

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS  
UNIDADE FRUTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS

**Caracterização da composição química dos sedimentos nas  
nascentes de Frutal - MG**

**Lelisberto Baldo Vieira**  
Licenciatura em Ciências Biológicas

**Frutal-MG**  
**2025**

**Lelisberto Baldo Vieira**

**CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA NAS  
NASCENTES DE FRUTAL- MG**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Dr. Rodrigo Ney Millan

Coorientadora  
Dra. Eliana Aparecida Panarelli

**Frutal-MG  
2025**

V665c	Vieira, Lelisberto Baldo Caraterização da Composição Química dos Sedimentos nas Nascentes de Frutal - MG - / Lelisberto Baldo Vieira. - Frutal. 2025. 49 f. : il. color., fig., tab., gráf., map.
	Orientador: Dr. Rodrigo Ney Millan. Co-Orientadora. Dra Eliana Aparecida Paarelli
	Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG. Unidade Frutal, 2025.
	1. Caracterização química 2. Influência antrópica. 3. Metais tóxicos. 4. Rios de primeira ordem. 5. Sedimento. I. Millan, Rodrigo Ney. II. Panarelli, Eliana Aparecida. III. Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade Frutal. IV. Título.
	CDD: 551.48

Catalogação na fonte

Bibliotecária. Nereida Nanci Pimenta dos Santos – CRB-6/4379/O



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ata

LELISBERTO BALDO VIEIRA

**"CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS NAS NASCENTES DE FRUTAL-MG"**

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Diagnóstico e Ecologia Ambiental a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 27 de março 2025

**Profº. Drº. Vera Lucia da Silva Farias - UEMG -Frutal -MG****Profº. Drº Alan Rodrigues Teixeira Machado -UEMG - João Monlevade-MG****PROF. DR. RODRIGO NEY MILLAN****UEMG FRUTAL/ORIENTADOR**

Documento assinado eletronicamente por **Alan Rodrigues Teixeira Machado, Professor de Educação Superior**, em 27/03/2025, às 18:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Ney Millan, Professor de Educação Superior**, em 28/03/2025, às 07:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vera Lúcia da Silva Farias, Professora de Educação Superior**, em 28/03/2025, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.mg.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **110383326** e o código CRC **D9857EF2**.

**Referência:** Processo nº 2350.01.0007712/2024-40

SEI nº 110383326

## **Agradecimentos**

Muito obrigado ao meu pai Lelis e a minha mamãe Rosaura, pelo incentivo desde criança em estudar e buscar novos conhecimentos.

Agradeço de forma incomensurável a paciência, atenção e contribuição para minha formação como mestre o meu orientador Dr. Rodrigo Ney Millan que cumpriu de forma exímia seu papel desde o dia em que aceitou que eu fosse seu orientando, desde a coleta em campo a escrever essa monografia. Devo grande parte das informações que carregarei em minha jornada profissional ao obséquio do Dr. Rodrigo em compartilhar seus conhecimentos.

Muito obrigado à UEMG - Frutal, instituição na qual tenho muito orgulho de ter escolhido para aperfeiçoar meus conhecimentos e obter o título de mestre em Ciências Ambientais.

Gratidão a todos professores e servidores que trabalham e lutam para fazer dessa instituição um lugar cada vez mais completo e em constante crescimento. Esse agradecimento está sendo feito por um cidadão frutalense que acompanha os passos e o progresso desde o início e que se orgulha do desenvolvimento dessa instituição que foi muito acolhedora. Nada disso seria possível sem que professores e servidores cumprissem seu papel com excelência.

Sou muito grato à minha coorientadora Dra. Eliana Aparecida Panarelli, pelos puxões de orelha e ensinamentos durante minha jornada acadêmica. Aprendi muito convivendo com essa profissional extremamente competente.

Aos colegas que conheci graças ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e que carregarei para vida como amigos, muito obrigado! Vocês serviram de incentivo e motivação para continuar.

A FAPEMIG (Processo APQ – 00420-21) pelo financiamento do trabalho e por incentivar a ciência mineira.

## RESUMO

A preservação das nascentes no bioma Cerrado é fundamental para garantir a qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade dos ecossistemas locais. Atividades antrópicas podem impactar diretamente a composição química dos sedimentos e a qualidade da água. Neste contexto, compreender esses impactos é essencial para o manejo ambiental e a conservação dos corpos d'água. Este trabalho avaliou a composição química dos sedimentos das nascentes na região da Serrinha, município de Frutal – MG. Foram analisados os seguintes elementos químicos: alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês, níquel, chumbo e cromo. Os metais tóxicos níquel, chumbo e cromo não foram detectados. As coletas foram realizadas em cinco sub-bacias, sendo que em cada sub-bacia foram amostrados três pontos, com três subamostras em cada ponto, totalizando nove subamostras por sub-bacia. As coletas ocorreram em 2023, nos períodos de chuva e de seca. Foram testadas três hipóteses: a primeira avaliou a existência de diferenças entre as sub-bacias; a segunda, a variação na composição química dos sedimentos entre os pontos amostrais de cada sub-bacia; e a terceira, as diferenças compostionais entre os períodos de seca e chuva. Todas as hipóteses foram analisadas considerando o uso e ocupação do solo, para verificar a influência da paisagem antrópica sobre os pontos amostrais. Verificou-se diferenças entre as sub-bacias, destacando-se a B3, associada ao cálcio, e a B6, relacionada ao fósforo, alumínio e magnésio. As sub-bacias 1 e 4 apresentaram elevados níveis de coliformes termotolerantes e cobre, vinculados ao uso de pastagem. A B2 mostrou concentrações elevadas de potássio e ferro, possivelmente decorrentes de práticas de adubação em áreas de pastagem e florestas. Já a B6 esteve associada ao magnésio e fósforo, com predominância de cultivo de cana-de-açúcar. Os resultados indicaram diferenças compostionais marcantes entre os pontos das sub-bacias analisadas, refletindo a influência das atividades antrópicas. Áreas com maior presença de pastagens e monoculturas apresentaram maiores concentrações de cálcio, potássio e coliformes termotolerantes. Em contrapartida, pontos com maior cobertura florestal exibiram níveis elevados de alumínio, característico dos solos do Cerrado. Diferenças também foram observadas entre os períodos seco e chuvoso: no período seco, destacou-se a maior concentração de alumínio, potássio e ferro; enquanto no período chuvoso, houve aumento dos níveis de magnésio, fósforo, cobre, cálcio e coliformes termotolerantes, resultado do transporte por escoamento superficial. Assim, sazonalidade exerce influência significativa sobre a dinâmica química e microbiológica nas nascentes do Cerrado, reforçando a necessidade de estratégias específicas para a conservação e manejo sustentável dessas áreas sensíveis.

**Palavras-chave:** Caracterização química. Influência antrópica. Metais tóxicos. Rios de primeira ordem. Sedimento.

# CHARACTERIZATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION IN THE SPRINGS OF FRUTAL- MG

## ABSTRACT

The preservation of springs in the Cerrado biome is essential to guarantee the quality of water resources and the sustainability of local ecosystems. Anthropogenic activities can directly impact the chemical composition of sediments and water quality. In this context, understanding these impacts is essential for environmental management and conservation of water bodies. This study evaluated the chemical composition of sediments from springs in the Serrinha region, in the municipality of Frutal - MG. The following chemical elements were analyzed: aluminum, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, manganese, nickel, lead and chromium. The toxic metals nickel, lead and chromium were not detected. Collections were carried out in five sub-basins, with three points being sampled in each sub-basin, with three subsamples at each point, totaling nine subsamples per sub-basin. Collections took place in 2023, during the rainy and dry seasons. Three hypotheses were tested: the first evaluated the existence of differences between the sub-basins; the second, the variation in the chemical composition of the sediments between the sampling points of each sub-basin; and the third, the compositional differences between the dry and rainy periods. Three hypotheses were tested: the first evaluated the existence of differences between sub-basins; the second, the variation in the chemical composition of sediments between sampling points in each sub-basin; and the third, the compositional differences between dry and rainy periods. All hypotheses were analyzed considering land use and occupation, to verify the influence of the anthropic landscape on the sampling points. Differences were observed between sub-basins, with emphasis on B3, associated with calcium, and B6, related to phosphorus, aluminum and magnesium. Sub-basins 1 and 4 presented high levels of thermotolerant coliforms and copper, linked to pasture use. B2 showed high concentrations of potassium and iron, possibly resulting from fertilization practices in pasture and forest areas. B6 was associated with magnesium and phosphorus, with a predominance of sugarcane cultivation. The results indicated marked compositional differences between the points of the sub-basins analyzed, reflecting the influence of human activities. Areas with greater presence of pastures and monocultures presented higher concentrations of calcium, potassium and thermotolerant coliforms. In contrast, points with greater forest cover exhibited high levels of aluminum, characteristic of Cerrado soils. Differences were also observed between the dry and rainy seasons: in the dry season, there was a higher concentration of aluminum, potassium and iron; while in the rainy season, there was an increase in the levels of magnesium, phosphorus, copper, calcium and thermotolerant coliforms, resulting from transport by surface runoff. Thus, seasonality exerts a significant influence on the chemical and microbiological dynamics in the Cerrado springs, reinforcing the need for specific strategies for the conservation and sustainable management of these sensitive areas.

**Keywords:** Chemical characterization. Anthropogenic influence. Heavy metals. First-order rivers. Sediment.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1    Objetivo geral .....	9
2.2    Objetivos específicos.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
3.1    O cerrado e nascentes presentes .....	10
3.2    Processos de formação de sedimentos.....	11
3.3    Metais tóxicos nos sedimentos .....	12
4. Procedimentos metodológicos.....	14
4.1    Área de estudo .....	14
4.2    Período e pontos de coleta.....	14
4.3    Análise do sedimento .....	16
4.4    Coliformes termotolerantes .....	18
4.5    Mapas de uso e ocupação da terra .....	18
4.6    Análise estatística dos dados .....	19
5. Resultados e discussão .....	20
5.1    Comparação entre sub-bacias .....	20
5.2    Comparação dentro das sub-bacias.....	24
5.3    Comparação entre períodos de seca e chuva .....	39
6. CONCLUSÃO .....	42
REFERÊNCIAS .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos são parte integrante do ecossistema aquático, definidos como sólidos suspensos ou depositados, de material mineral ou orgânico, que atuam como componente principal de uma matriz que foi ou é suscetível ao transporte pela água (Owens, 2008). Os sedimentos são de suma importância nos processos de assimilação, transporte e deposição de contaminantes, além de se constituírem como habitat e fonte de nutrientes direta para uma grande variedade de organismos e, indiretamente, para organismos de níveis tróficos mais elevados na cadeia alimentar (Saraiva, 2009).

Recentemente, maior ênfase tem sido dada para avaliações *in situ* observando possíveis contaminações dos sedimentos por metais tóxicos em ambientes aquáticos (Castro; Guilhermino; Ribeiro, 2003). Segundo Santiago e Cunha-Santino (2014) concentrações elevadas de cádmio, chumbo e cromo podem ocasionar impacto na diversidade biótica de um sistema aquático. Os elementos a serem avaliados foram escolhidos para caracterizar os sedimentos das nascentes do cerrado e observar se há a presença de interferência antrópica, já que os solos próximos aos pontos amostrais abriga diferentes culturas, como: soja, cana-de-açúcar e abacaxi. As concentrações de metais nos sedimentos representam uma ameaça potencial, uma vez que a maioria dos poluentes metálicos possui alta persistência, bioacumulam e biomagnificam ao longo da rede alimentar (Gomes *et al.*, 2023).

A pluviosidade, associada a sazonalidade, é apontada como um dos fatores estruturantes de comunidades aquáticas (Takemoto; Kanamaru; Feng, 2014), sendo reconhecido que a perturbação do sedimento pode interferir nos habitats, assim como descrito por (Carvalho; Uieda, 2004). Uma vez que alterações físicas ocasionadas por chuvas afetam a diversidade biótica presente no sedimento este trabalho visa observar e caracterizar elementos químicos presentes nos sedimentos de rios de primeira ordem para analisar se quimicamente estão impactados, comparando períodos de estiagem com períodos chuvosos, assim obtendo a assinatura química das nascentes e avaliando a possível ação antrópica alóctone, como adubação e calagem de solos agricultáveis próximos aos pontos de coleta, ou descarte de lixo composto por metais pesados, como chumbo presente em baterias e gasolina antiga ou cromo presente em tintas.

O trabalho também associará o impacto do uso e ocupação da terra com a quantidade de coliformes termotolerantes na água, uma vez que a presença desses microorganismos indica a presença de fezes bovinas e cobre, uma vez que em sua alimentação o cobre se faz presente.

Este projeto é parte de uma pesquisa que está sendo financiada pela FAPEMIG, em um edital universal (01/2021), processo APQ-00420-21. O projeto original se intitula “Área de proteção ambiental da serrinha: invertebrados terrestres e aquáticos como indicadores em nascentes do cerrado”. O trabalho que aqui será desenvolvido visa o monitoramento de elementos químicos no sedimento dos córregos que abastecem a cidade de Frutal/MG, enfocando os seguintes compostos: alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, zinco, cobre, manganês, níquel, chumbo e cromo.

Este trabalho apresenta três hipóteses a serem testadas: 1- Ocorre diferença na composição de elementos químicos e coliformes termotolerantes entre as sub-bacias hidrográficas. 2- Dentro de uma mesma sub-bacia, os pontos apresentam comportamentos diferentes quanto à composição química e microbiológica; 3- Os períodos de seca e chuva interferem na composição química e microbiológica das sub-bacias hidrográficas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1      Objetivo geral**

Quantificar espécies químicas encontradas nos sedimentos das nascentes e coliformes termotolerantes da água, na região da serrinha, Frutal – MG, nos períodos de seca e chuva.

### **2.2      Objetivos específicos**

- Quantificar os seguintes elementos químicos nos sedimentos amostrados: alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês, níquel, chumbo e cromo;
- Analisar a influência do uso e ocupação da terra nas espécies químicas encontradas nos sedimentos;
- Quantificar coliformes termotolerantes na água das nascentes;
- Comparar o comportamento dos elementos químicos e da microbiologia nos períodos de seca e chuva.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O cerrado e nascentes presentes

Segundo Pinto, Lima e Meira Neto (2020), o cerrado brasileiro apresenta uma das maiores savanas tropicais no mundo em extensão e, como consequência de seu tamanho, torna-se uma área atrativa para os cultivos de interesse econômico. Mesmo com altos índices de alumínio e teores de cálcio e magnésio apresentados 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 cerrado tem passado por várias alterações nos últimos anos (Sano *et al.*, 2020). Sua dimensão e localização permite que várias intempéries atuem sobre este bioma de proporção continental, ocupando aproximadamente 2 milhões de metros quadrados em território brasileiro. Apresenta uma grande amplitude topográfica, variando de 240 metros de altitude nas regiões litorâneas no estado do Maranhão à 1.891 metros nas chapadas encontradas no estado de Goiás. Por receber influências de massas de ar equatorial, tropical e polar a sazonalidade se torna notável, com isto, o espaço físico se torna berço de um complexo ecossistema (Nascimento; Novais, 2020). A principal característica climática deste bioma é 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).

A produção agrícola no cerrado se tornou maior após trabalhos publicados por Ana Maria Primavesi que estudou as formas de manter a biologia do solo (Primavesi, 2016) para o cultivo de plantas perenes como soja e milho. Os avanços em biotecnologia também contribuíram para instalação destas culturas que hoje possuem grande importância econômica, por ser uma *commoditie* de extrema importância para o PIB brasileiro. Outra cultura que expandiu no bioma cerrado é a cana-de-açúcar, iniciada nos anos 80 quando o governo federal incentivou o uso de etanol como combustível durante a crise do petróleo (Oliveira *et al.*, 2020). Dois foram os interesses que levaram a produção de cana-de-açúcar, o primeiro é fornecer matéria prima para produção de álcool, um combustível de fonte renovável. Segundo, pode ser produzido açúcar para comercialização, um produto alimentício, assim a destinação do processamento da cana-de-açúcar pode ser escolhida conforme o valor de mercado, hoje o Brasil está entre os maiores produtores de açúcar do mundo (Oliveira *et al.*, 2020).

As nascentes são afloramentos do lençol freático onde matas de galeria ao redor fazem-se necessárias para manutenção e permanência destes locais, descrito na Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012 (Brasil, 2012) que são responsáveis pela formação de cursos d'água, que, de início são considerados de primeira ordem devido a sua vazão e volume, mas que podem confluir em rios de maior ordem, assim tornando-se extremamente importante sua conservação e manutenção, dando sequência a uma cascata de cursos d'água que formam as bacias hidrográficas, que funcionam como base para existência da diversidade biológica do bioma (Moreira *et al.*, 2019).

Nascentes são pontos de extrema importância para ciclo da água, além de funcionarem como filtros das águas da chuva, são responsáveis por expô-la para a superfície da crosta terrestre, assim, permitindo a continuidade do ciclo hídrico (Anyanwu; Onyele, 2018). Também são responsáveis pelo arraste e fluxo de matéria orgânica nos sistemas aquáticos; as modificações físico-químicas da água, como turbidez, e oxigenação são gatilhos ambientais para reprodução de inúmeras espécies de peixes (Carvalho; Uieda, 2004). Apresentam importância para recursos agrícolas e agroecológicos, visto que muitas culturas exigem irrigação em períodos em que não há chuva (Pereira, 2012), com isso é reforçada a importância de sua conservação, pois, sua importância não é somente ecossistêmica, mas também econômica (Pereira, 2012). A conservação das nascentes também significa qualidade de vida para pequenos produtores, principalmente os que praticam agricultura familiar (Crispim; Malysz, 2012).

Alguns rios do cerrado são efluentes de nascentes e possuem grande potencial de geração de energia hidroelétrica (Bandeira *et al.*, 2019) isso adiciona outra importância econômica das nascentes, visto que, a geração de eletricidade por hidroelétricas são as fontes de energia mais abundantes do Brasil e pelas características do bioma cerrado se faz como sendo a única (Bandeira *et al.*, 2019).

### **3.2 Processos de formação de sedimentos**

O Cerrado atual teve sua origem no cretáceo, período em que a Terra passava por grande atividade vulcânica incluindo os supervulcões, esta é a principal explicação para a alta concentração de alumínio e ferro no solo desse bioma, já que estes são elementos abundantes na composição do magma. Graças a formação geológica e topografia o cerrado se tornou uma importante fonte de abastecimento das bacias brasileiras sendo responsável por seis das oito maiores bacias, com águas provenientes de nascentes (Chaves, 2011).

O efeito “guarda-chuva” é o termo utilizado para designar o comportamento da distribuição das águas para as bacias adjacentes abastecidas pelo cerrado, por se localizar na região central e possuir topografias altas as águas são distribuídas de forma a parecer um guarda-chuva dispersando água (Souza *et al.*, 2019). Com esta topografia e com este fenômeno de lixiviação os solos do cerrado são pobres em nutrientes e arrastam sedimentos para os corpos hídricos influenciando na composição química e física dos sedimentos (Novais, 2019).

### 3.3 Metais tóxicos nos sedimentos

Os sedimentos podem ser utilizados 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 *et al.*, 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).

Sedimentos desempenham um papel fundamental nos ecossistemas aquáticos. Este compartimento tem sido utilizado para evidenciar o impacto de atividades antrópicas, como poluição por esgoto doméstico e defensivos agrícolas, nos sistemas hídricos. A poluição dos sedimentos está associada à eventos de degradação de ambientes aquáticos (Benchamin, Raghavan; Sajidevi, 2024). Habitat de organismos bentônicos, e acumulador de elementos tóxicos, os sedimentos podem proporcionar efeito de bioacumulação ao longo de uma teia trófica, podendo os metais interagirem com o material genético dos organismos, podendo ocasionar mutações genéticas (Paiva, 2021).

Em termos de biomassa aquática o sedimento de sistemas aquáticos funciona como matriz de fornecimento nutricional, assim, quando metais estão presentes no meio, persistem em permanecer em um ciclo, uma vez que, toda biomassa e fitomassa se transformará em necromassa. A mobilidade e aporte dos metais neste compartimento são influenciados por fatores geológicos como relevo, fatores hidrológicos como cheias e vazão e fatores biológicos como fezes de animais com metais. O estado molecular do metal também influencia em sua dinâmica (Cavalcante; Santos, 2021). Assim, a avaliação deste compartimento tem sido importante para entender os impactos ambientais, como as lixiviações que carreiam poluentes

ao sistema hídrico e que serão adsorvidos na matriz sólida de seu leito (Cavalcante; Santos, 2021).

Os elementos cromo, chumbo e níquel são considerados metais que tem alto potencial de toxicidade. O chumbo, pode ser incorporado ao ambiente, quando ocorre descarte inadequado de chapas de aço, soldas eletrônicas e munição. Porém, a indústria que mais podemos encontrar chumbo é para fabricação de baterias automotivas e um estudo realizado por Faria (2020) encontrou valores 10 vezes acima do aceitado pela legislação no sangue e urinas de 236 trabalhadores de uma fábrica e baterias. Níquel e cromo são elementos encontrados em aparelhos eletrônicos e em tintas automotivas.

Devido ao comportamento descrito no item anterior sobre o abastecimento das bacias hidrográficas do cerrado, metais tóxicos podem ser arrastados para as nascentes, e para regulamentar isto existe a resolução CONAMA nº 274/2000 (Brasil, 2000).

Diante do exposto, o monitoramento dos metais tóxicos nos sedimentos e a proteção para que não fiquem contaminados, é fundamental para a preservação de um bom estado ecológico do ecossistema, uma vez que os sedimentos contaminados podem afetar a vida aquática (Rodrigues *et al.*, 2018).

## 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na região denominada Serrinha, no município de Frutal, MG, localizada entre as latitudes 19°46'52"; 20°01'28" S e longitudes 48°49'29"; 49°08'53" O (Figura 1). O município está inserido na região noroeste do Estado de Minas Gerais e possui uma área de 2.426 km<sup>2</sup> com 60.012 habitantes e densidade demográfica de 22 habitantes por km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). O município localiza-se no domínio fitogeográfico do Cerrado e apresenta uma matriz fragmentada formada por pastagens, áreas de cultivos perenes, semi-perenes e anuais, com poucos fragmentos florestais. O setor agropecuário movimenta grandes recursos na região (IBGE, 2023).

O clima da região é definido como AW segundo a classificação Köppen-Geiger, tropical com a estação seca e fria ocorrendo no inverno, e o verão apresenta a estação com maiores índices pluviométricos (Alvares *et al.*, 2014), apresentando temperatura e precipitação média anual de 23,8°C e 1626,9 mm, respectivamente.

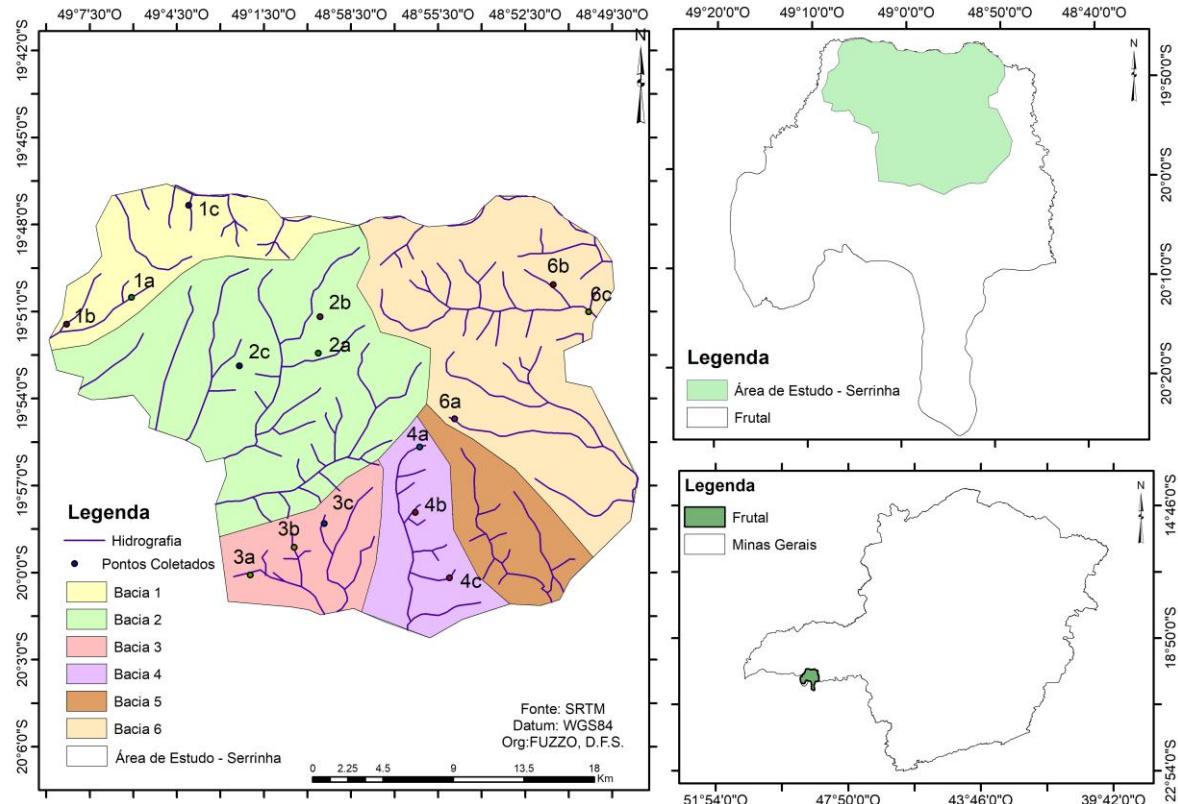
A Serrinha compõe o divisor de bacias entre o rio Paranaíba e o rio Grande, sendo composta por rochas areníticas da Formação Uberaba (Grupo Bauru), seguida ao sul por uma faixa da Formação Vale do Rio do Peixe (CPRM, 2012). Nesse local encontram nascentes de seis sub-bacias dos principais rios do município: Ribeirão São Mateus, Ribeirão Frutal, Córrego Bebedouro, Rio São Bento da Ressaca, Ribeirão Marimbondo e Rio São Francisco. As porções centro leste e centro oeste possuem nascentes que vertem em áreas entremeadas por afloramento da Formação Serra Geral (CPRM, 2012), somando aproximadamente 154 nascentes. A Serrinha e suas bordas compõem uma área de recarga importante para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas e seus afloramentos. A proteção desse tipo de sistema é fundamental, sendo necessário evitar o desmatamento, o uso incorreto dos solos e a instalação de atividades potencialmente poluidoras (BRASIL, 2007).

### 4.2 Período e pontos de coleta

A Figura 1 apresenta a área de estudo, com a identificação da cabeceira das sub-bacias onde estão inseridas as áreas de nascentes a serem 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, no

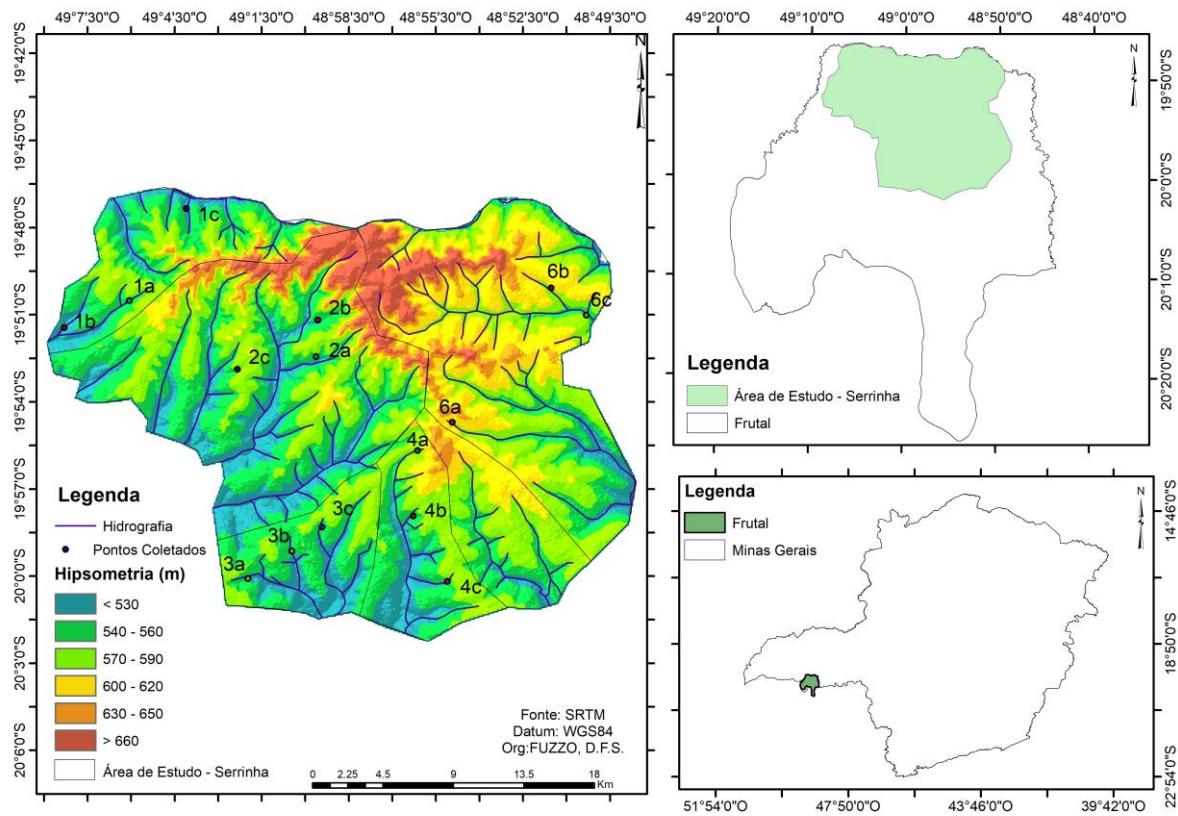
ano de 2023, totalizando um n amostral de 90. A sub-bacia 5 foi descartada do trabalho devido à falta de água no período chuvoso. A Figura 2 mostra a altimetria da região de estudo.

As amostras foram coletadas usando um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro. O sedimento foi armazenado em frascos plásticos devidamente identificados e levado ao freezer para congelamento até o momento dos processos laboratoriais.



**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 (não foi amostrado); 6 – São Francisco

Fonte: SRTM, Datum: WGS84, Org: Fuzzo, D.F.S.



**Figura 2** – Altimetria da região da Serrinha e os pontos selecionados para análises  
Fonte: SRTM, Datum: WGS84, Org: Fuzzo, D.F.S.

#### 4.3 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 foi 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 ( $\text{SrCl}_2$ ) 0,5 mg L<sup>-1</sup> 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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e subcarbonado de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)$ ).

Para leitura de chumbo, cromo, níquel, manganês, cobre, zinco, ferro, cálcio e magnésio foi utilizado um espetrofotômetro 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 amostras foram processadas seguindo a metodologia de extração recomendada pela EMBRAPA (2017). Para avaliação de cálcio, magnésio e alumínio foi utilizada a solução extratora de  $\text{KCl}$  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 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{HCl}$  + 0,0125 mg L<sup>-1</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (Mehlich, 1953) na proporção de sedimento/solução de 1:10. O elemento alumínio fora titulado com  $\text{NaOH}$  0,025 mg L<sup>-1</sup> e como agente indicador azul de bromotimol 1,0 mg L<sup>-1</sup>, 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 equipamentos para análise quantitativa dos elementos químicos

Elemento	Limite de quantificação (mg L <sup>-1</sup> )
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: autoria própria.

#### 4.4 Coliformes termotolerantes

A amostragem de água para determinação de coliformes termotolerantes foi realizada utilizando 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 Quant-Tray/ 2000, por 24 horas em estufa a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Os resultados foram verificados através da leitura dos poços positivos na tabela de NMP 100 mL<sup>-1</sup> (IDEXX, 2017).

#### 4.5 Mapas de uso e ocupação da terra

Foram gerados mapas de composição colorida RGB-432, utilizando imagens do satélite 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, a partir 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 MapBiomass, disponibilizadas por meio do site <https://brasil.mapbiomas.org/>, gratuitamente. São mapas no formato matricial (pixel de 30x30m) baseados na coleção Landsat, 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, 2025). Os dados foram integradas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando o Software QGIS, versão 3.16, que possibilitou a quantificação a análise espacial do uso da terra.

#### **4.6 Análise estatística dos dados**

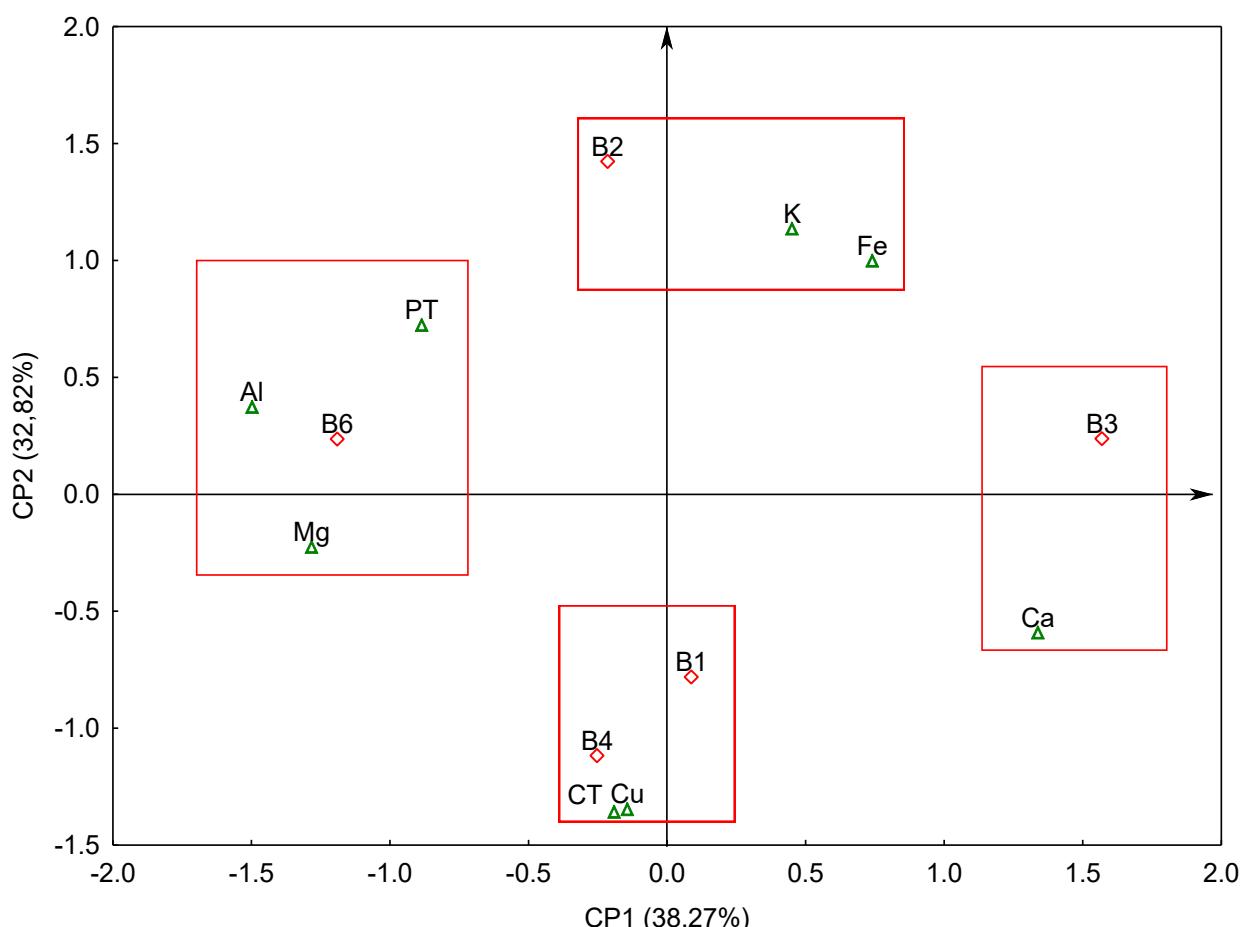
Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para comparar a composição de elementos químicos dos sedimentos entre os pontos das sub-bacias. Em uma outra análise de componentes principais, buscou-se avaliar a composição química dos sedimentos entre as sub-bacias. Por meio de uma terceira ACP, buscou-se comparar a composição química do sedimento das sub-bacias nos diferentes períodos amostrais (seca x chuva). Os dados foram padronizados para homogeneizar as variâncias (Legendre; Legendre, 1998). Todas as análises foram realizadas no programa Statistica 14 (Cloud Software Group, 2023).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Comparação entre sub-bacias

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).

A figura 3 apresenta 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  $CP2 = 32,82\%$ ).



**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: SRTM, Datum: WGS84, Org: Fuzzo, D. F. S.

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).

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 ( $64,2 \text{ mg L}^{-1}$ ). As sub-bacias 1 e 4 apresentaram os maiores valores de coliformes termotolerantes ( $515,1$  e  $1312,1 \text{ NMP 100 mL}^{-1}$ , respectivamente) e cobre ( $0,09$  e  $0,08 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente).

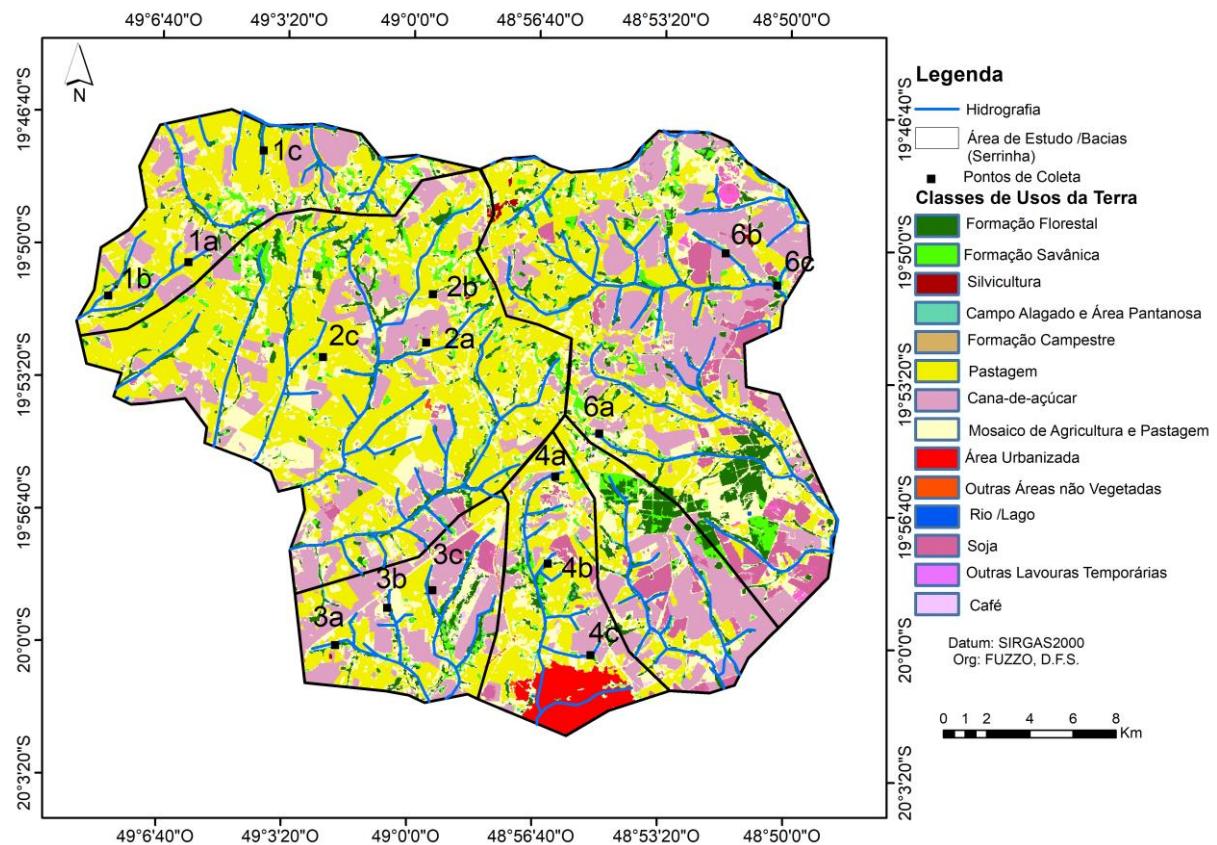
**Tabela 2** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes ( $\text{NMP 100 mL}^{-1}$ ) nas sub-bacias hidrográficas (B1-B6)

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: autoria própria.

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 (Melo *et al.*, 2024). Todos pontos amostrais destas sub-bacias estão próximos a região de pastagem e mata ciliar (Figura 4; Tabela 3), indicando falta de preservação ambiental, vegetação totalmente descaracterizada e sem densidade significativa. 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 (Carvalho *et al.*, 2021). Estatisticamente, o cobre apresentou maior concentração nas sub-bacias 1 e 4, porém os valores estão abaixo do limite máximo permitido pela CONAMA 327/2005 (Brasil, 2005) que é 2,0 mg L<sup>-1</sup> 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

Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

**Tabela 3** – Associação entre os resultados da ACP com o uso e ocupação da terra preponderante em cada bacia

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

Fonte: autoria própria.

Na sub-bacia 2 potássio e ferro foram encontrados em maior quantidade. Nesta sub-bacia, prevaleceram pastagem e formação florestal (Figura 4; Tabela 3). O potássio é o nutriente mais utilizado para adubação de cobertura em pastagem (Almeida, 2021). A mobilidade do potássio no solo é alta sendo facilmente lixiviado pelas chuvas (Medeiros *et al.*, 2019), o que pode explicar a presença deste elemento no sedimento das nascentes, em especial na sub-bacia 2. O Ferro é um elemento de grande abundância nos solos do cerrado e apresenta pouca mobilidade no solo e sedimento, estando presentes até mesmo em solos agricultáveis deste bioma (Botrel *et al.*, 2020).

Na sub-bacia 3 observamos a presença de pastagem e cana-de-açúcar (Figura 4), associado ao elemento cálcio (Tabela 3), que está mais presente. Nota-se também reduzida quantidade de alumínio. Desta forma, podemos correlacionar com a atividade calagem para o preparo do solo visando o cultivo da cana-de-açúcar.

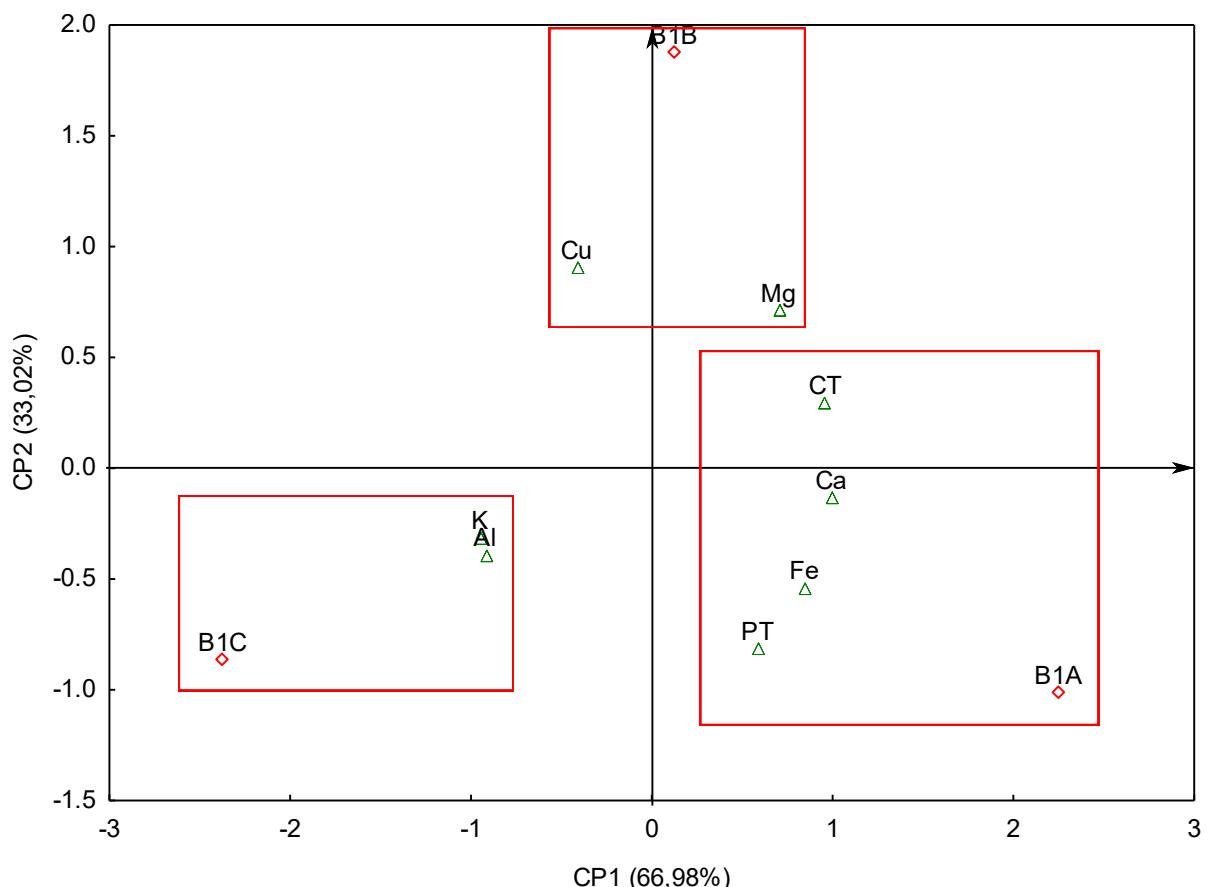
Solos do cerrado se caracterizam por possuirem altas concentrações de alumínio, por isto a correção anual se faz necessária para que nutrientes sejam disponibilizados para as plantas em áreas cultiváveis.

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 calcáreo agrícola tem poder de neutralização do alumínio, logo, pode-se concluir que o magnésio foi aplicado via foliar, uma vez que o alumínio apresentou-se em altas concentrações. Adubação fosfatada se faz necessária o crescimento primário cultura da cana-de-açúcar, este elemento é disponibilizado na adubação de solo (Garcia; Mendes, 2022).

## 5.2 Comparação dentro das sub-bacias

Os gráficos a seguir evidenciarão a comparação composicional dos sedimentos entre os pontos de uma mesma sub-bacia, sendo estes denominados de A, B e C.

A análise de componentes principais envolvendo a sub-bacia hidrográfica 1 (Ribeirão São Mateus) da região da Serrinha reteve 100% da variabilidade original dos dados (CP1 = 66,98% e CP2 = 33,02%). O ponto B1A posicionou-se do lado positivo do componente principal 1, associando-se as variáveis CT, Ca, Fe e PT. Contrastando-se a este cenário, o ponto B1C posicionou-se do lado negativo do componente principal 1, associando-se às variáveis K e Al. O ponto B1B posicionou-se do lado positivo do componente principal 2 e associou-se às variáveis Cu e Mg (Figura 5).



**Figura 5** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo os pontos amostrais da sub-bacia 1 (Ribeirão São Mateus) da região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B1A-B1C = pontos amostrais; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

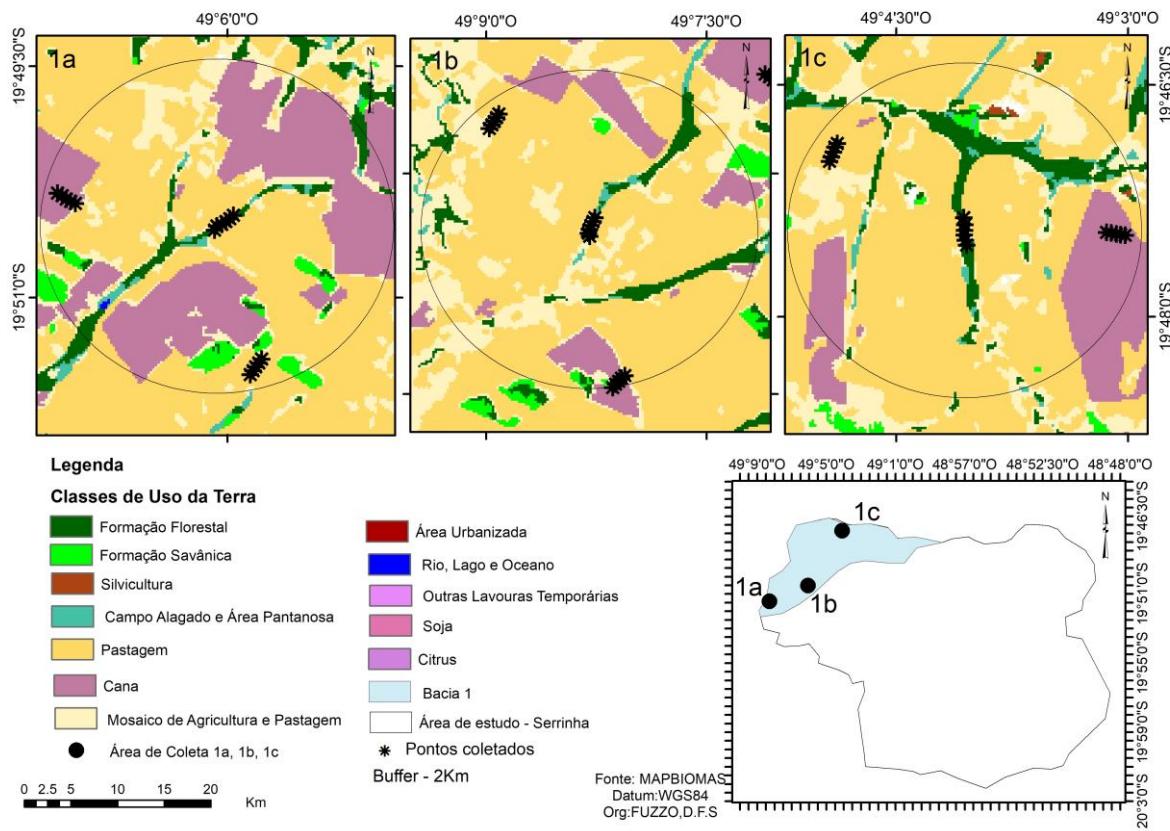
O ponto B1A apresentou os maiores valores médios de coliformes termotolerantes ( $708,3 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ ), cálcio ( $9,76 \text{ mg L}^{-1}$ ), ferro ( $46,10 \text{ mg L}^{-1}$ ) e fósforo total ( $5,44 \text{ mg L}^{-1}$ ). O ponto B1B apresentou os maiores valores médios de cobre ( $0,17 \text{ mg L}^{-1}$ ) e magnésio ( $2,49 \text{ mg L}^{-1}$ ). O ponto B1C apresentou os maiores valores médios de potássio ( $19,88 \text{ mg L}^{-1}$ ) e alumínio ( $90,19 \text{ mg L}^{-1}$ ). Esses dados, associados a análise estatística, mostram que ocorre evidente diferença entre os pontos de análise da sub-bacia do Ribeirão São Mateus. Essa diferença é apresentada na (Tabela 4).

**Tabela 4** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) na sub-bacia hidrográfica 1 (Ribeirão São Mateus)

Sub-bacias	PT	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	CT
B1A	5,44	14,42	9,76	2,16	69,70	46,10	0,01	708,3
	$\pm 5,19$	$\pm 6,17$	$\pm 8,61$	$\pm 0,86$	$\pm 10,38$	$\pm 18,70$	$\pm 0,01$	$\pm 773,05$
B1B	2,61	15,33	6,33	2,49	71,50	45,21	0,17	595,20
	$\pm 1,55$	$\pm 7,03$	$\pm 6,16$	$\pm 0,68$	$\pm 20,08$	$\pm 11,48$	$\pm 0,35$	$\pm 452,99$
B1C	3,67	19,88	3,79	1,46	90,19	45,21	0,09	105,3
	$\pm 0,61$	$\pm 7,19$	$\pm 2,72$	$\pm 0,97$	$\pm 30,78$	$\pm 30,09$	$\pm 0,08$	$\pm 121,06$

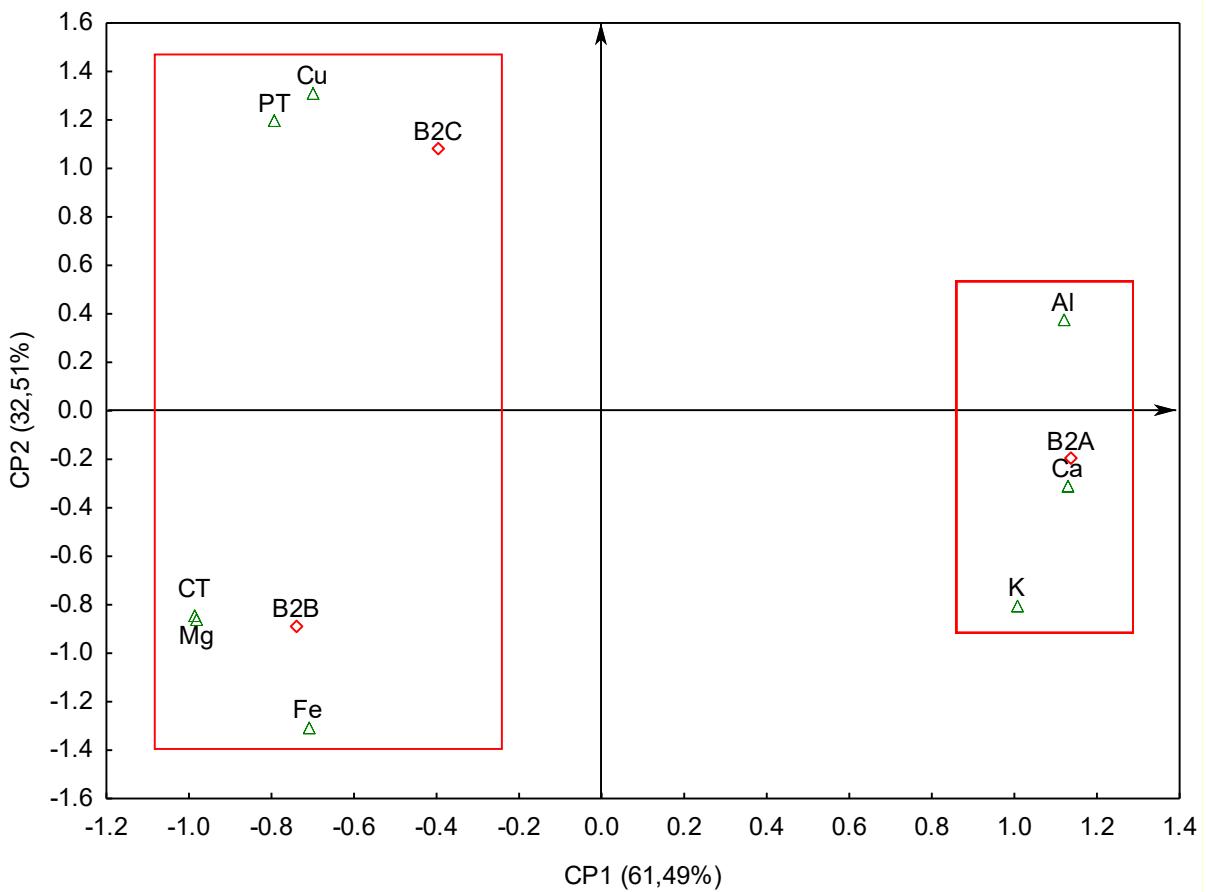
Fonte: autoria própria.

O mapa de uso e ocupação da terra mostra que B1A e B1B apresentam maior incidência de monoculturas e atividade agropecuária (pastagem) próximo aos pontos de coleta (Figura 6). O ponto B1C apresenta essas atividades em menor proporção e uma maior área de formação florestal. Ressalta-se que nos ambientes de maior incidência de pastagem e monoculturas, houve maiores valores das variáveis cálcio e magnésio associando-se a menores valores de alumínio, em decorrência do uso de calcário agrícola para a correção do solo, que diminuiu a quantidade de alumínio nos sedimentos desses pontos (Pessi, 2019). Nos ambientes mais preservados (B1C), manteve-se característica mais próxima de ambiente de cerrado, com maiores concentrações de alumínio (Silva; Fonseca; Cunha, 2021).



**Figura 6 –** Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 1 (Ribeirão São Mateus)  
Fonte: SRTM, Datum: WGS84, Org: Fuzzo, D. F. S.

A análise de componentes principais envolvendo a sub-bacia hidrográfica 2 da região da Serrinha reteve 94% da variabilidade original dos dados (CP1 = 61,49% e CP2 = 32,51%). O ponto B2A posicionou-se do lado positivo do componente principal 1, associando-se as variáveis Al, Ca, K. Contrastando-se a este cenário, os pontos B2B e B2C posicionaram-se do lado negativo do componente principal 1, associando-se às variáveis Cu, PT, CT, Mg e Fe (Figura 7).



**Figura 7** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo os pontos amostrais da sub-bacia 2 da região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B2A-B2C = pontos amostrais; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

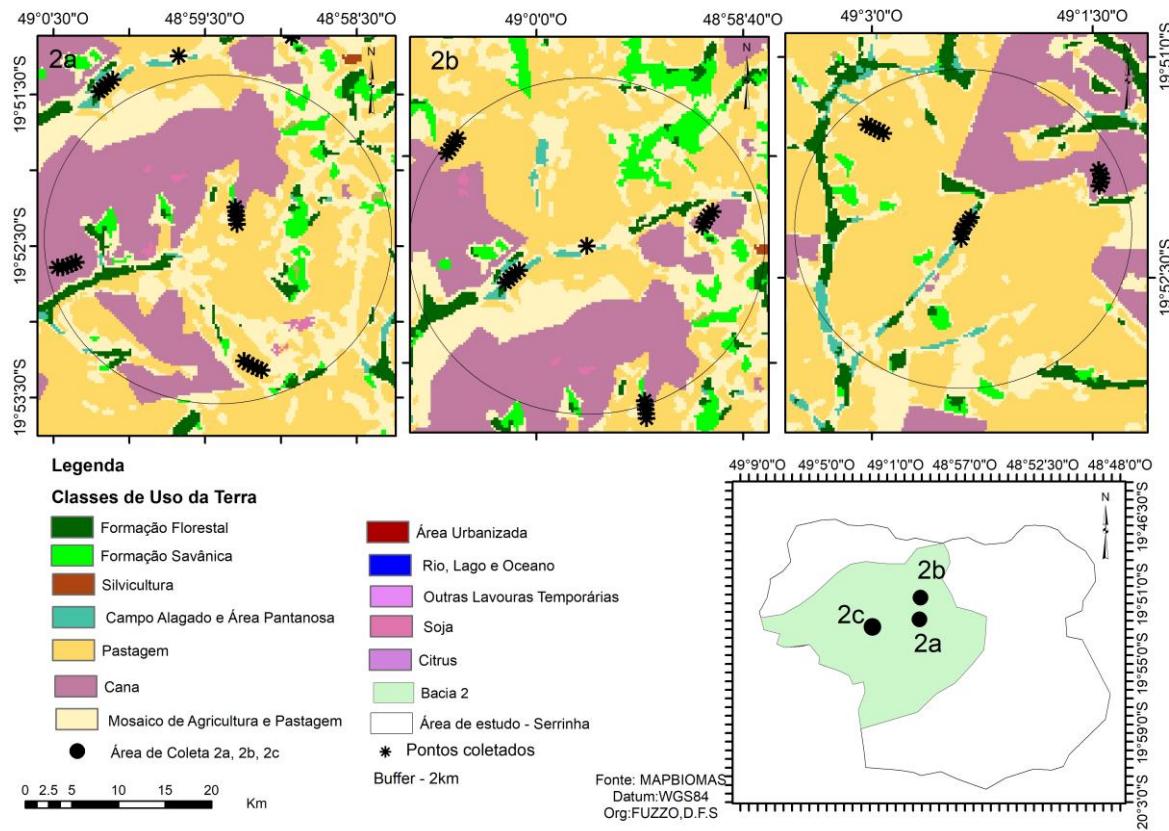
O ponto B2A apresentou os maiores valores médios de Al ( $92,28 \text{ mg L}^{-1}$ ), Ca ( $12,86 \text{ mg L}^{-1}$ ), K ( $19,53 \text{ mg L}^{-1}$ ). O ponto B2B e B2C apresentaram médias similares para as variáveis Cu, PT, CT, Mg e Fe cujos valores encontram-se na tabela 5. Esses dados, associados a análise estatística, mostram que ocorre evidente diferença entre os pontos de análise da sub-bacia do Ribeirão São Mateus (Tabela 5).

**Tabela 5** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) na sub-bacia hidrográfica 2 (Ribeirão São Mateus)

<b>Sub-bacias</b>	<b>PT</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>CT</b>
B2A	3,05	19,53	12,86	1,21	92,28	60,29	0,04	74,48
	$\pm 3,37$	$\pm 9,81$	$\pm 10,77$	$\pm 0,55$	$\pm 24,03$	$\pm 18,38$	$\pm 0,03$	$\pm 105,23$
B2B	4,83	17,75	7,68	2,90	73,61	70,90	0,05	183,98
	$\pm 5,29$	$\pm 9,13$	$\pm 9,77$	$\pm 0,61$	$\pm 11,79$	$\pm 27,68$	$\pm 0,02$	$\pm 154,22$
B2C	7,44	16,88	7,60	1,77	80,95	59,98	0,07	112,00
	$\pm 7,66$	$\pm 10,17$	$\pm 8,19$	$\pm 1,15$	$\pm 0,01$	$\pm 326,56$	$\pm 0,04$	$\pm 56,58$

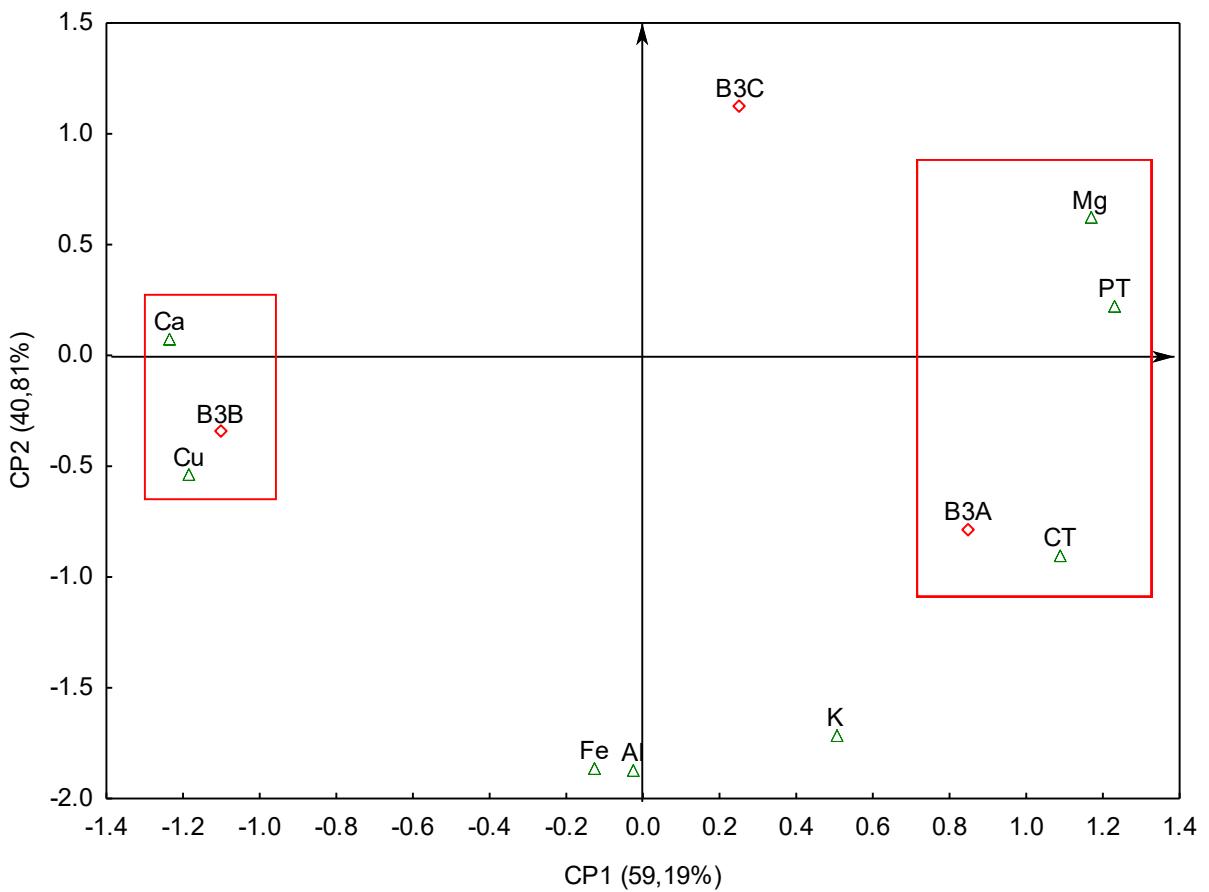
Fonte: autoria própria.

Avaliando a sub-bacia 2 percebe-se que o ponto A apresentou associação ao cálcio e potássio localizados no lado positivo da componente principal 1 e estes elementos estão associados ao processo de calagem e adubação de diversas culturas. O ponto B está associado a coliformes termotolerantes, magnésio e ferro. Os coliformes termotolerantes estão associados às pastagens, cultivadas para produção de gado, que defecam no local. Magnésio está associado com manejo de calagem e ferro demonstra baixo impacto nas características químicas do sedimento. Já o ponto C associou-se a cobre e fósforo total. Alumínio é um elemento característico dos solos e sedimentos do cerrado a distância estatística entre os pontos amostrais demonstra que esta sub-bacia está associada com formação florestal, mantendo a característica natural do solo da região. O mapa detalhado da sub-bacia 2 pode ser observado na Figura 6.



**Figura 8** – Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 2 (Ribeirão Marimbondo)  
Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

Na análise de componentes principais envolvendo a sub-bacia hidrográfica 3 da região da Serrinha reteve 100% da variabilidade original dos dados (CP1 = 59,19% e CP2 = 40,81%). O ponto A associou-se com coliformes totais e magnésio, o que é um indicativo de presença de fezes de mamíferos, e como observado nas coletas a pastagem se faz presente neste ponto até a nascente, sem qualquer proteção para evitar a chegada do gado à nascente. Este ponto associou-se ao K, elemento utilizado para adubação em pastos (Silva; Oliveira; Marques, 2020). O ponto B associou-se aos elementos cálcio e cobre. O ponto C posicionou-se do lado positivo do componente principal 2 e contrastou-se com as variáveis ferro e alumínio. Destaca-se que estas duas últimas variáveis não apresentaram associação aos pontos amostrados e são elementos característicos dos solos e sedimentos do cerrado, com isto, os pontos demonstram impactados por atividades antrópicas agropecuárias (Figura 9). Na figura 10 observa-se o mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 3 (Figura 10).



**Figura 9** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo os pontos amostrais da sub-bacia 3 da região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B3A-B3C = pontos amostrais; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

Fonte: autoria própria.

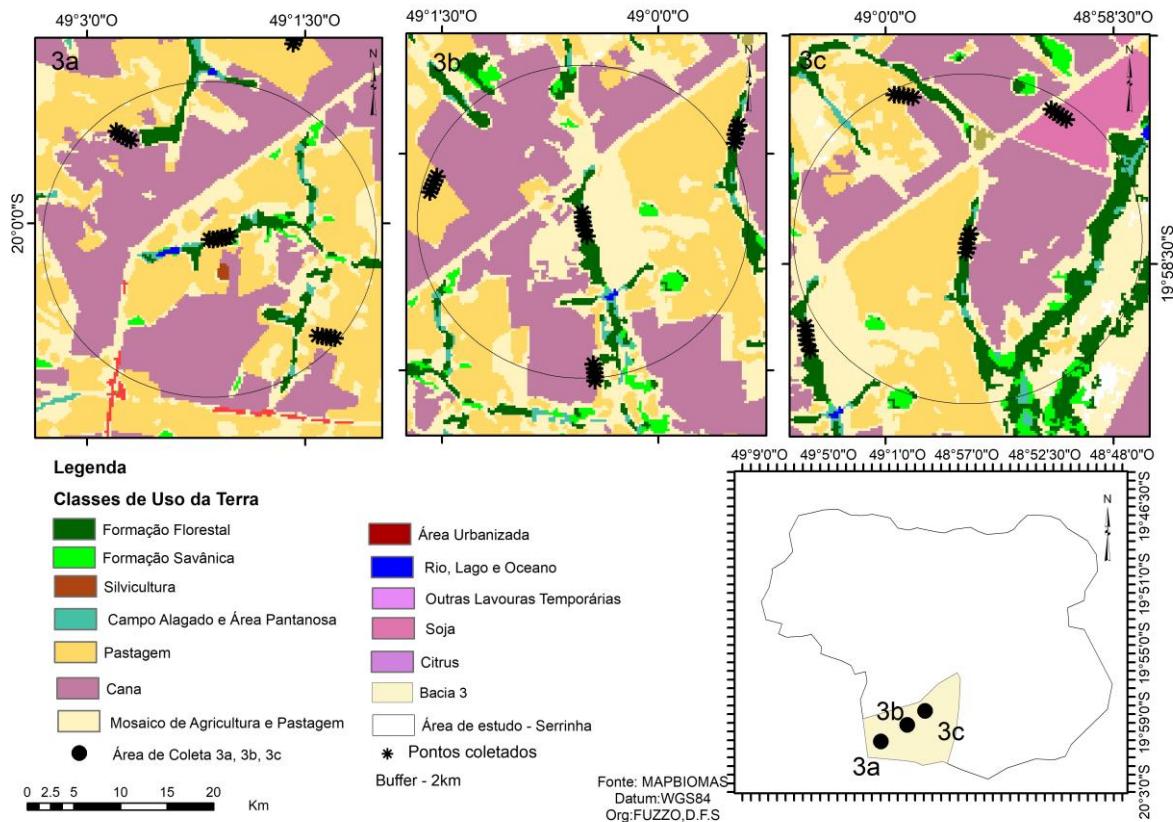
O ponto B3A apresentou maiores valores médios para PT ( $5,76 \text{ mg L}^{-1}$ ), CT (479,38 NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ). Os valores de magnésio foram próximos nos pontos A e C (1,43 e 1,44  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente). B3B evidenciou médias maiores para as variáveis Ca ( $15,64 \text{ mg L}^{-1}$ ) e Cu ( $0,12 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Tabela 6).

**Tabela 6** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) na sub-bacia hidrográfica 3 (Ribeirão São Mateus)

<b>Sub-bacias</b>	<b>PT</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>CT</b>
B3A	5,76	18,83	11,35	1,43	68,80	53,13	0,02	479,38
	$\pm 8,81$	$\pm 9,47$	$\pm 8,88$	$\pm 0,90$	$\pm 16,32$	$\pm 27,63$	$\pm 0,00$	$\pm 548,41$
B3B	4,69	18,33	15,64	1,19	66,11	51,06	0,12	212,73
	$\pm 4,03$	$\pm 4,89$	$\pm 23,25$	$\pm 1,12$	$\pm 12,98$	$\pm 40,43$	$\pm 0,18$	$\pm 245,08$
B3C	5,56	18,00	12,83	1,44	55,92	36,94	0,02	279,85
	$\pm 3,68$	$\pm 4,77$	$\pm 8,58$	$\pm 0,92$	$\pm 25,01$	$\pm 37,39$	$\pm 0,00$	$\pm 427,42$

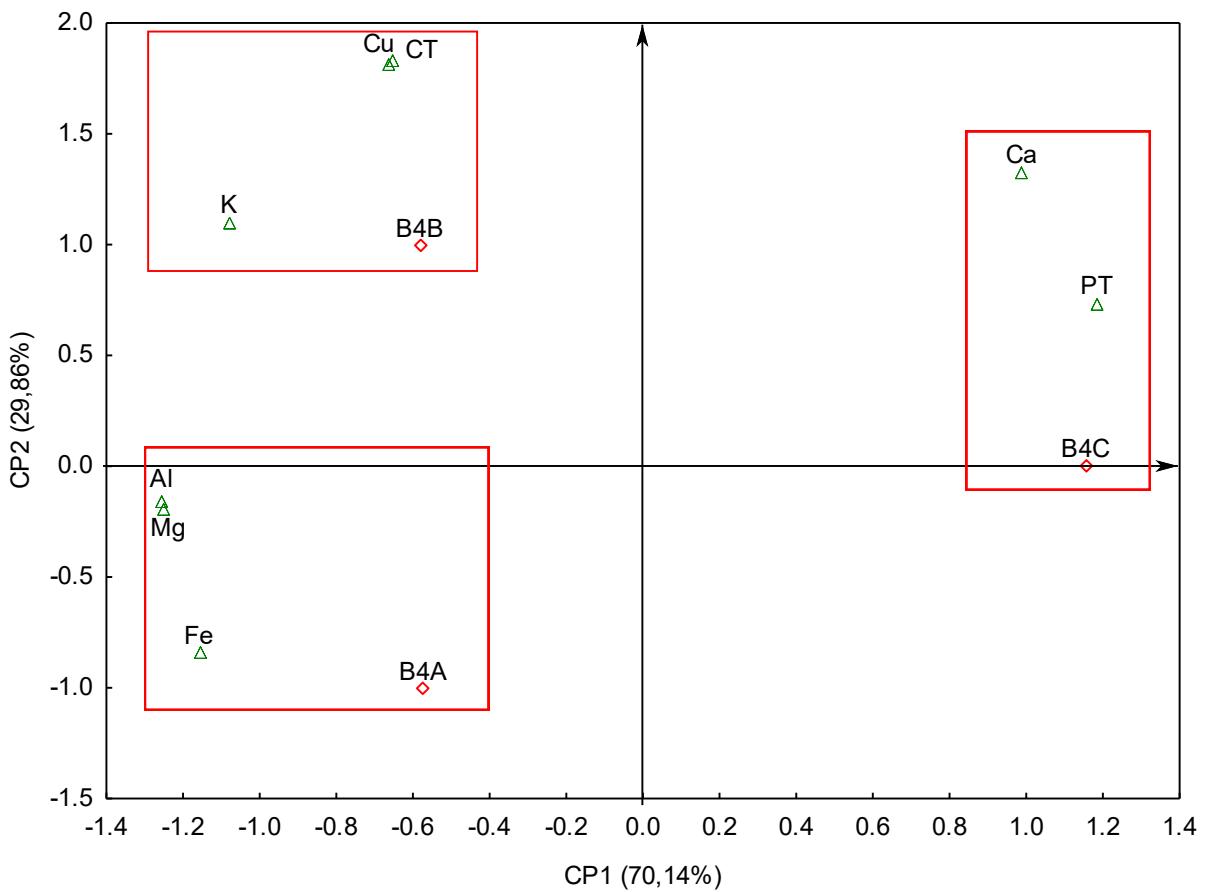
Fonte: autoria própria.

O ponto B3A possui como paisagem associada a APP's em mal estado de conservação com a cultura de pastagem associada, com elevados valores dos elementos K e CT, que estão associados à cultura de pastagem pois o potássio está associado ao processo de adubação característica dessa cultura que exige potássio (Oliveira *et al.*, 2024), assim como, coliformes associados às fezes bovinas que chegam até à nascente. Os demais elementos em evidência são elementos característicos dos sedimentos do bioma cerrado e mostram que áreas de reserva mantiveram a característica química do ambiente (Cardili, 2023).



**Figura 10** – Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 3 (Córrego São José do Bebedouro)  
Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

A análise de componentes principais envolvendo a sub-bacia hidrográfica 4 da região da Serrinha reteve 100% da variabilidade original dos dados (CP1 = 70,14% e CP2 = 29,86%). O ponto B4C associou-se ao lado positivo do componente principal 1 e aos elementos cálcio e fósforo total. O ponto B4B associou-se com os parâmetros de cobre, coliformes totais e potássio e B4A associou-se com alumínio, magnésio e ferro (Figura 11). O mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 4 está apresentado na figura 12.



**Figura 11** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo os pontos amostrais da sub-bacia 4 da região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B4A-B4C = pontos amostrais; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

Fonte: autoria própria.

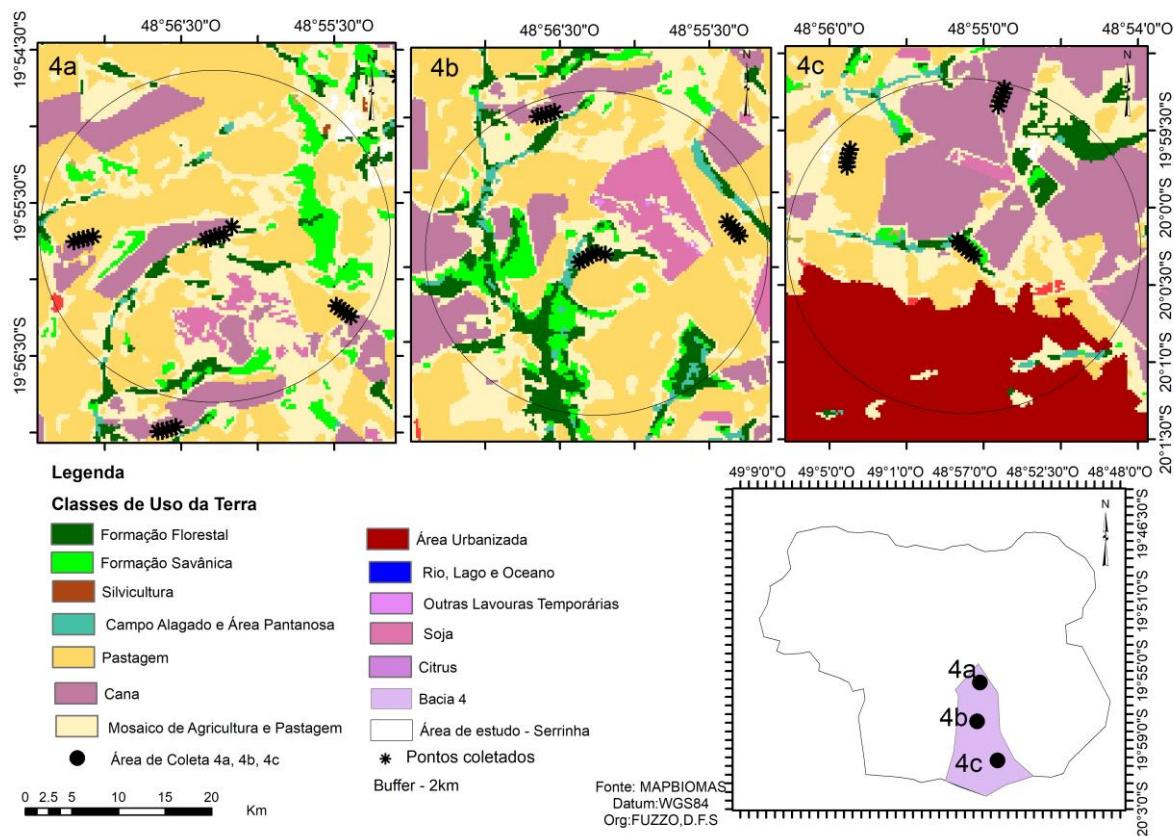
O ponto B4A possui maior média no elemento Fe ( $23,72 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mg ( $2,38 \text{ mg L}^{-1}$ ) e Al ( $82,88 \text{ mg L}^{-1}$ ). O ponto B4B apresentou maiores valores médios dos elementos K, Cu e CT com valores de  $18,25 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,14 \text{ mg L}^{-1}$  e  $3413,17 \text{ mg L}^{-1}$ . No ponto B4C as variáveis PT e Ca foram as que apresentaram os maiores valores médios respectivos de  $6,80 \text{ mg L}^{-1}$  e  $10,55 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabela 7).

**Tabela 7** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) na sub-bacia hidrográfica 4 (Ribeirão São Mateus)

Sub-bacias	PT	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	CT
B4A	3,06	17,58	4,89	2,38	82,88	23,72	0,04	312,83
	$\pm 2,50$	$\pm 4,03$	$\pm 4,12$	$\pm 0,85$	$\pm 30,15$	$\pm 16,65$	$\pm 0,03$	$\pm 152,36$
B4B	4,35	18,25	8,42	2,35	81,62	22,62	0,14	3413,17
	$\pm 3,25$	$\pm 8,28$	$\pm 9,08$	$\pm 0,49$	$\pm 22,67$	$\pm 12,81$	$\pm 0,19$	$\pm 5627,75$
B4C	6,80	16,97	10,55	2,05	66,56	20,90	0,04	210,17
	$\pm 5,17$	$\pm 6,52$	$\pm 7,35$	$\pm 0,81$	$\pm 10,61$	$\pm 14,01$	$\pm 0,04$	$\pm 149,92$

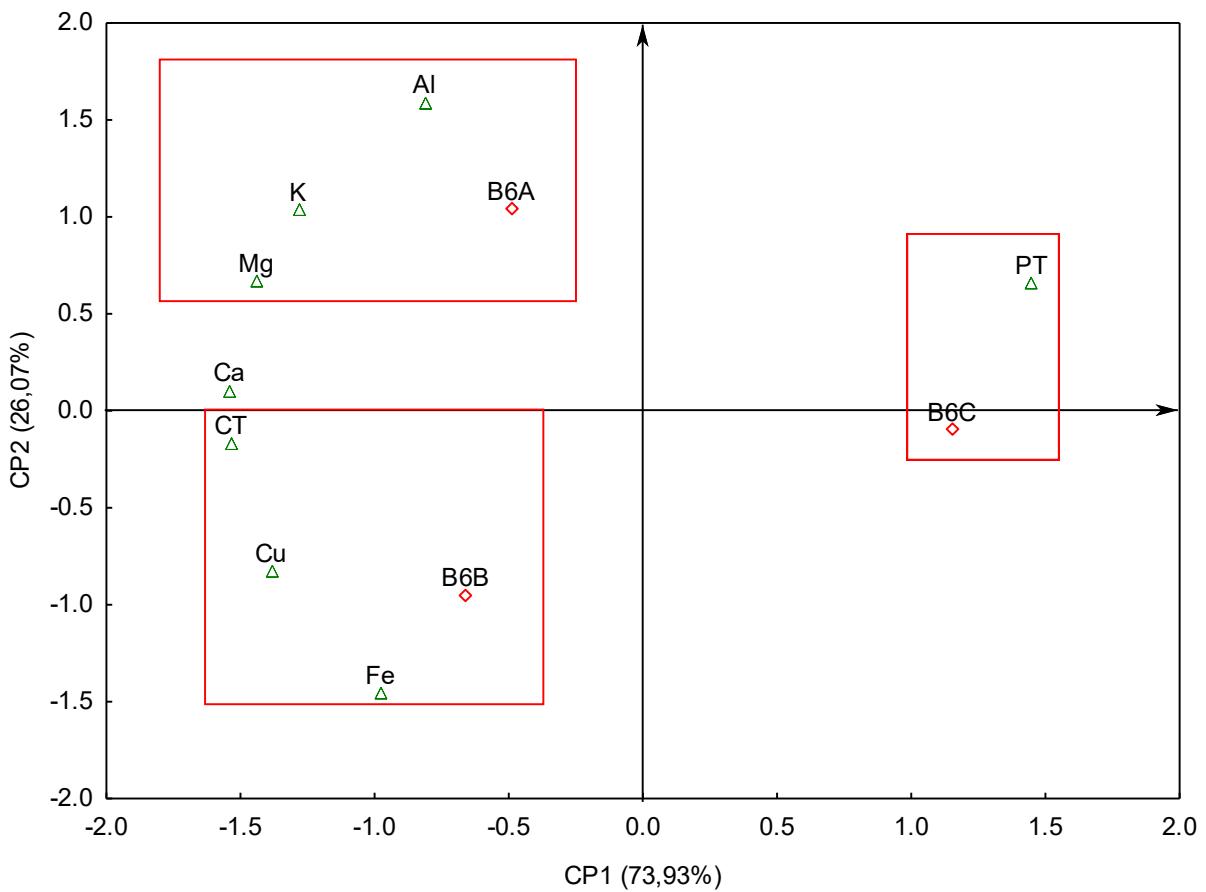
Fonte: autoria própria.

Os números nos mostram que o ponto B4A associou-se a paisagem de reserva ambiental uma vez que Fe e Al são elementos químicos abundantes nos sedimentos do cerrado. O ponto B4B está associado à pastagem, pois, potássio é um elemento essencial ao pasto (Oliveira *et al.*, 2024). As variáveis cobre e coliformes totais estão associados à presença de fezes bovinas, uma vez que o elemento é um micronutriente presente na ração mineral bovina e facilmente eliminada nas fezes, uma vez que o metabolismo bovino não necessita de muito desse elemento (Ferarezi, 2024) e as bactérias fazem parte do trato digestório dos mamíferos. O ponto B4C nos mostra tanto nos mapas quanto nos parâmetros avaliados que o ponto está cercado de paisagem com vegetação característica do cerrado.



**Figura 12** – Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 4 (Ribeirão Frutal)  
Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

A análise de componentes principais envolvendo a sub-bacia hidrográfica 6 da região da Serrinha reteve 100% da variabilidade original dos dados (CP1 = 73,93% e CP2 = 26,07%). O ponto B6C associou-se do lado positivo do componente principal 1, contrastando-se com os pontos B6A e B6B. Ponto C associou-se ao fósforo total. Os elementos alumínio, potássio e magnésio associaram-se com o ponto B6A. Os parâmetros coliformes totais, cobre e ferro associaram-se ao ponto B6B. A variável Ca foi similar entre os pontos B6A e B6B (Figura 13). O mapa de uso e ocupação da terra sub-bacia 6 encontra-se na figura 14.



**Figura 13** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo os pontos amostrais da sub-bacia 6 da região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B6A-B6C = pontos amostrais; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

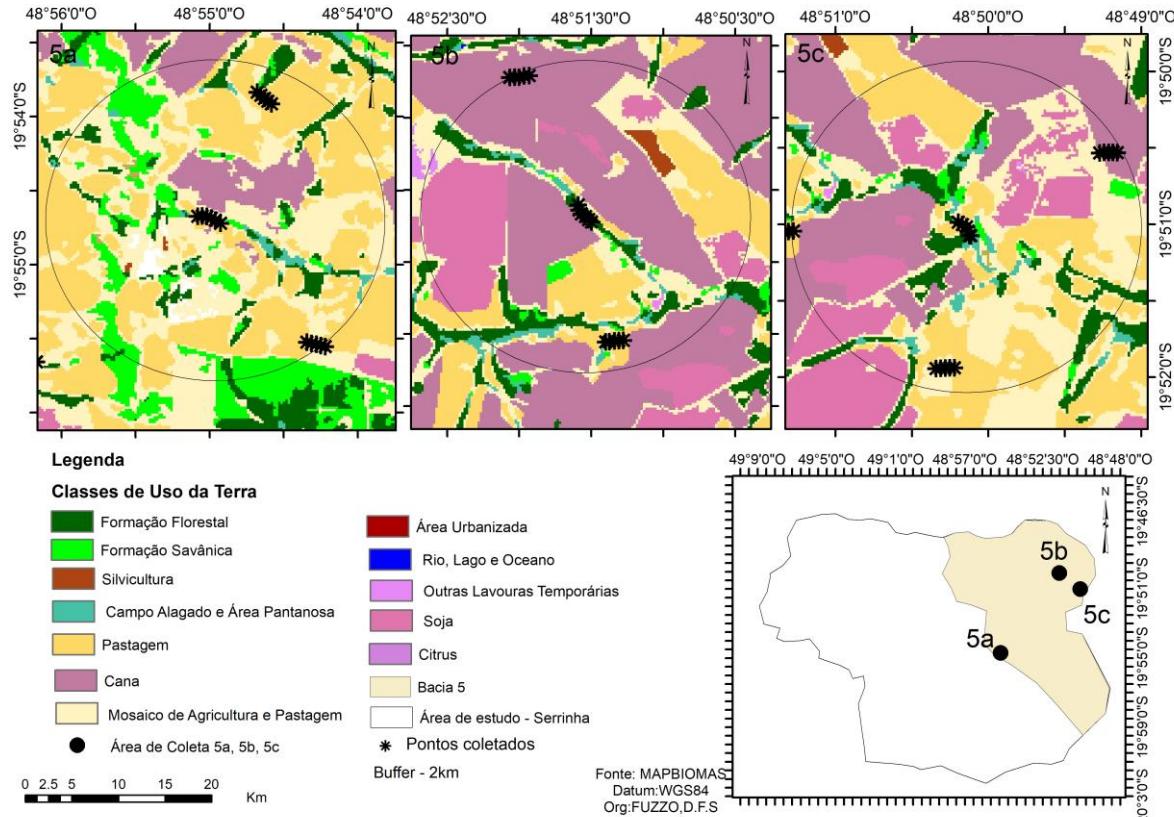
Fonte: autoria própria.

O ponto B6A apresentou as maiores médias de K, Mg, Al com as médias nas respectivas concentrações:  $17,25 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $2,60 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $110,85 \text{ mg L}^{-1}$ . As variáveis Fe ( $22,55 \text{ mg L}^{-1}$ ), Cu ( $0,08 \text{ mg L}^{-1}$ ) e CT ( $424,83 \text{ NMP 100 mL}^{-1}$ ) apresentaram as maiores médias no ponto B6B. O maiores valor médio de PT ( $13,57 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi encontrado no ponto B6C.

**Tabela 8** – Média e desvio padrão dos elementos químicos quantificados ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) na sub-bacia hidrográfica 5 (Ribeirão São Mateus)

Sub-bacias	PT	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	CT
B6A	8,62	17,25	4,54	2,60	110,85	16,76	0,06	393,50
	$\pm 7,33$	$\pm 4,87$	$\pm 5,71$	$\pm 1,56$	$\pm 21,08$	$\pm 9,48$	$\pm 0,01$	$\pm 518,46$
B6B	4,83	15,87	4,57	2,27	78,52	22,55	0,08	424,83
	$\pm 1,41$	$\pm 5,87$	$\pm 6,55$	$\pm 2,06$	$\pm 15,88$	$\pm 21,66$	$\pm 0,01$	$\pm 925,19$
B6C	13,57	14,38	3,37	1,44	73,84	16,21	0,04	251,50
	$\pm 21,25$	$\pm 7,36$	$\pm 2,18$	$\pm 0,68$	$\pm 20,36$	$\pm 11,47$	$\pm 0,02$	$\pm 49,01$

Fonte: autoria própria.



**Figura 14** – Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia 6 (Rio São Francisco)

Fonte: SRTM, Datum: WGS84. Org: Fuzzo, D. F. S.

Os elementos do ponto B6A nos mostram que este ponto está associado a pastagem e a áreas de preservação permanente, uma vez que os elementos K e Mg são utilizados no processo de adubação e o Al está presente como elemento característico dos solos do cerrado, sua presença se faz presente por não ter sido neutralizado pelo processo de calagem (Oliveira *et al.*,

2024). O ponto B6C esta associado à paisagem de cana-de-açúcar, pasto e vegetação nativa, com associação ao fósforo total, mostrando influência agrícola na nascente.

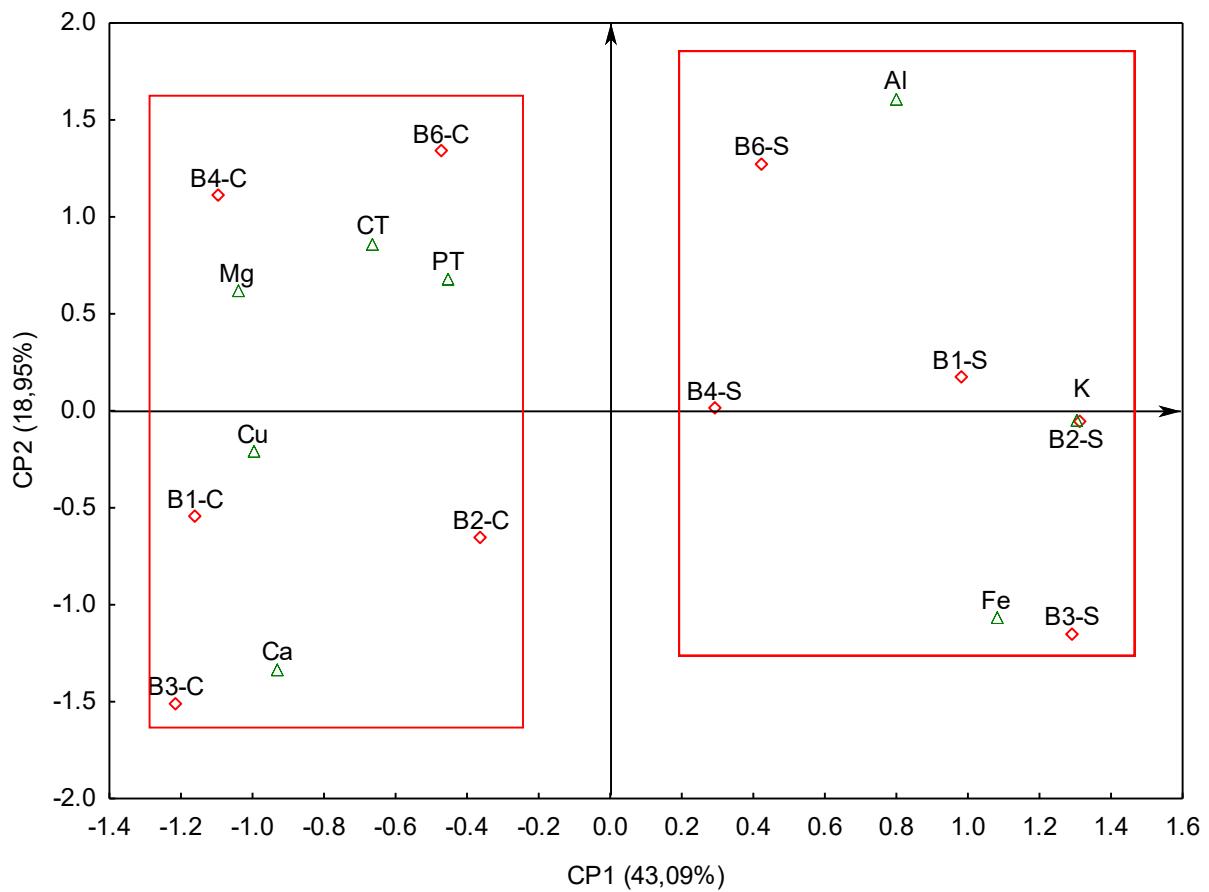
### 5.3 Comparação entre períodos de seca e chuva

O gráfico a seguir apresenta a terceira hipótese a ser testada que é a observação da diferença da composição química dos sedimentos e de coliformes termotolerantes na água dos cinco pontos amostrados frente à períodos de seca e chuva. No gráfico de análise de componentes principais (Figura 15) os períodos de seca associaram-se ao lado positivo da componente principal 1, enquanto o período chuvoso associou-se ao lado negativo da componente principal 1, assim evidenciando a diferença composicional frente às estações climáticas. Os elementos alumínio, potássio e ferro associaram-se ao lado positivo da componente principal 1 juntamente com o período de seca. Os elementos magnésio, coliformes totais, fósforo total, cobre e cálcio ficaram associados ao lado negativo da componente principal 1 juntamente com o período chuvoso.

A análise apresentada por meio do gráfico de componentes principais (Figura 14) evidencia uma clara distinção na composição química dos sedimentos e na concentração de coliformes termotolerantes na água entre os períodos de seca e de chuva. Esse resultado reforça a hipótese de que fatores sazonais desempenham um papel importante na dinâmica dos componentes químicos presentes nos sedimentos e na qualidade microbiológica da água nas nascentes estudadas.

A separação dos períodos de seca e chuva ao longo da componente principal 1 (CP1) indica que a variabilidade química dos sedimentos e microbiológica da água estão fortemente correlacionadas com a sazonalidade. O fato de o período seco estar associado ao lado positivo da CP1 e o chuvoso ao lado negativo sugere que há processos ambientais distintos atuando em cada período, influenciando a distribuição e a concentração dos elementos analisados.

A associação do alumínio, potássio e ferro com o período seco pode estar relacionada a processos de intemperismo químico e físico mais intensos em épocas de menor precipitação. Durante a seca, a redução da lixiviação e do transporte superficial de partículas pode ter favorecido a concentração desses elementos nos sedimentos.



**Figura 15** – Gráfico biplot da análise de componentes principais envolvendo as sub-bacias hidrográficas nos diferentes períodos (seca e chuva), amostradas na região da Serrinha no município de Frutal/MG, onde: B1S-B6S = sub-bacias no período de seca; B1C-B6C = sub-bacias no período de chuva; CT = coliformes termotolerantes; K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; Ca = cálcio; Fe = ferro; PT = fósforo total

Fonte: autoria própria.

Por outro lado, a associação do magnésio, fósforo total, cobre e cálcio ao período chuvoso pode estar ligada ao aumento da mobilização e transporte desses elementos devido ao escoamento superficial e à erosão dos solos adjacentes às nascentes. Baggio e Horn (2008) realizaram um estudo no sedimento do Rio do Formoso, um importante tributário do Rio São Francisco no noroeste do estado de Minas Gerais, localizado no bioma Cerrado, e encontraram valores de Cu maiores no período chuvoso do que no seco.

A presença significativa de fósforo e cálcio no período chuvoso sugere um possível aporte de material orgânico e fertilizantes agrícolas carreados para os corpos d'água durante as chuvas. Esse fenômeno pode ser potencializado pela maior solubilidade desses elementos em ambientes aquáticos sob condições de maior precipitação.

A correlação entre coliformes termotolerantes e o período chuvoso reforça a hipótese de que as chuvas contribuem para o carreamento de matéria orgânica e microrganismos com potencial patogênico para os corpos d'água. Esse efeito pode estar associado ao escoamento superficial de áreas de pastagem ou de ocupação urbana, aumentando a contaminação microbiológica das nascentes. No trabalho realizado Souza *et al.* (2024) que estudou o impacto da ação antrópica em água de nascentes na cidade de Urutaí-GO, os autores também encontraram maiores valores de coliformes termotolerantes no período chuvoso águas torrentes, enchorradas e a ausência de vegetação ripária afetam significativamente o transporte e introdução de materiais alóctones em ecossistemas aquáticos, levando a variações no processamento da matéria orgânica e na contaminação por coliformes termotolerantes (Granjeiro *et al.*, 2024).

Dessa forma, os resultados obtidos apontam que ocorrem diferenças na composição química de sedimentos das nascentes do Cerrado analisadas neste trabalho, com maiores concentrações de alumínio, potássio e ferro no período seco e carreamento de coliformes termotolerantes para a água no período chuvoso. O material alóctone transportado pelas chuvas contribuiu para o aumento de magnésio, fósforo total, cobre e cálcio nos sedimentos durante este período.

## 6. CONCLUSÃO

Com o monitoramento realizado nesse estudo chegou-se à conclusão que a paisagem alóctone influencia na composição química dos sedimentos das nascentes, uma vez que traços de tratos culturais, como correção de solo e adubação foliar foram encontrados nos sedimentos onde a paisagem associada está relacionada com alguma atividade agropecuária, assim, como a caracterização química dos solos do cerrado ficou evidente nos pontos amostrais onde a mata ciliar está preservada. A avaliação de coliformes termotolerantes também foi um ótimo indicador de atividade antrópica, sendo encontrado em grande quantidade em regiões de pastagem próxima às áreas amostrais, uma vez que esta cultura é utilizada para alimentação de bovinos.

Foi verificado que as chuvas possuem influência na composição dos sedimentos, uma vez que ocorre o arraste dos elementos em áreas onde a vegetação nativa não se faz presente.

Os resultados apontam para a corroboração das três hipóteses levantadas: 1- Ocorre diferença na composição de elementos químicos e coliformes termotolerantes da água entre as sub-bacias hidrográficas; 2- Dentro de uma mesma sub-bacia, os pontos apresentam comportamentos diferentes quanto a composição química e microbiológica; 3- os períodos de seca e chuva interferem na composição química dos sedimentos e microbiológica da água das sub-bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B. **Avaliação produtiva de forrageiras em diferentes níveis de adubação.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Tocantins, Campus Araguaína, 34 p., 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 23 nov. 2024.
- ALVES, R. I. S.; SAMPAIO, C. F.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L.; SEGURA-MUÑOS, S. I. Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. **Environmental Research**, v. 133, p. 149-155, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935114001662>. Acesso em: 5 nov. 2024.
- ANYANWU, E. D., ONYELE, O. G. Occurrence and concentration of heavy metals in a rural spring in South-Eastern Nigeria. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 9, 1473–1478, 2018. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/179725>. Acesso em: 03 mar. 2024.
- BAGGIO, H.; HORN, H. A. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no rio formoso, município de Buritizeiro-MG. **Geonomos**, v. 16, n. 2, p. 91-98, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11612>. Acesso em: 05 fev. 2025.
- BANDEIRA, M. S. F.; NASCIMENTO, L. D.; SANTOS, R. F.; TESSMANN, C.; SILVA, A. G.; BANDEIRA, M. L. S. Impactos ambientais de rios com nascentes em unidade de conservação: avaliação preliminar dos rios Mutari e Jardim, Santa Cruz Cabrália, Bahia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 389-417, 2019. Disponível em: [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/6387/4554](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6387/4554). Acesso em: 10 out. 2024.
- BENCHAMIN, D.; RAGHAVAN, S.; SAJIDEVI, A. M. Environmental monitoring of sediment quality and trace metal status in a tropical perennial river in South India: an exploitation using multivariate analysis. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 36, e. 13, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/49PB4w9845j63TNLtsXTC7S/>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- BOTREL, N.; FREITAS, S.; FONSECA, M. J. O.; MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no Bioma Cerrado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018174, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/JjvCDWhsFpnXnytvPwdGXCy/?format=html>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como para as

águas salobras e salinas do território nacional. Brasília: CONAMA, 2005. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 12 dez. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília: Presidente do CONAMA. [2020]. Disponível em: <https://sudema.pb.gov.br/servicos/servicos-ao-publico/legislacao-ambiental/cma/resolucao-conama-no-274.pdf/view>. Acesso em: 5 fev. 2025.

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. Brasília: Presidência da República. [2012]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em: 03 maio 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.

CARDILI, V. **Qualidade química do solo sob sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta e outros diferentes sistemas de uso da terra no bioma cerrado**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia), Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, 2023.

CARVALHO, E. M.; UIEDA, V. S. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, v. 2, p. 287-293, 2004. Disponível e: <https://www.scielo.br/j/rbzool/a/YmKmFW8Yfxr7z9RQMmPqDND/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CARVALHO, C. G. S.; OLIVEIRA, U. R.; PORTO, R. A.; SILVA, N.; FARIAS, R. C. G. Uso de geotecnologias na identificação e na avaliação dos impactos ambientais nas áreas de preservação permanente em nascentes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39362-39380, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/28336>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CASTRO, B. B.; GUILHERMINO, L.; RIBEIRO, R. In situ bioassay chambers and procedures for assessment of sediment toxicity with Chironomus riparius. **Environmental Pollution**, v. 125, n. 3, p. 325-335, 2003. Disponível em: In situ bioassay chambers and procedures for assessment of sediment toxicity with Chironomus riparius - ScienceDirect. Acesso em: 8 ago. 2024.

CAVALCANTE, A. M. S.; SANTOS, R. N. E. S. Determinação de metais pesados (Fe, Mn, Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Zn e Pb), matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento de áreas de manguezal NO Município de Vigia De Nazaré, NE-PA. **Holos Environment**, v. 21, n. 1, p.

105-123, 2021. Disponível em: <https://holos.emnuvens.com.br/holos/article/view/12416>. Acesso em: 10 fev. 2025.

CHAVES, M. R. UFCER: uma universidade no cerrado e para o cerrado. *Ciência e Cultura*, v. 63, n. 3, p. 44-47, 2011. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20180721103238id\\_/http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v63n3/a17v63n3.pdf](https://web.archive.org/web/20180721103238id_/http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v63n3/a17v63n3.pdf). Acesso em: 21 set. 2024.

CLOUD SOFTWARE GROUP, INC. **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.

CRISPIM, J. Q; MALYSZ, S. T. Conservação e proteção de nascentes por meio do solo cimento em pequenas propriedades agrícolas na bacia hidrográfica rio do campo no município de Campo Mourão–PR. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 6, p. 781-790, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1987>. Acesso em: 11 nov. 2024.

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

FARIA, J. R. **Avaliação da influência de polimorfismos do gene da metalotioneína MT2A sobre as concentrações de chumbo (Pb) no sangue, plasma e urina de trabalhadores expostos ao metal**. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Ciências da Saúde) - Instituto de Saúde e Sociedade, Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2020.

FERAREZI, V. S. **Diversidade da comunidade de arqueas em fezes de bovinos de corte submetidos aos sistemas tradicional e semi-intensivo de produção**. 2024. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64133/tde-27082024-120912/>. Acesso em: 04 jan. 2025.

GARCIA, C. A. B.; SANTOS, M. S.; BELLIN, I. C.; SANTOS, E. A. O.; COSTA, S. S. L.; GARCIA, H. L. Determinação de metais em alimentos vegetais produzidos nos perímetros irrigados Jacarecica I e Açude Macela em Sergipe. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e559111638736, 2022. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/38736>. Acesso em: 3 fev. 2025.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.5, n. 2, 2003–2013, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/48001>. Acesso me 15 jan. 2025.

GOMES, D. F.; PINTO, T. J. S.; RAYMUNDO, L. B.; SPERANDEI, V. F.; DAAM, M.; MOREIRA, R. A.; ROCHA, O. Ecological risk assessment for metals in sediment and waters from the Brazilian Amazon region. **Chemosphere**, v. 345, 140413, 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect->

com.ez171.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0045653523026838?via%3Dihub. Acesso em: 12 dez. 2024.

GRANJEIRO, G. F.; SOUZA, C. A.; FAQUIM, R. C. P.; BORGES, P. P.; OLIVEIRA, P. H. F.; NABOUT, J. C.; VIEIRA, L. C. G. Influence of land use, occupation, and riparian zones on zooplankton diversity in Cerrado streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 36, e34, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/kD8k9bLDYsRt7Z39jzGh58R/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/8qM6snZjxMDYKBHhrrw8vFB/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa de população**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/panorama>. Acesso em: 24 nov. 2023.

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](http://idexx.com/water). 2017. Disponível em: <https://www.idexx.es/files/colilert-procedure-en.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 853 p., 1998.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass** – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 10/02/2025.

MEDEIROS, M. L. S.; DEMARTELAERE, A. C. F.; PEREIRA, M. D.; PÁDUA, G. V. G. Adequação do teste de lixiviação de potássio em sementes de Moringa oleifera. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 941-949, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/jVdydVfH6SRJjdGVLTwjsHh/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>**. Raleigh: North Carolina Soil Testing Division, 1953. 195 p.

MELO, J. G.; BRITO, L. M.; SANTOS, E. C. L.; SILVA, A. L. S.; LÓPEZ, A. M. Q.; SILVA, A. C. C. Qualidade físico-química e microbiológica da água de nascentes da bacia hidrográfica do Rio Coruripe, Alagoas-Brasil. *Interfaces Científicas – Saúde e Ambiente*, v. 9, n. 3, p. 53-67, 2024. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/saude/article/view/11812>. Acesso em: 05 fev. 2025.

MORAES, R. A. 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**, v. 5, n. 6, p. 77-96, 2020. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/reis/article/view/4852>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MOREIRA, E. A.; SOUZA, T. S.; DOMINGO, S. S.; SIQUEIRA, A. P. Protocolo de recuperação de nascentes no bioma cerrado. **Informe Goiano**, v. 7, n. 4, p. 1-4, 2019. Disponível em: [https://periodicos.ifgoiano.edu.br/informe\\_goiano/article/view/1050](https://periodicos.ifgoiano.edu.br/informe_goiano/article/view/1050). Acesso em: 11 nov. 2024.

MOREIRA, G. N.; BISCALQUINI, A. C.; GONÇALVES, I. A. V.; SILVA, E. R.; NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. e922021, 2020. Disponível em: [/www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854](https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854). Acesso em: 3 dez. 2024.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado**. 2019. 184 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2019.

OLIVEIRA, L. O. F.; GOMES, R. C.; COSTA, T. G.; CARVALHO, T. A.; CARAMALAC, L. S. Adubação de pastagens degradadas. **Archivos de zootecnia**, v. 73, n. 284, p. 223-232, 2024. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9774991>. Acesso em: 10 jan. 2025.

OLIVEIRA, M. H. R.; CAVALCANTE SOUSA, A. E.; OLIVEIRA, R. S.; AGUAS, M. A.; ÁVILA, E. A. S.; SILVA, W. R.; PEREIRA, D. R. M.; COUTO, C. A. Gestão dos resíduos pós colheita da cana-de-açúcar no cerrado: uso da palhada versus contribuição econômica. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 3406–3421, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6300>. Acesso em: 05 jan. 2025.

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

PAIVA, M. R. J. **Efeitos da mistura de metais no sedimento sobre dano em DNA e peroxidação lipídica nas brânquias da Poecilia reticulata**. 2021. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar) - Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2021.

PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; LACERDA, L. D.; AGUIAR, J. E.; PERES, T. F. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 424-428, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X14005529>. Acesso em: 5 fev. 2025.

PEREIRA, L. C. **Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10645/1/dissertacao-leidiane-candido.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.

PESSI, D. D.; EREIO, P. K. B.; ALVES, G. B. M.; MARTARELLO, A. P.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. Qualidade da cobertura vegetal em áreas de preservação permanente de nascentes. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 270-280, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/29722/16732>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PINTO, M. N.; LIMA, R. A.; MEIRA NETO, J. A. Ecologia funcional: Relação do gradiente pedológico e abundância de espécies lenhosas do Cerrado Brasileiro. **Biota Amazônia**, v. 10, n. 1, p. 6-10, 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/304911159.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PRIMAVESI, Ana. Manual do solo vivo. **São Paulo**: Expressão Popular, p. 2011, 2016.

REIS, L. B. S.; MESQUITA, M. N.; DE-CARVALHO, P. S.; MIRANDA, S. C. Atributos funcionais de espécies vegetais do Cerrado—importância, aspectos metodológicos e ecológicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 19, n. 40, P. 76-92, 2022. Disponível em: <https://conhecer.org.br/enciclop/2022b/atributos.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

RODRIGUES, C. C. S.; SANTOS, L. G. G. V.; SANTOS, E.; DAMASCENO, F. C.; CORRÊA, J. A. M. Polycyclic aromat hydrocarbons in sediments of the Amazon River Estuary (Amapá, Northern Brazil): distribution, sources and potencial ecological risk. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 769-775, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X18305411>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SANO, E. E.; BETTIOL, G. M.; MARTINS, E. S.; VASCONCELOS, V.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C. Características gerais da paisagem do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 1, p. 21-37. 2020.

SANTIAGO, C. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. Avaliação preliminar da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, Córrego Espraiado e Rio Monjolinho, São Carlos—SP. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 77-92, 2014. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/1476>. Acesso em: 4 abril 2024.

SARAIVA, V. K. Avaliação da qualidade de sedimentos – estudo de caso: sub-bacia do Ribeirão Espírito Santo, afluente do Rio São Francisco. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 1995-2002, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/mmLpWbKGs4NpVdCyrzWGVnB/>. Acesso em: 01/10/2024.

SENHUK, A. P. M. S.; ANHÊ, A. C. B. M. Uso de macroinvertebrados bentônicos para análise integrada da sub-bacia do Ribeirão Conquintinha, afluente do Rio Grande (MG, Brasil). **Scientia Plena**, v. 20, n. 2, 022401, 2024. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/7039>. Acesso em: 03 fev. 2025.

SILVA, I. L.; OLIVEIRA, A. S.; MARQUES, R. R. P. V. Modelagem da vazão e análise do escoamento na área de recarga de uma nascente inserida na bacia do rio verde. **Revista Augustus**, v. 25, n. 52, p. 64-81, 2020. Disponível em: <https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/revistaaugustus/article/view/617>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SILVA, J. F.; FONSECA, V. M.; CUNHA, C. A. G. Uso e ocupação do solo: nascentes urbanas em Araxá, MG, Brasil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 2, p. 2405-2416, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/30993>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SOUZA, C. L. F.; OLIVEIRA, R. B.; MUSTRAFÉ, D. N.; NUNES, K. A. C.; MORAIS, E. M. B. O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 17, n. 1, p. 86-113, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5769/576961001006/576961001006.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, N. D.; SILVA, E. L.; MOREIRA, D. A.; REZENDE, D. C. V.; REZENDE, S. D. C.; PEREIRA, E. S.; RODIO, E. Impacts of anthropic action on water quality from spring water. **Region – Water Conservation**, v. 7, n. 1, p. 81-89, 2024. Disponível em: <https://front-sci.com/journal/article?doi=10.32629/rwc.v7i1.2397>. Acesso em: 05 fev. 2025.

TAKEMOTO, K.; KANAMARU, S.; FENG, W. Climatic seasonality may affect ecological network structure: Food webs and mutualistic networks. **Biosystems**, v. 121, p. 29-37, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303264714000835>. Acesso em: 5 nov. 2024.