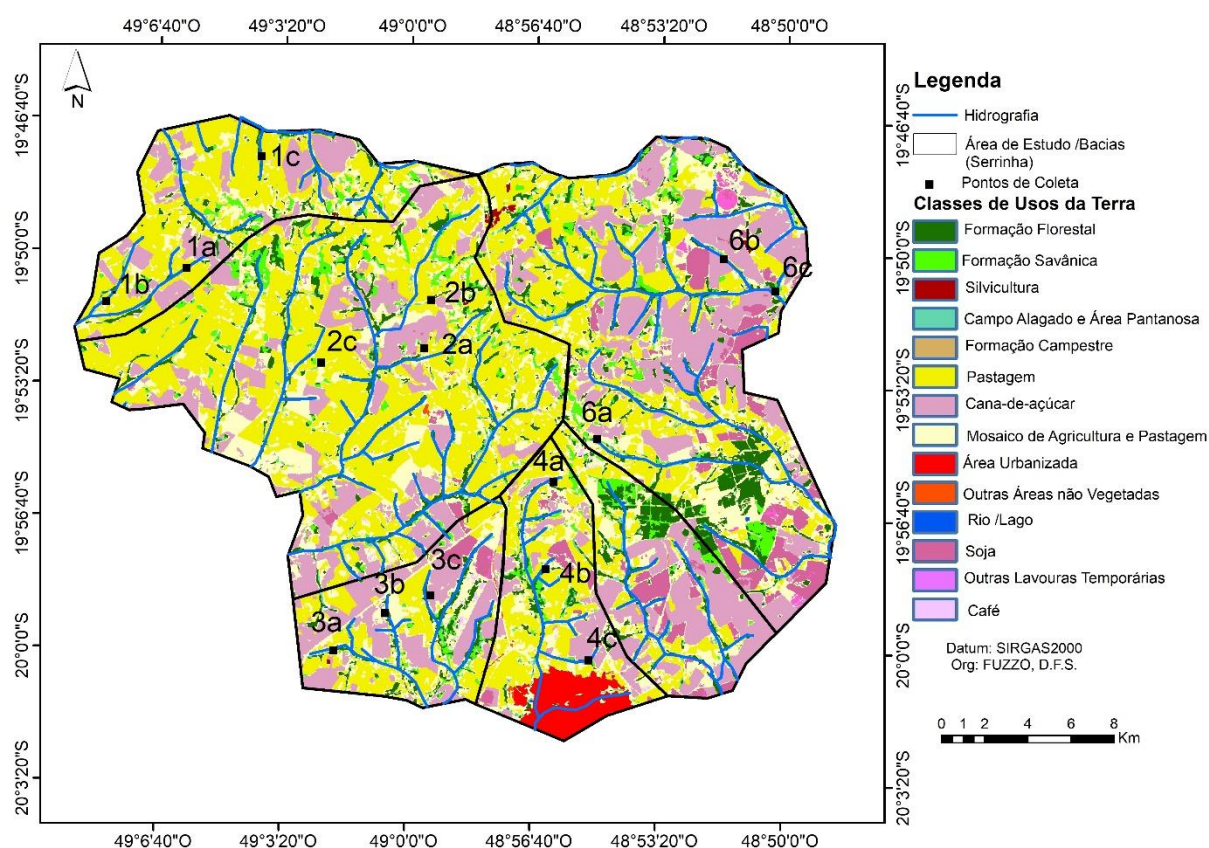


Figura 4. Uso e ocupação de terra da região da Serrinha, no município de Frutal-MG, onde: 1 = sub-bacia do Ribeirão São Mateus; 2 = Ribeirão Marimbondo; 3 = Córrego São José do Bebedouro; 4= Ribeirão Frutal; 6 = Rio São Francisco. Organização: D.F.S. Fuzzo, 2024.



Tabela 3. Associação entre os resultados da ACP com o uso e ocupação da terra preponderante em cada sub-bacia

Sub-bacia	Parâmetro agrupado pela ACP	Ambiente alóctone
B1	Coliformes termotolerantes e cobre	Pastagem
B2	Potássio e Ferro	B2A e B2B: Pastagem e cana-de-açúcar B2C: Pastagem
B3	Cálcio	Pastagem e cana-de-açúcar
B4	Coliformes termotolerantes e cobre	B4A: Pastagem e cana-de-açúcar B4B: Pastagem B4C: Pastagem e cana-de-açúcar
B6	Alumínio, magnésio e fósforo total	B6A: Pastagem B6B: cana-de-açúcar B6C: Pastagem e cana-de-açúcar

Fonte: Autores (2025).

Na sub-bacia 2 potássio e ferro foram encontrados em maior quantidade. Nesta sub-bacia, prevaleceram pastagem e cana-de-açúcar, com uma rede de drenagem bem distribuída (Figura 4; Tabela 3). Potássio é um nutriente importante para adubação de cobertura em pastagem (Nascimento 2024). A mobilidade do potássio no solo é alta sendo facilmente lixiviado pelas chuvas (Medeiros et al. 2021), o que pode explicar a presença deste elemento no sedimento das nascentes, em especial na sub-bacia 2. Ferro é um elemento de grande abundância nos solos do cerrado e apresenta pouca mobilidade no solo e sedimento, estando presente até mesmo em solos agricultáveis deste bioma (Botrel et al. 2020).

Na sub-bacia 3, observa-se a presença de pastagem e cana-de-açúcar (Figura 4), associada ao elemento cálcio (Tabela 3), que está mais presente. Nota-se também reduzida quantidade de alumínio. Desta forma, tais concentrações podem ser associadas à atividade de calagem para o preparo do solo, visando o cultivo da cana-de-açúcar. Solos do cerrado se caracterizam por possuírem altas concentrações de alumínio, por isto a correção anual se faz necessária para que nutrientes sejam disponibilizados para as plantas em áreas cultiváveis.

A sub-bacia 6 está associada à cultura de cana-de-açúcar, pastagem e formação florestal (Figura 4; Tabela 3) e os elementos fósforo, alumínio e magnésio apresentaram-se associados a essa bacia. A presença do alumínio demonstra que o sedimento está caracterizado de acordo com o bioma. Magnésio e fósforo são elementos encontrados em fertilizantes agrícolas, o macronutriente magnésio pode ser aplicado via solo através do processo de calagem ou via foliar. O calcário agrícola tem poder de neutralização do alumínio, logo, pode-se inferir que o magnésio fora aplicado via foliar, uma vez que o alumínio se apresentou em altas concentrações. A adubação fosfatada se faz necessária para o crescimento primário da cana-de-açúcar, sendo este elemento disponibilizado na adubação de solo (Garcia & Mendes 2022).

Diante desses resultados, fica evidente que a composição química dos sedimentos e a presença de coliformes termotolerantes estão diretamente relacionadas ao uso e manejo do solo nas sub-bacias estudadas. As variações observadas refletem tanto as características naturais dos solos do Cerrado quanto os impactos das atividades agropecuárias, evidenciando a influência da calagem, da adubação e da contaminação por resíduos orgânicos na qualidade ambiental das nascentes.



Conclusão

A distribuição dos elementos químicos analisados variou entre sub-bacias indicando influência do uso e a ocupação da terra. A associação entre o cálcio e a sub-bacia 3, deve estar relacionada com a calagem para cultivo de cana-de-açúcar, enquanto a presença expressiva de fósforo, alumínio e magnésio na sub-bacia 6, indica a aplicação de fertilizantes. Tais observações demonstram a influência de práticas agrícolas sobre a qualidade ambiental das nascentes.

Os elevados valores de coliformes termotolerantes nas sub-bacias 1 e 4, associados às áreas de pastagem, ressaltam a necessidade de estratégias de conservação ambiental para evitar a contaminação dos recursos hídricos. Além disso, o incremento de cobre, ainda que abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, indica a possível contribuição da lixiviação de insumos agrícolas para os sedimentos analisados.

Diante disso, torna-se essencial a implementação de práticas sustentáveis de manejo do solo e de conservação das nascentes, com especial atenção para o controle da contaminação fecal e a mitigação dos impactos dos insumos agrícolas. A recuperação da vegetação ciliar, o impedimento do acesso do gado para dessedentação nas nascentes e o monitoramento contínuo da qualidade dos sedimentos são medidas fundamentais para garantir a integridade ecológica e a disponibilidade hídrica na região.

Agradecimentos

A FAPEMIG processo APQ – 00420-21

Referências

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G 2023. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6):711-728.
- Alves RIS, Sampaio CF, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL, Segura-Muñoz SI 2014. Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. *Environmental Research* 133:149-155.
- Anyanwu ED, Onyele OG 2018. Occurrence and concentration of heavy metals in a rural spring in South-Eastern Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 22:1473–1478.
- Botrel N, Freitas S, Fonseca MJO, Melo RAC, Madeira N 2020. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no Bioma Cerrado. *Brazilian Journal of Food Technology* 23:e2018174.
- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salinas e salobras do território nacional e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, 17 de março de 2005.
- Brasil. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 03 mai 2024.



Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, DF: MMA, 2007.

Brito LM, Santos ECL, Silva ALS, López AMQ, Silva ACC, Melo JG 2024. Qualidade físico-química e microbiológica da água de nascentes da bacia hidrográfica do Rio Coruripe, Alagoas-Brasil. *Interfaces Científicas – Saúde e Ambiente* 9(3):53-67.

Carvalho EMD, Uieda VS 2004. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21:287-293.

Cloud Software Group, INC. *Statistica*. Data Science Workbench, version 14. 2023 <http://tibco.com>.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru–Caiuá no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte/MG, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2012.

Souza CLF, Oliveira RB, Mustafé DN, Nunes KAC, Moraes EMB 2019. O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. *Revista Cerrados (Unimontes)* 17(1):86-113.

Embrapa. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

Felfili JM, Sousa-Silva JC, Scariot A 2005. Biodiversidade, ecologia e conservação do cerrado: avanços no conhecimento. In Scariot A., Sousa-Silva JC, Felfili JM. *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. p. 61-72.

Garcia CAB, Santos MS, Bellin IC, Santos EAO, Costa SSL, Garcia HL 2022. Determinação de metais em alimentos vegetais produzidos nos perímetros irrigados Jacarecica I e Açude Macela em Sergipe. *Research, Society and Development* 11(16):e559111638736.

Haridasan M 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Journal of Plant Physiology* 20(3): 183-195.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *IBGE Cidades: Frutal*. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/pesquisa/14/10193?ano=2022>. Acesso em: 27 nov. 2023.

IDEXX. Laboratories, Inc., *One IDEXX Drive*, Westbrook, Maine 04092 USA idexx.com/water. 2017. Disponível em: <https://www.idexx.es/files/colilert-procedure-en.pdf>.

Legendre P, Legendre L. *Numerical ecology*. 3. Ed, Amsterdam, Elsevier Science, 2012.

MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomass – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra no Brasil*.

Medeiro MLS, Demartelaere ACF, Pereira MD, Pádua GVG 2019. Adequação do teste de lixiviação de potássio em sementes de Moringa oleifera. *Ciência Florestal* 29(2):941-949.

Mehlich A. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄*. Raleigh, North Carolina Soil Testing Division, 1953. 195 p.



Moraes RA 2020. Análise das mudanças do uso e da cobertura da terra em municípios com áreas de mineração na microrregião de Itabira, a partir de dados do MAPBIOMAS entre 1987 e 2017. *Revista Engenharia de Interesse Social* 5(6):77-96.

Moreira EA, Souza TS, Domingo SS, Siqueira APS 2019. Protocolo de recuperação de nascentes no bioma cerrado. *Informe Goiano* 7(4): 1-4.

Moreira GN, Biscalquini AC, Gonçalves IAV, Silva ER, Senhuk APMS, Anhê ACBM 2024. Uso de macroinvertebrados bentônicos para análise integrada da sub-bacia do Ribeirão Conquitinha, afluente do Rio Grande (MG, Brasil). *Scientia Plena* 20(2):022401.

Nascimento DTF, Novais GT 2020. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. *Élisée - Revista de Geografia da UEG* 9(2):922021.

Nascimento DBD, Lopes MLS, Izidro JLPS, Bezerra RCA, Gois GC, Amaral TNE, Dias WS, Barros MML, Oliveira ARS, Farias-Sobrinho JL, Coêlho JJ 2024. Ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio em ecossistemas de pastagem. *Ciência Animal Brasileira*, 25:e-76743.

Novais GT 2019. *Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, 184pp.

Owens P 2008. *Sediment Management at the River Basin Scale. In: Sustainable Management of Sediment Resources*. Vol. 4, Elsevier Science, UK, 280 pp.

Paula-Filho FJ, Marins RV, Lacerda LD, Aguiar JE, Peres TF 2015. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 91:424-428.

Pinto MN, Lira RA, Meira-Neto JÁ 2020. Ecologia funcional: Relação do gradiente pedológico e abundância de espécies lenhosas do Cerrado Brasileiro. *Biota Amazônia* 10(1):6-10.

Reis LBS, Mesquita MN, De-Carvalho PS, Miranda SC 2022. Atributos funcionais de espécies vegetais do Cerrado—importância, aspectos metodológicos e ecológicos. *Enciclopédia Biosfera* 19(40):76-92.

Santos EO, Schwantz PI, Bohrer REG, Prestes MMB, Lara DM, 2021. Análise ambiental de nascentes do bairro Fontes no município de Soledade (RS), Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 14:2e8771.

Silva SC, Medeiros LS, Neto, MFB, Silva MJ, Ramos, TPA, Lima FCT, Lima SMQ 2023. Ichthyofauna of the Nascentes do Rio Parnaíba National Park: watershed divide in the main agricultural encroachment area in the Brazilian Cerrado. *Biota Neotropica* 23(1):e20221414.