



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
APLICADAS E GEODINÂMICA**

**ESTUDO DE INDICADORES DA CONTAMINAÇÃO DO
RIO MELCHIOR, DISTRITO FEDERAL, PELA
OCUPAÇÃO DA BACIA POR USO URBANO**

Dissertação de Mestrado n° 212

ANA BEATRIZ DE ALCANTARA ROCHA

Orientador: Prof. Geraldo Resende Boaventura

BRASÍLIA – DF

2023



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
APLICADAS E GEODINÂMICA**

**ESTUDO DE INDICADORES DA CONTAMINAÇÃO DO RIO
MELCHIOR, DISTRITO FEDERAL, PELA OCUPAÇÃO DA
BACIA POR USO URBANO**

ANA BEATRIZ DE ALCANTARA ROCHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 212

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E MEIO
AMBIENTE**

LINHA DE PESQUISA: GEOQUÍMICA AMBIENTAL

BRASÍLIA – DF

2023

ANA BEATRIZ DE ALCANTARA ROCHA

**ESTUDO DE INDICADORES DA CONTAMINAÇÃO DO RIO MELCHIOR,
DISTRITO FEDERAL, PELA OCUPAÇÃO DA BACIA POR USO URBANO**

Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Geoquímica Ambiental

Orientador: Geraldo Resende Boaventura

BRASÍLIA – DF

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

RR672e Rocha, Ana Beatriz de Alcantara
ESTUDO DE INDICADORES DA CONTAMINAÇÃO DO RIO MELCHIOR,
DISTRITO FEDERAL, PELA OCUPAÇÃO DA BACIA POR USO URBANO /
Ana Beatriz de Alcantara Rocha; orientador Geraldo Resende
Boaventura. -- Brasília, 2023.
75 p.

Dissertação(Mestrado em Geociências Aplicadas) --
Universidade de Brasília, 2023.

1. Recursos Hídricos. 2. Geoquímica Ambiental. I.
Boaventura, Geraldo Resende, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

Sou grata à minha família, pelo apoio e amor incondicionais, que são minha fortaleza e base para a realização de todos os meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Geraldo Resende Boaventura, pela oportunidade, disponibilidade, suporte, orientação, ensinamentos, paciência e apoio durante todo o processo. Sou muito grata por ter tido um orientador tão presente e sempre disposto a me auxiliar com tudo o que precisei!

Agradeço a pessoas fundamentais para a realização deste trabalho, sem as quais nada disso seria possível: ao Caio, pela parceria fundamental na realização do trabalho; à equipe do LAGEQ, Myller, professor Jérémie e Fernando, pelo apoio com análises no laboratório; à minha querida amiga Vitória, pelo apoio em campo e pelo auxílio de sempre; ao Mendes, pelo suporte e ótima companhia em campo.

Agradeço à Universidade de Brasília e ao Instituto de Geociências, por me acolher desde a graduação, pela oportunidade de continuidade de crescimento e aprimoramento e pela infraestrutura disponibilizada para a execução deste trabalho.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

EPÍGRAFE

“Perto de muita água, tudo é feliz.”

Maria Bethânia

RESUMO

A expansão urbana não planejada gera efeitos negativos sobre o meio ambiente, inclusive sobre corpos hídricos, que são sensíveis a esses impactos. A qualidade da água de uma bacia reflete os processos e atividades desenvolvidas na região. No Distrito Federal, alguns rios tornam-se o destino de descargas de diferentes tipos de efluentes domésticos, como é o caso do Rio Melchior. Este rio é o principal afluente do Rio Descoberto e é um corpo d'água com problemas recorrentes de contaminação e alteração com poucos estudos visando indicadores geoquímicos de contaminação. O Rio Melchior pode ser considerado um corpo hídrico fortemente afetado por atividades vinculadas à urbanização, uma vez que nesta região não há indústrias, mineração ou outras atividades potencialmente poluentes. O objetivo geral deste estudo é identificar os indicadores de contaminação por ocupação urbana na bacia. Os procedimentos adotados incluem: coleta de amostras de água e sedimentos de fundo; medições de parâmetros físico-químicos como condutividade elétrica, temperatura, pH e total de sólidos dissolvidos na água; determinações de elementos químicos (maiores e traços) usando as técnicas analíticas Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP/OES), Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) e cromatografia iônica; tratamento estatístico dos dados por meio de Índices de Geoacumulação e Fatores de Enriquecimento, para identificação das possíveis anomalias geoquímicas. Os resultados indicaram que a qualidade ambiental da água e dos sedimentos do rio Melchior mostrou-se alterada devido às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia. As análises das amostras de água evidenciaram os parâmetros condutividade elétrica, cálcio, sódio, amônia, nitrato, cloreto, sulfato e bicarbonato como indicadores de alterações de qualidade da água. As análises por índices de geoacumulação apontaram os parâmetros fósforo, cálcio, cobre, zinco, titânio, estrôncio, sódio e vanádio como indicadores de contaminação em sedimentos. As análises por fatores de enriquecimento evidenciaram os parâmetros fósforo, cobre, zinco, cálcio, sódio, manganês, níquel, estrôncio e zinco como indicadores da alteração da qualidade ambiental dos sedimentos na bacia.

Palavras-chave

Ocupação Urbana; Qualidade da Água; Geoquímica de Sedimentos.

ABSTRACT

Unplanned urban sprawl generates negative effects on the environment, including on water bodies, which are sensitive to these impacts. The quality of the water in a watershed reflects the processes and activities developed in the region. In the Federal District, some rivers become the destination of different types of domestic effluent discharges, as it happens in the Melchior River. This river is the main tributary of the Descoberto River and is a water body with recurrent contamination and alteration problems with few studies aiming at geochemical indicators of contamination. The Melchior River can be considered strongly affected by activities related to urbanization, since there are no industries, mining or other potentially polluting activities in this region. The general objective of this study is to identify the indicators of contamination by urban occupation in the basin. The adopted procedures include: sampling of water and bottom sediment; measurements of physicochemical parameters such as electrical conductivity, temperature, pH and total dissolved solids in the water; determination of chemical elements (major and trace) using the analytical techniques Optical Emission Spectrometry with Plasma (ICP/OES), Atomic Absorption Spectrometry (AAS) and ion chromatography; statistical treatment of the data by means of Geoaccumulation Index and Enrichment Factors, to identify possible geochemical anomalies. The results indicate that the environmental quality of water and sediments of Melchior River is altered due to anthropic activities developed in the basin. Analysis of water samples highlighted the parameters electrical conductivity, calcium, sodium, ammonia, nitrate, chloride, sulfate and bicarbonate as indicators of water quality alterations. Analyses using geoaccumulation indices pointed to the parameters phosphorus, calcium, copper, zinc, titanium, strontium, sodium and vanadium as indicators of contamination in sediments. Analyses by enrichment factors demonstrated that the parameters phosphorus, copper, zinc, calcium, sodium, manganese, nickel, strontium and zinc can indicate altered environmental quality of sediments in the basin.

Keywords

Urban Occupation; Water Quality; Sediments Geochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo. Fonte: Autor, 2023	7
Figura 2 – Gráfico de temperaturas médias mensais registradas de 1991 a 2020. Fonte: INMET.....	8
Figura 3 – Gráfico de precipitação acumulada mensal registrada de 1991 a 2020. Fonte: INMET.....	8
Figura 4 – Mapa geológico da área de estudo. Fonte dos dados: CPRM, 2008.	9
Figura 5 – Mapa pedológico da área de estudo. Fonte dos dados: IBGE, 2015.	11
Figura 6 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo da UH Rio Melchior. Fonte dos dados: IDE/DF, 2023.	12
Figura 7 – Mapa de localização das potenciais fontes de contaminação do Rio Melchior.	13
Figura 8 – Mapa de localização dos pontos de coleta.	21
Figura 9 – Ponto de coleta P2. Observa-se presença de vegetação rasteira nas margens do rio, blocos rolados de rocha e fragmentos de resíduos plásticos no leito do rio.	23
Figura 10 – Ponto de coleta P6. Observa-se presença de vegetação nas margens do rio e produção agrícola a jusante do ponto.	23
Figura 11 – Ponto de coleta P12. Nota-se presença de lajedos rochosos, vegetação nativa e ausência de poluentes visualmente perceptíveis.	24
Figura 12 – Projeção espacial da ordenação dos vetores nas duas componentes principais.	28
Figura 13 – Mapas de distribuição dos valores de pH ao longo da bacia em período de seca e de chuvas.	30
Figura 14 – Mapas de distribuição dos valores de condutividade elétrica ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em $\mu\text{S}/\text{cm}$).	31
Figura 15 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Ca na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	32
Figura 16 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Cl^- na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).....	33
Figura 17 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Fe na água ao longo	

da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	34
Figura 18 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de HCO_3^- na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	35
Figura 19 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de K na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	36
Figura 20 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Mg na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	37
Figura 21 - Mapas de distribuição dos valores de concentração de Na na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	38
Figura 22 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de NH_4^+ na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	39
Figura 23 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de NO_3^- na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	40
Figura 24 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de PO_4^{3-} na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	41
Figura 25 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Si na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	42
Figura 26 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de SO_4^{2-} na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).	43
Figura 27 – Projeção espacial da ordenação dos vetores nas duas componentes principais.	46
Figura 28 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de CaO em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em %).	54
Figura 29 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Cu em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).	55
Figura 30 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Na_2O em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em %).	56
Figura 31 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Ni em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).	57
Figura 32 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de P em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).	58
Figura 33 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Sr em sedimentos ao	

longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).59

Figura 34 – Mapas de distribuição dos valores de concentração de Zn em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Íons liberados no contexto geológico do Distrito Federal (adaptado de Mizuno, 2012)	10
Tabela 2 – Classes de uso e cobertura do solo na bacia do rio Melchior.....	11
Tabela 3 – Limites de detecção do Espectrômetro de Massa Agilent 5100.....	15
Tabela 4 – Limites de detecção do Cromatógrafo Iônico Metrohm modelo 881 Compact IC pro.....	16
Tabela 5 – Resultados obtidos para o padrão ION915 (valores em mg/L)	17
Tabela 6 – Resultados obtidos para o padrão PERADE (valores em mg/L)	17
Tabela 7 – Resultados obtidos para o padrão SAN JOAQUIN SOIL (valores em mg/L)	18
Tabela 8 – Classificação da qualidade dos sedimentos de acordo com suas classes de fatores de enriquecimento	19
Tabela 9 – Valores dos Índices de Geoacumulação e seus respectivos níveis de contaminação	20
Tabela 10 – Estatística descritiva dos parâmetros analisados em água na UHRM, n=18	25
Tabela 11 – Tabela comparativa de parâmetros de qualidade de água	26
Tabela 12 – Autovalores, porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados	27
Tabela 13 – Cargas das variáveis nas componentes principais	28
Tabela 14 – Estatística descritiva dos parâmetros analisados em sedimentos na UHRM, n=15	44

Tabela 15 – Autovalores, porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados	45
Tabela 16 – Cargas das variáveis nas componentes principais	45
Tabela 17 – Classificação das amostras segundo os Índices de Geoacumulação, com valores de <i>background</i> da crosta continental de Wedepohl (1995)	48
Tabela 18 – Classificação das amostras segundo os Índices de Geoacumulação, com valores de <i>background</i> do ponto P12 (<i>background</i> local)	50
Tabela 19 – Valores de Fatores de Enriquecimento das amostras analisadas (<i>background</i> da crosta continental)	52
Tabela 20 – Valores de Fatores de Enriquecimento das amostras analisadas (<i>background</i> do ponto P12)	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS – *Atomic Absorption Spectroscopy*

APHA – *American Public Health Association*

AWWA – *American Water Works Association*

BHRD – Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto

BRF – Braço do Riacho Fundo

CI – Cromatografia Iônica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FE – Fatores de Enriquecimento

ICP/MS – Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy

ICP/OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy

IDE/DF – Infraestrutura de Dados Espaciais do Distrito Federal

Igeo – Índice de Geoacumulação

LAGEQ – Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília

LD – Limite de detecção

NIST – National Institute for Standards and Technology

ONU – Organização das Nações Unidas

PC – Principal Componente

PCA – Principal Component Analysis

UHRM – Unidade Hidrográfica do Rio Melchior

TDS – Total Dissolved Solids

WPCF – *Water Pollution Control Federation*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
1. Introdução	1
2. Objetivos	2
3. Referencial Teórico	2
3.1. Análise da qualidade da água	2
3.1.1. Parâmetros de qualidade da água avaliados	3
3.2. Geoquímica de sedimentos	4
3.3. Estudos anteriores desenvolvidos no Distrito Federal	5
3.4. Área de estudo	6
3.4.1. Clima	7
3.4.2. Geologia	8
3.4.3. Pedologia	10
3.4.4. Uso e Cobertura do Solo	11
4. Materiais e métodos	13
4.1. Métodos analíticos	14
4.1.1. Controle Analítico dos Dados	16
4.2. Tratamento Estatístico	18
4.2.1. Análise de Componentes Principais	18
4.2.2. Índices de Geoacumulação e Fatores de Enriquecimento	18
4.3. Pontos de Coleta	20
4.4. Análise Espacial	24
5. Resultados e Discussão	24
5.1. Análise de Água	24
5.1.1. Análise descritiva	24
5.1.2. Análise de Componentes Principais (PCA)	27
5.1.3. Análise Espacial	29
5.2. Análise de Sedimentos	43
5.2.1. Estatística Descritiva	43
5.2.2. Análise de Principais Componentes (PCA)	44

5.2.3. Índices de Geoacumulação	47
5.2.4. Fatores de Enriquecimento	51
5.2.5. Análise Espacial	54
6. Considerações Finais	60
7. Referências Bibliográficas	63

1. Introdução

Crescimento populacional desordenado e expansão urbana não planejada geram efeitos negativos sobre o meio ambiente. Intervenções antropogênicas estão diretamente relacionadas aos problemas ambientais ocasionados pelo mau uso dos recursos, afetando os meios físico e biológico em processos com efeitos antrópicos. Assim, é fundamental compreender os impactos gerados nos ciclos naturais, com o objetivo de prever e remediar danos ambientais (Banai & DePriest, 2014).

A urbanização é um processo crescente em todo o mundo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas, porcentagem contrastante com os 10% em 1900 (Grimm *et al.*, 2008). Esse acelerado crescimento resulta em alterações da qualidade ambiental, tais como: mudanças nos ciclos biogeoquímicos; aumentos nas cargas de nutrientes em rios (quando o tratamento do esgoto é inadequado ou inexistente); aumento na emissão de gases do efeito-estufa, acelerando o processo de alteração climática; diminuição da biodiversidade; erosão dos solos; alteração das características físico-químicas dos corpos d'água e solos locais (Foster & Charlesworth, 1993; Grimm *et al.*, 2008).

A cidade de Brasília (Brasília e cidades satélite) é a 4^a mais populosa do Brasil, superando 3 milhões de habitantes em 2021 (IBGE, 2021). Trata-se de uma região com crescimento urbano acelerado, tendo em vista que é uma cidade jovem, com taxa de crescimento de 2,19% ao ano em 2018 (Codeplan, 2018). Das regiões administrativas do Distrito Federal, destacam-se Ceilândia, Samambaia e Taguatinga, dentre as 5 mais populosas (Codeplan, 2020).

No Distrito Federal, 87,9% da área possui sistema de esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2021). Na região sudoeste do Distrito Federal, o rio Melchior recebe efluentes tratados de uma estação de tratamento de esgoto (ETE Melchior). Este rio é o principal afluente do rio Descoberto a jusante da barragem homônima na mesma região, responsável pelo abastecimento de água potável destinada ao consumo da população do Distrito Federal (ANA, 2010).

Trata-se de um corpo d'água com problemas recorrentes de contaminação e alteração com poucos estudos visando indicadores geoquímicos de contaminação (Carmo *et al.*, 2005). Neste estudo, considerou-se que esses indicadores são elementos químicos que estejam presentes em água ou sedimento em quantidades superiores às naturais. Um aspecto importante é que este curso d'água pode ser considerado um corpo hídrico

fortemente afetado por atividades vinculadas à urbanização, uma vez que nesta região não há indústrias, mineração ou outras atividades potencialmente poluentes. Os indicadores obtidos poderão, portanto, ser aplicados em outras áreas com ocupação eminentemente urbana.

2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é identificar indicadores geoquímicos de processos de alteração e/ou contaminação por ocupação urbana na bacia do Rio Melchior.

Os objetivos específicos incluem:

- Identificar as espécies químicas presentes na bacia em quantidades superiores às naturais, por meio de análises estatísticas como Índices de Geoacumulação e Fatores de Enriquecimento;
- Fazer um levantamento das anomalias geoquímicas geradas por ocupação urbana, para que essas informações possam ser aplicadas em estudos futuros.

3. Referencial Teórico

Os rios são recursos naturais de grande relevância para o desenvolvimento das atividades humanas, podendo ter diversos usos, tais como: fonte de água para beber, abastecimento doméstico, irrigação na agricultura, transporte, geração de energia elétrica, recreação e outras atividades humanas (Venkatramanan *et al.*, 2014). Esses corpos hídricos são sistemas sensíveis às atividades antrópicas e, devido à sua grande relevância ambiental e econômica, devem ser alvos de estudos que visem melhor compreensão dos processos envolvidos.

3.1. Análise da qualidade da água

A qualidade da água de bacias hidrográficas reflete diretamente as atividades desenvolvidas na bacia. A maior parte dos reservatórios de água doce do planeta vem sendo poluída, em função do crescimento populacional e urbano, industrialização, uso de fertilizantes, ou seja, das ações antrópicas (Halim *et al.*, 2018). A análise da qualidade da água pode envolver parâmetros físico-químicos, biológicos e geoquímicos, sendo fundamental para a determinação do nível de conservação/degradação dos corpos hídricos (Dunca, 2018).

A geoquímica é ferramenta útil na avaliação da qualidade ambiental e, integrada

a outras áreas do conhecimento, fornece informações sobre composição mineralógica e química em amostras de rochas, minerais, solos, sedimentos, água e biológicas. Ademais, proporciona análises de parâmetros físico-químicos, que são também importantes indicadores da qualidade da água, permitindo a identificação de poluentes e a presença de fatores antropogênicos.

3.1.1. Parâmetros de qualidade da água

A condutividade elétrica mede a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, em função dos compostos químicos inorgânicos dissolvidos na água. Assim, tem relação direta com a salinidade e a temperatura da água. Trata-se de um parâmetro importante na avaliação da qualidade da água, pois alterações na condutividade podem indicar alterações ambientais no corpo hídrico (US EPA, 2022). Valores elevados de condutividade elétrica não significam necessariamente que exista contaminação na água, e essa avaliação deve ser sempre realizada em conjunto com a análise de outros parâmetros, bem como com a interpretação da influência da geologia local.

O parâmetro Sólidos Totais Dissolvidos descreve a presença de sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvidos na água, correspondendo ao peso total dos constituintes presentes na água, por unidade de volume. Juntamente com a condutividade elétrica, esta medida tem relação direta com a salinidade da água, sendo importantes na avaliação da qualidade ambiental das águas (Rusydi, 2018; Carvalho, 2013).

O pH mede o balanço ácido de uma solução, tendo uma escala variável de 0 a 14, sendo os valores abaixo de 7 indicativos de acidez, e valores acima de 7 indicativos do aumento da alcalinidade (Chapman & Kimstach, 1996). O pH pode ter influência nos ecossistemas aquáticos naturais, sobre a biota e sobre a química das águas, uma vez que influencia na precipitação de metais e na solubilidade de nutrientes.

Os valores de pH são controlados tanto por fatores naturais, como dissolução das rochas, oxidação da matéria orgânica e absorção de gases atmosféricos, quanto por influência de atividades antrópicas, como despejo de esgotos, em razão da oxidação da matéria orgânica (Von Sperling, 2005).

Seis tipos de ânions foram avaliados: fluoreto (F^-), cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), bicarbonato (HCO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}). A ocorrência desses parâmetros pode ter origem natural, associada à geologia regional, ou antrópica, sendo resultado de atividades como despejo de efluentes domésticos e uso de fertilizantes na agricultura

(Gonçalves *et al.*, 2018; Aram *et al.*, 2021; Netto *et al.*, 2016).

A análise da concentração de metais é importante para a avaliação da qualidade dos corpos hídricos, uma vez que esses elementos não se degradam física ou biologicamente e permanecem no ambiente transitando entre os diferentes compartimentos (Botero *et al.*, 2014). Os fatores que influenciam a solubilidade dos metais na água incluem pH, temperatura, fluxo do rio e Eh (Olaniran *et al.*, 2014).

3.2. Geoquímica de sedimentos

O estudo da qualidade ambiental de um corpo hídrico pode envolver diferentes compartimentos, dentre eles os sedimentos. Os sedimentos constituem parte fundamental desse tipo de análise, uma vez que atuam como “reservatórios” de contaminantes no ambiente aquático, devido à presença de carbonatos, hidróxidos, silicatos, sulfetos, fosfatos e material orgânico em sua composição (Botero *et al.*, 2014).

A análise química de sedimentos aquáticos é útil para a compreensão da distribuição das concentrações naturais ou antrópicas dos elementos. Os metais, tanto de origem natural (constituindo o *background*), quanto de origem antrópica, se acumulam nos sedimentos por um período maior do que ficam disponíveis na coluna d'água (Esteves, 1988). Sendo assim, esse estudo é indispensável para se estimar o grau de contaminação ambiental.

Algumas variáveis podem influenciar no processo de acumulação de metais nos sedimentos, dentre elas: tamanho dos grãos, capacidade de adsorção dos sedimentos, estado eletrônico e/ou oxidação, porosidade, pH, presença de matéria orgânica e argilominerais (Maia *et al.*, 2005). O processo de adsorção é influenciado por parâmetros físico-químicos como pH, potencial oxidativo-redutor, oxigênio dissolvido, conteúdo de carbono orgânico e inorgânico e presença de alguns ânions e cátions dissolvidos na água (Ghrefat & Yusuf, 2006).

O tamanho dos grãos é um fator de fundamental importância na dinâmica dos metais. As partículas que têm maior capacidade de acumular e transportar metais são aquelas com menor tamanho de grão e maior área superficial (Tonhá, 2021). Além das frações mais finas do sedimento (<0,02mm), que são capazes de realizar adsorção, os óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al, os carbonatos e os sulfetos são as principais fases ligantes de metais nos sedimentos.

3.3. Estudos anteriores desenvolvidos no Distrito Federal

No Distrito Federal, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de avaliar a qualidade ambiental de corpos hídricos, uma vez que estes sofrem impactos ambientais devido ao crescente processo de urbanização.

Na Bacia do Rio Descoberto, onde está inserido o Rio Melchior, foram realizados alguns trabalhos. Do Carmo *et al.* (2005) analisaram a geoquímica das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, por meio de parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, turbidez, cor, alcalinidade), quantificação de ânions e de metais. Foram observadas elevadas concentrações de Ca, Mg, P, Na, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ e NH₄⁺, provenientes de despejos de esgotos domésticos da cidade de Taguatinga.

Na Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Descoberto, foi desenvolvido um estudo visando avaliar os níveis de espécies químicas potencialmente tóxicas na área (Portela, 2020). Realizou-se amostragens nos afluentes e no reservatório do Descoberto, para quantificação de parâmetros físico-químicos, ânions e metais em água e sedimento. Observou-se aumento nas concentrações de Al, Ca, Mg e Sr na água do reservatório, o que foi associado ao escoamento superficial da região agrícola da área de estudo. Foram realizadas comparações entre os tipos de ambientes presentes na área, e destacou-se a diferença significativa de concentrações de Hg entre afluentes e reservatório, indicando o processo de acúmulo de Hg total no reservatório.

Na região do Córrego Vicente Pires, foi realizado um estudo que analisou a qualidade das águas urbanas do córrego (Costa & Koide, 2020). Trata-se de uma região fortemente afetada pela ocupação urbana. As alterações na qualidade da água foram avaliadas por meio da determinação de parâmetros físico-químicos. Foram desenvolvidos polutogramas para os parâmetros condutividade elétrica, turbidez, pH, sólidos, demanda química de oxigênio, nitrogênio e fósforo. No período seco, destacou-se a elevada concentração de nitrato, resultante dos lançamentos de esgoto doméstico no córrego. As conclusões incluem apontamento para necessidade de investimento em infraestrutura de coleta de esgoto e drenagem urbana na área.

Outra região que recebe atenção de trabalhos científicos no Distrito Federal é a Bacia do Lago Paranoá. Echeverria (2007) realizou avaliação de impactos ambientais nos tributários do Lago, avaliando as condições físico-químicas e geoquímicas das suas águas e sedimentos. Os métodos utilizados foram espectrofotometria UV-visível, ICP/OES e difratometria de raios-X. Os resultados demonstraram elevadas concentrações de amônia,

fosfato e alcalinidade, associados ao despejo de esgoto doméstico, lixo, escoamento de fertilizantes e insumos agrícolas. Além disso, pela análise dos sedimentos, foi possível a identificação de elementos-traço (Zn, Cr, V, Ba e Sr) adsorvidos nos argilominerais, associados a rejeitos de materiais de construção, como cimento e areia. Os dados indicam que todos os tributários sofrem influência da ação antrópica.

Dias (2017) analisou processos geoquímicos na interface sedimento-água no braço Riacho Fundo do Lago Paranoá, principal fonte de poluentes que deságua no lago. O estudo teve o objetivo de estudar perfis de água intersticial e sedimentos depositados, visando a caracterização sedimentológica, geoquímica e mineralógica. Foram coletadas amostras de água superficial, água intersticial e sedimentos. As amostras de sedimentos passaram por fusão total. As amostras líquidas foram então analisadas por alguns equipamentos (AAS, ICP-OES, ICP-MS e CI), para a obtenção das concentrações de elementos maiores, traços e elementos terras raras. Os resultados demonstraram que o braço Riacho Fundo atua como principal contribuinte de materiais em suspensão e carbono orgânico particulado, além de ser fonte de elementos dissolvidos nas águas superficiais, com destaque para Fe e Zn. Nas águas intersticiais, os elementos mais representativos com relação à mobilização e fluxos dos sedimentos para a coluna d'água foram P, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn, Zn e Cu. Além disso, a ETE-Sul influencia nas concentrações de nutrientes e matéria orgânica dissolvida nos sedimentos e água superficial.

Na Bacia do Gama, Moura (2008) desenvolveu um estudo geoquímico e avaliação da qualidade de água. O objetivo do trabalho foi identificar a influência dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo na bacia e determinar as fontes de alteração da qualidade da água. As análises geoquímicas contaram com dados de pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, alcalinidade, turbidez, cor, dureza, nitrato, nitrito, amônia, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos totais, DBO, DQO, vazão e os elementos Ca, Mg, Fe, Al, Si, P, Na, K, Mn e Cu. Foram observadas alterações associadas à ocupação humana, valores elevados de Ca, Mg, Fe, Al e Si. Fe, Al e Si, provenientes de argilominerais contidos na geologia local, apontam para a ocorrência de processos erosivos devido à ausência de mata ciliar. Ca e Mg foram considerados oriundos de materiais de construção civil, argilominerais e insumos agrícolas.

3.4. Área de estudo

A área de estudo abrange a bacia do Rio Melchior, localizado na porção sudoeste

Figura 2. Gráfico de temperaturas médias mensais registradas de 1991 a 2020. Fonte: INMET.

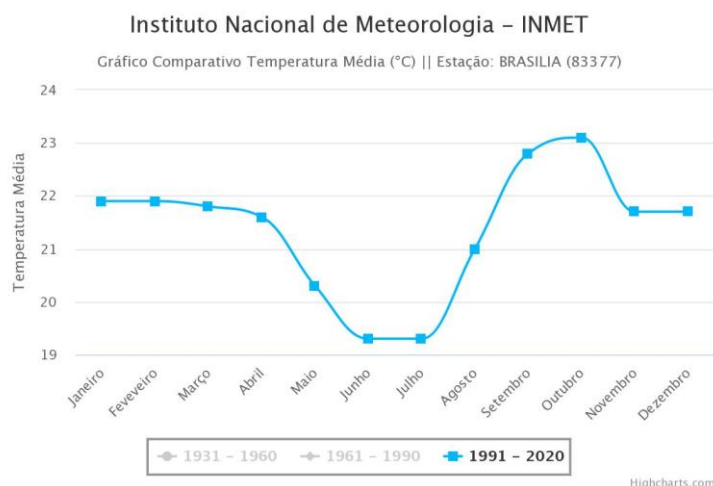
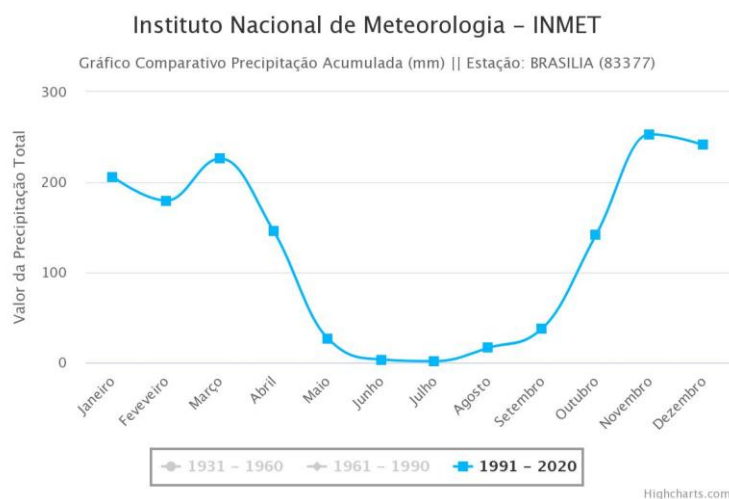


Figura 3. Gráfico de precipitação acumulada mensal registrada de 1991 a 2020. Fonte: INMET.



3.4.2. Geologia

De acordo com o mapeamento geológico realizado pela CPRM (2008), em escala 1:500.000, a geologia da Unidade Hidrográfica Rio Melchior (UHRM) é constituída por unidades litológicas pertencentes aos Grupos Canastra e Paranoá, além da ocorrência de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas.

O Grupo Canastra está representado na área pela Formação Chapada dos Pilões, em suas duas litofácies. A Litofácies 1 (MPcp1) é constituída por quartzo-sericita-clorita xistos com intercalações de quartzitos micáceos, laminados, brancos e finos a médios, enquanto a Litofácies 2 (MPcp2) é composta por ortoquartzitos médios a grossos com intercalações de quartzo-sericita-clorita xistos e lentes de quartzito (Campos *et al.*, 2013).

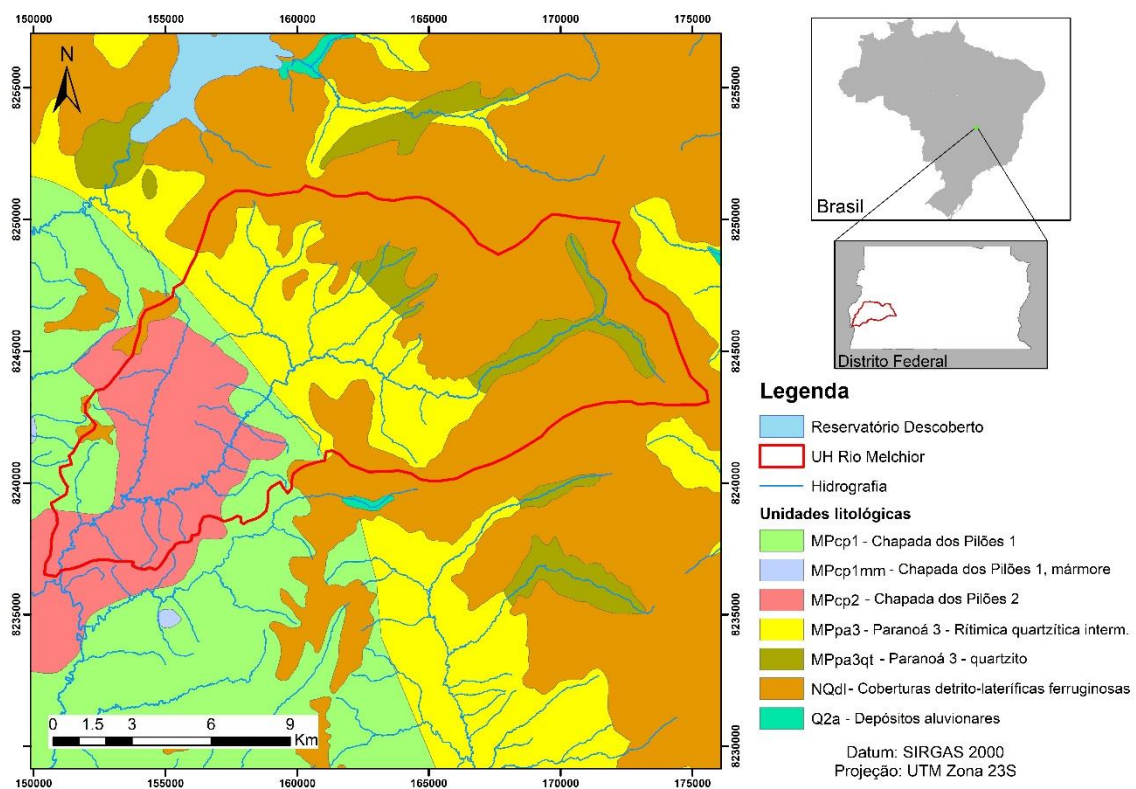
Ocorrem duas litofácies pertencentes ao Grupo Paranoá na área de estudo: Unidade 3 – Rítmica Quartzítica Intermediária (MPpa3), que inclui ardósias, quartzitos

finos a médios e raros conglomerados intraformacionais e calcários com ocasionais lâminas de metassiltitos e metargilitos e intercalações de quartzitos finos a médios, localmente grossos; e Unidade 3 – Quartzito (MPpa3qt), correspondendo à base da unidade e composta por quartzito fino (Campos *et al.*, 2013).

Boa parte da área é mapeada com a ocorrência de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (NQdl). Esta unidade tem ampla distribuição na área de estudo e atapeta superfícies de aplainamento desenvolvidas sobre rochas de todas as unidades litoestratigráficas.

A Figura 4 apresenta o mapa geológico da área de estudo, confeccionado a partir dos dados disponibilizados pela CPRM referentes ao mapeamento realizado no estado de Goiás e no Distrito Federal.

Figura 4. Mapa geológico da área de estudo. Fonte dos dados: CPRM, 2008.



Mizuno (2012) apresentou uma tabela relacionando os íons liberados no contexto geológico do Distrito Federal, de acordo com as Unidades Litológicas e a mineralogia constituinte de cada litotipo. Os dados de interesse para este trabalho estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Íons liberados no contexto geológico do Distrito Federal (adaptado de Mizuno, 2012).

Litologia (e Unidades Litoestratigráficas)	Mineral	Íons Liberados
Quartzitos (Grupos Paranoá, Araxá e Canastra)	Plagioclásio	Na ⁺ ; Si ²⁺
Quartzitos (Grupos Paranoá, Araxá e Canastra)	Muscovita	K ⁺ ; Si ²⁺
Ardósias (Grupo Paranoá)	Fengita	K ⁺ ; Si ²⁺ ; Fe ²⁺ ; Mg ²⁺
Metapelitos (Grupo Paranoá) Ardósias (Grupo Paranoá)	Sericita	K ⁺ ; Si ²⁺
Metapelitos (Grupo Paranoá) Quartzitos (Grupos Paranoá, Araxá e Canastra)	Biotita	Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ²⁺
Ardósias (Grupo Paranoá) Metapelitos (Grupo Paranoá)	Pirofilita	Si ²⁺
Ardósias (Grupo Paranoá) Metapelitos (Grupo Paranoá)	Clorita	Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ²⁺
Metapelitos (Grupo Paranoá)	Caulinita	Si ²⁺
Argilitos (Grupo Paranoá)	Ilita	K ⁺ ; Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ²⁺
Argilitos (Grupo Paranoá)	Esmectita	Mg ²⁺ ; Ca ²⁺ ; Na ⁺ ; Si ²⁺
Calcários	Calcita	Ca ²⁺ ; HCO ₃ ⁻
Dolomitos e Carbonatos	Dolomita	Mg ²⁺ ; Ca ²⁺ ; HCO ₃ ⁻

Assim, os íons geogênicos provenientes das rochas presentes na área de estudo são Si²⁺, Na⁺, K⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e HCO₃⁻.

3.4.3. Pedologia

De acordo com o mapeamento realizado pelo IBGE (2015), ocorrem três tipos de solos na área da Unidade Hidrográfica Rio Melchior. Predominam Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, seguidos por Cambissolos Háplicos Distróficos, e com menor representatividade, Latossolos Vermelhos Distróficos.

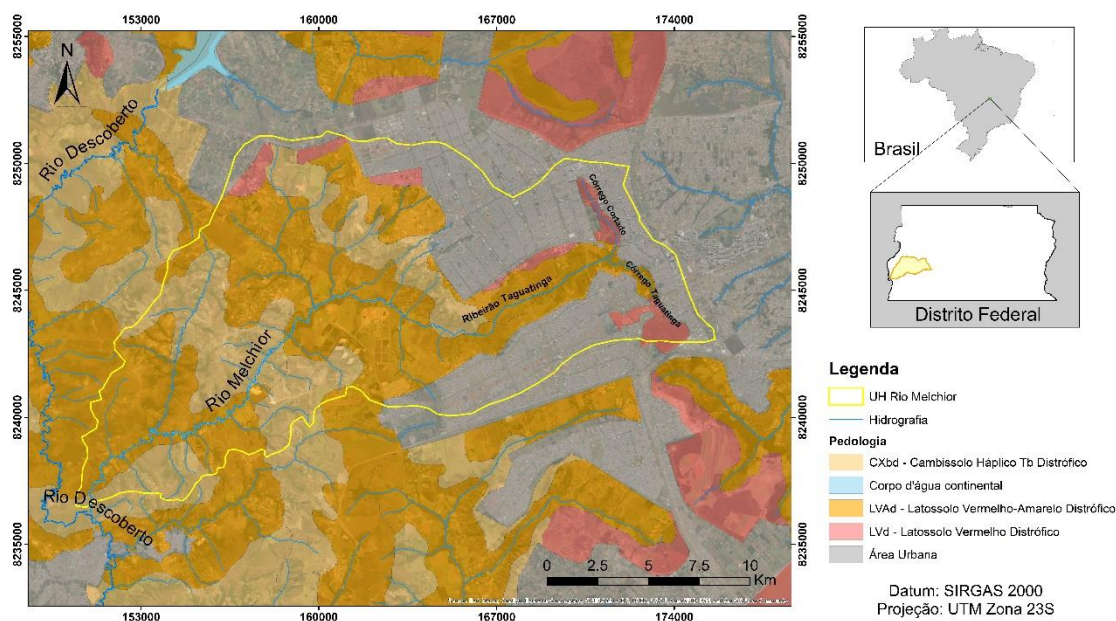
Latossolos são solos altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil, concentrando minerais secundários do grupo da caulinita, óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe e Al. Em geral, estão associados a formas de relevo residuais de superfícies de aplainamento (Santos *et al.*, 2018).

Já os cambissolos são solos pouco desenvolvidos, com horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração física e química, com presença de minerais primários facilmente intemperizáveis. Geralmente, estão associados a relevos mais movimentados (Santos *et al.*, 2018).

A Figura 5 apresenta o mapa pedológico da área de estudo, confeccionado a partir

dos dados disponibilizados pelo IBGE.

Figura 5. Mapa pedológico da área de estudo. Fonte dos dados: IBGE, 2015.



3.4.4. Uso e Cobertura do Solo

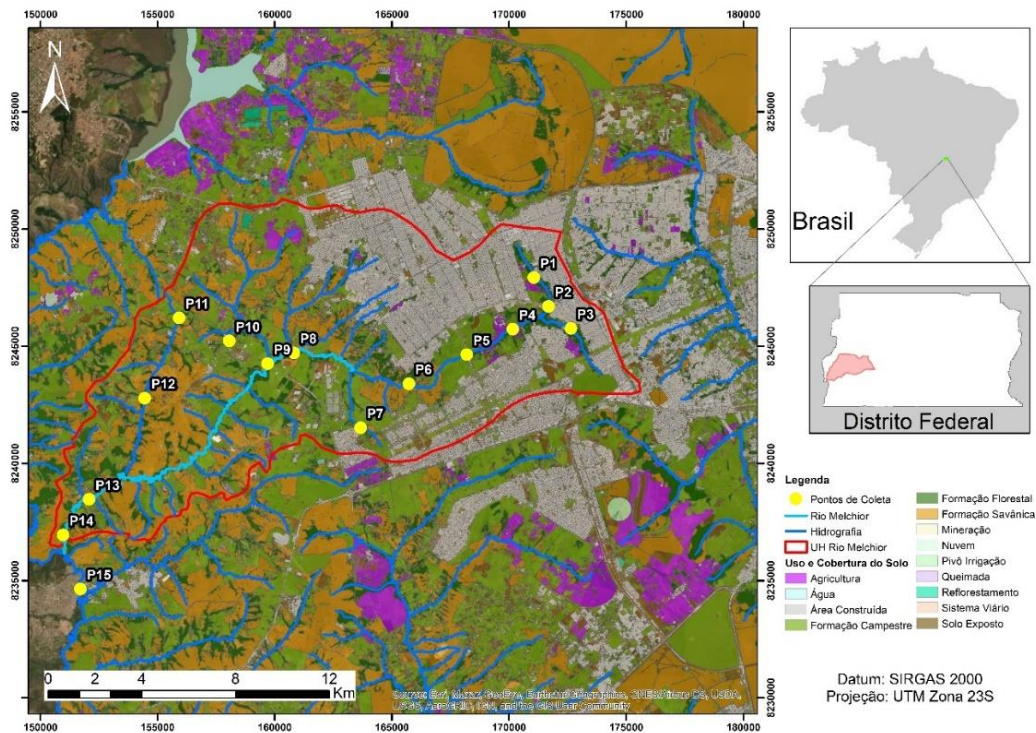
De acordo com mapeamento disponibilizado pela IDE/DF (2023), a Unidade Hidrográfica do Rio Melchior possui sua área ocupada por alguns tipos de usos do solo, sendo os principais Formação Campestre (ocupando cerca de 30% da área), Áreas Construídas (ocupando cerca de 24% da área) e Formação Savânica (com cerca de 24% da área) (Tabela 2 e Figura 6).

Tabela 2. Classes de uso e cobertura do solo na bacia do rio Melchior.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Formação Campestre	6141.708	29.745
Área Construída	4905.564	23.758
Formação Savânica	4824.383	23.365
Formação Florestal	2582.479	12.507
Sistema Viário	976.038	4.727
Solo Exposto	872.925	4.228
Agricultura	281.687	1.364
Queimada	22.530	0.109
Reflorestamento	22.264	0.108
Mineração	12.934	0.063
Água	4.941	0.024
Nuvem	0.337	0.002

As áreas construídas estão concentradas principalmente na região mais à montante do Rio Melchior, circundando as nascentes dos Córregos Cortado e Taguatinga e a extensão do Ribeirão Taguatinga.

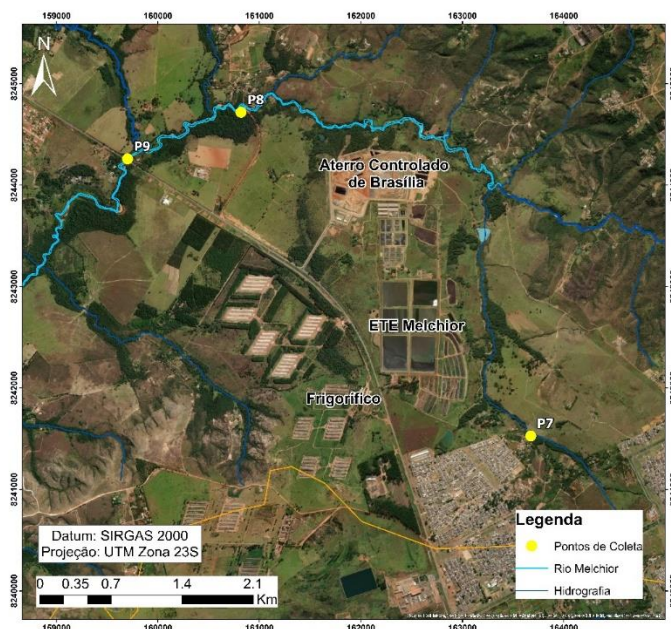
Figura 6. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da UH Rio Melchior. Fonte dos dados: IDE/DF, 2023.



Destaca-se a presença de alguns empreendimentos que podem contribuir fortemente para a contaminação da água e sedimentos do Rio Melchior, localizados na região central da bacia (a montante dos pontos P8 e P9): Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Melchior, Aterro Sanitário do Distrito Federal e 2 frigoríficos (Bonasa e Seara) (Figura 7).

Essa região da bacia está também sob forte influência urbana dos setores Sol Nascente e Pôr do Sol, cuja urbanização ocorreu de forma não planejada, sem infraestrutura básica. A consequência é que atualmente, esses bairros apresentam diversas deficiências em serviços e condições urbanas, o que pode intensificar a carga de poluentes despejados no rio Melchior (Alencar, 2023).

Figura 7. Mapa de localização das potenciais fontes de contaminação do Rio Melchior.



4. Materiais e métodos

Os procedimentos adotados no projeto foram definidos conforme suas necessidades e exigências específicas. Foram coletadas amostras de água e sedimentos na região de estudo, em acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA (ANA, 2018).

As amostras de água foram coletadas utilizando frascos de polietileno de 1L previamente lavados com ácido HCl 10%, com repouso na solução por cerca de 8h, e em seguida enxaguados com água do sistema de purificação Milli-Q (resistividade de $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$). No laboratório, as amostras de água foram filtradas com filtros de membrana de celulose ($0,45$ ou $0,22\mu\text{m}$), preservadas com ácido nítrico e depois refrigeradas a 4°C . As amostras de sedimento foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos. Em seguida, secas à temperatura ambiente, peneiradas à granulometria desejada ($0,063 \text{ mm}$) e, após decomposição total, analisadas.

Em campo, foram realizadas medições de parâmetros físico-químicos como condutividade elétrica, temperatura, pH e total de sólidos dissolvidos na água, utilizando sonda multiparâmetros portátil da Hach, série Sension.

No Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília (LAGEQ), foram realizadas determinações de elementos químicos (maiores e traços) usando a técnica analítica Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP/OES), para amostras de

água e sedimentos, com Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), marca Agilent (USA), modelo 5100. O plasma foi mantido pelo gás argônio qualidade industrial a um fluxo principal de 0,7 L min⁻¹, fluxo auxiliar de 2 L min⁻¹ e fluxo para resfriamento de 18 L min⁻¹.

Os ânions dissolvidos (F⁻, Cl⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻) em água foram determinados por um aparelho de cromatografia iônica (IC) da marca Metrohm modelo 881 Compact IC pro. As características do sistema utilizado foram: fluxo isocrático de eluente Na₂CO₃:NaHCO₃ 3,2:1 mM a 1,4 mL min⁻¹ e pressão aproximada de 15 mPa; volume de injeção de 25 µL definido por alça de amostragem; detector de condutividade suprimida; coluna e pré-coluna do tipo troca iônica com superfície funcionalizada de alquil amônio quaternário, modelo Metrosep A Supp4 e supressor de condutividade regenerado com H₂SO₄ 50 mM. modelo 881 Compact IC pro.

As concentrações dos elementos Na e K (em água e em sedimentos) foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica, com aparelho da marca Perkin Elmer, modelo Analyst 200.

4.1. Métodos analíticos

Alguns métodos analíticos foram utilizados neste projeto para a obtenção dos dados necessários às análises. Dentre eles, a Espectrometria de Emissão Óptica (ICP-OES), Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) e Cromatografia Iônica (CI).

A ICP-OES é uma técnica espectrométrica em que uma fonte de alta energia (Plasma de argônio) é usada para converter as espécies químicas de interesse presentes na amostra em átomos e íons que sofrerão transições eletrônicas, gerando um espectro de emissão que é formado por fótons com frequência específica. Esse feixe de radiação é direcionado para um dispositivo de pareamento de carga, no qual ocorre a separação e quantificação dos comprimentos de onda, e, conseqüentemente, das espécies químicas em análise. Essa técnica surgiu no início dos anos 1960 e em 1975 foi introduzida no mercado, sendo bastante utilizada até os dias atuais para a determinação de metais, semi-metais e não-metais em diversos tipos de amostras (Krug *et al.*, 2001).

Esta técnica pode ser utilizada para a determinação de baixas concentrações de metais, pois possui boa sensibilidade, realiza medições precisas e exatas, apresentando baixos limites de detecção (LD) (Amorim, 2015).

No LAGEQ, onde as análises foram realizadas, é utilizado o Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma indutivamente acoplado (ICP/OES, método 3120 B do

Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2017), marca Agilent (USA), modelo 5100. Os limites de detecção são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Limites de detecção do Espectrômetro de Emissão Atômica Agilent 5100.

Elemento	LD (mg/L)	Elemento	LD (mg/L)
Al	0,010	Mo	0,005
As	0,031	Ni	0,150
Ca	0,066	Pb	0,013
Cd	0,001	Si	0,011
Co	0,180	Sr	0,010
Cr	0,200	Ti	0,030
Cu	0,200	V	0,200
Fe	0,022	Zn	0,010
Mg	0,017	Zr	0,020
Mn	0,002		

A técnica Espectrometria de Absorção Atômica (Método 3111 B do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2017) é utilizada para a medição de quantidades de elementos químicos presentes em amostras por meio da medição da radiação absorvida pela espécie química de interesse. Isso é feito por meio da leitura do espectro produzido no momento em que a amostra é excitada por radiação. Os átomos absorvem luz e realizam transições energéticas. Assim, a quantidade de energia em forma de fótons de luz que é absorvida pela amostra é absorvida, e em seguida um detector mede os comprimentos de onda da luz transmitida pela amostra, e os compara com os comprimentos de onda que originalmente passaram pela amostra. Essa diferença é quantificada e permite a quantificação dos elementos de interesse. As vantagens de se usar esta técnica incluem: boa sensibilidade e baixos limites de detecção, análise direta de alguns tipos de amostras líquidas, baixa interferência espectral e pequeno tamanho das amostras (Farrukh, 2011). Os limites de detecção do aparelho utilizado no LAGEQ são 0,02 mg/L para Na e 0,03 mg/L para K.

A técnica Cromatografia Iônica (Método 4110 do *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2017) é utilizada para a determinação de íons (cátions e ânions) em amostras diversas. Ela possui ampla aplicabilidade, custo moderado, é efetiva na análise de íons orgânicos e inorgânicos presentes em amostras com diferentes matrizes, possui curto tempo de análise, alta sensibilidade e seletividade, análise de pequenos volumes de amostra (Michalski, 2014).

Esta técnica teve início em 1975, quando Small *et al.* (1975) descreveram um método cromatográfico para a separação e detecção de ânions e cátions (Michalski, 2018). A Tabela 4 apresenta os limites de detecção para cada ânion analisado pelo equipamento do LAGEQ.

Tabela 4. Limites de detecção do Cromatógrafo Iônico Metrohm modelo 881 Compact IC pro.

Parâmetro	LD (mg/L)
F⁻	0,01
Cl⁻	0,05
NO₃⁻	0,02
PO₄³⁻	0,01
SO₄²⁻	0,05

Além das determinações de metais e íons, alguns parâmetros importantes também foram analisados: pH, condutividade elétrica, alcalinidade, total de sólidos dissolvidos (TDS) e amônia. O pH, condutividade elétrica e TDS foram determinados no campo, no momento da coleta, utilizando-se uma sonda multiparamétrica. Esses dados permitem melhor compreensão das condições físico-químicas do ambiente, que podem exercer influência nas reações que ocorrem no meio.

A alcalinidade foi determinada por método titulométrico de análise com H₂SO₄ 0,01 N padronizado previamente com NaOH 0,05 N, utilizando um titulador automático da marca Schott, modelo Titroline easy. Os resultados foram expressos em íon bicarbonato (HCO₃⁻), obtidos por meio do cálculo:

$$V_{\text{ácido}} \times M_{\text{ácido}} \times 61000 \times V_{\text{amostra}}^{-1}$$

O íon amônio (NH₄⁺) foi determinado pelo método colorimétrico com leitura direta em um aparelho da Hach modelo DR2000 a 425 nm, utilizando kits de reação para amônia (Mineral Stabilizer, Álcool polivinílico e reagente de Nessler). A análise das diferentes formas de nitrogênio (amônia e nitrato) possibilita a avaliação das suas fontes e destino, permitindo caracterizar e quantificar melhor a contaminação e os danos ambientais à jusante.

4.1.1. Controle Analítico dos Dados

As metodologias utilizadas nas análises químicas de água (com exceção da determinação dos parâmetros NH₄⁺ e Zr) foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição da *American Public Health*

Association (APHA), da *American Water Works Association* (AWWA), e da *Water Environment Federation* (WEF).

As curvas de calibração do ICP e IC foram preparadas com soluções padrões de 1000 ppm da marca Vetec e, a partir delas, foram feitas as diluições necessárias para cada elemento. Os parâmetros de validação limite de detecção, limite de quantificação, coeficiente de regressão e faixa linear de trabalho foram calculados a partir de cinco leituras das curvas de calibração respectivas.

O controle analítico dos resultados foi validado por amostras de padrão internacional de concentração conhecida. Para água, foram utilizados os padrões da marca Canadá NWRI (*National Water Research Institute*) ION-915 e PERADE, lotes 0310 e 1109, respectivamente. Também foram usados como parâmetro a água destilada e os dados obtidos da água da torneira, cujo acompanhamento é feito pelo Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília desde 2008. Para análise de sedimentos, foi usado o padrão da NIST (*National Institute for Standards and Technology* - USA) SEM 2709a *San Joaquin Soil*. Os resultados obtidos para os padrões utilizados estão apresentados nas tabelas 5 a 7.

Tabela 5. Resultados obtidos para o padrão ION915 (valores em mg/L).

Parâmetro	Ca	Mg	Na	K	F⁻	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	HCO₃⁻
Valor esperado	13,40	2,80	1,35	0,49	0,05	1,39	1,52	3,40	42,30
Resultado obtido	13,20 ±0,70	2,70 ±0,20	1,42 ±0,20	0,55 ±0,20	0,02 ±0,03	1,53 ±0,08	1,45 ±0,30	3,56 ±0,17	38,20 ±0,50
CV (%)	1	4	5	12	57	10	5	5	10

Tabela 6. Resultados obtidos para o padrão PERADE (valores em mg/L).

Parâmetro	Ca	Mg	Na	K	F⁻	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	HCO₃⁻
Valor esperado	3,04	0,44	1,50	0,36	0,04	0,96	1,02	3,26	6,35
Resultado obtido	3,22 ±0,25	0,45 ±0,06	1,60 ±0,09	0,37 ±0,06	0,04 ±0,01	0,95 ±0,08	0,90 ±0,05	3,35 ±0,09	6,64 ±0,02
CV (%)	6	1	5	3	0	1	11	3	5

Tabela 7. Resultados obtidos para o padrão SAN JOAQUIN SOIL.

Parâmetro	Majores (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	PF	Total
Valor esperado	63,45	14,17	5,00	2,64	2,50	0,57	1,56	2,45	0,08	-	-
Resultado obtido	64,24	13,11	5,54	2,79	2,59	0,64	1,96	2,43	0,10	6,65	99,99
CV (%)	1	7	11	3	2	11	26	0	1	-	-
Parâmetro	Traços (ppm)										
	Nb	Cu	Zn	Zr	Be	Co	Ba	Sr	V	Ni	Cr
Valor esperado	-	34,60	106,0	-	-	13,40	968,0	231,0	112,0	88,00	130,0
Resultado obtido	-	33,53	107,5	-	-	12,29	844,0	205,5	99,81	64,93	103,1
CV (%)	-	3	2	-	-	4	13	11	11	26	21

4.2. Tratamento Estatístico

4.2.1. Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (*Principal Component Analysis*, PCA, em inglês), é uma técnica multivariada que transforma um conjunto original de variáveis em um conjunto consideravelmente menor de variáveis, que contém a maior parte da informação do conjunto original (Hongyu *et al.*, 2016). A técnica tem como objetivo reduzir o número de variáveis a serem analisadas, de forma que expressem de modo satisfatório a informação, com menor perda possível da informação, facilitando a análise dos dados e eliminando, quando possível, algumas variáveis originais (Araújo, 2010).

Para identificação dos possíveis fatores que alteram a qualidade ambiental do sistema aquático do rio Melchior, foi aplicada a técnica estatística multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA), em dados de água e sedimento de fundo. Foi utilizado o software PAST Versão 4.03 (Hammer, 2020).

4.2.2. Índices de Geoacumulação e Fatores de Enriquecimento

A identificação e a quantificação das concentrações de elementos nos sedimentos são essenciais para a caracterização ambiental. No entanto, apenas essas informações não são suficientes para a determinação do grau de contaminação dos corpos hídricos, uma vez que não permitem uma diferenciação entre valores naturais e antrópicos (Looi *et al.*, 2019). Assim, índices como Fatores de Enriquecimento e Índices de Geoacumulação são ferramentas úteis na avaliação do grau de poluição, por meio da análise da intensidade de

contaminantes acumulados nos sedimentos (Barbieri, 2016).

Para uma avaliação geral da qualidade dos sedimentos, os Fatores de Enriquecimento (FE) representam um método que relaciona a concentração do metal de interesse na área de estudo com a concentração de algum elemento de referência, que funciona como um normalizador. Esse elemento é em geral estável, imóvel e livre de influências antropogênicas (Yang & Cattle, 2016; Poh & Tahir, 2017). O elemento Zr foi selecionado como elemento de referência, por cumprir os requisitos para esta função: é de origem litogênica, é estável e não sujeito a influências ambientais e não sofre ações de sinergismo ou antagonismo com outros elementos (Aja *et al.*, 1995).

Além disso, estão envolvidas também as concentrações *background*, que podem ser oriundas de algum material de referência (certificado), ou de análises realizadas em locais sem contaminação. No presente estudo, foram realizadas duas análises, uma utilizando valor de *background* da crosta continental (Wedepohl, 1995) e outra utilizando concentrações obtidas em área sem interferência de atividades antrópicas, localizada na bacia do Rio Melchior, ponto P12 de coleta. A Equação 1 corresponde a uma fórmula geral que expressa essas relações matematicamente:

$$FE = \frac{[(C_{amostra}/R_{amostra})]}{[C_{background}]/[R_{background}]}$$

(1)

onde $[(C_{amostra}/R_{amostra})]$ corresponde à razão entre a concentração do elemento de interesse (C) e a concentração de um elemento de referência (R) da amostra avaliada, e $[C_{background}]/[R_{background}]$ corresponde à razão entre a concentração do elemento de interesse (C) e a concentração do elemento de referência (R) no *background* geoquímico (Looi *et al.*, 2019). A Tabela 8 apresenta as classes de FE e sua correlação com a qualidade dos sedimentos, conforme proposto por Chen *et al.* (2007).

Tabela 8. Classificação da qualidade dos sedimentos de acordo com suas classes de fatores de enriquecimento.

Classes do FE	Qualidade dos Sedimentos
FE < 1	Nenhum enriquecimento
FE < 3	Enriquecimento baixo
FE = 3-5	Enriquecimento moderado
FE = 5-10	Enriquecimento moderadamente severo
FE = 10-25	Enriquecimento severo

FE = 25-50	Enriquecimento muito severo
FE > 50	Enriquecimento extremamente severo

O Índice de Geoacumulação (I_{geo}) permite a avaliação da intensidade da contaminação do sedimento, e foi proposto por Müller (1979). Este índice relaciona as concentrações de metais encontradas na área de estudo com um valor referencial para metais associados às argilas (Moreira & Boaventura, 2003). A Equação 2 expressa como esse índice pode ser calculado:

$$I_{geo} = \log_2 (C_N/1,5C_B) \quad (2)$$

onde C_N corresponde à concentração do elemento na fração argila (<0,002mm) do sedimento analisado; C_B indica a concentração média do *background* para argilas; 1,5 é o fator de correção para possíveis variações do *background*.

A Tabela 9 expressa a relação dos valores de I_{geo} com a intensidade das classes de geoacumulação e a qualidade dos sedimentos (Jahesh *et al.*, 2016).

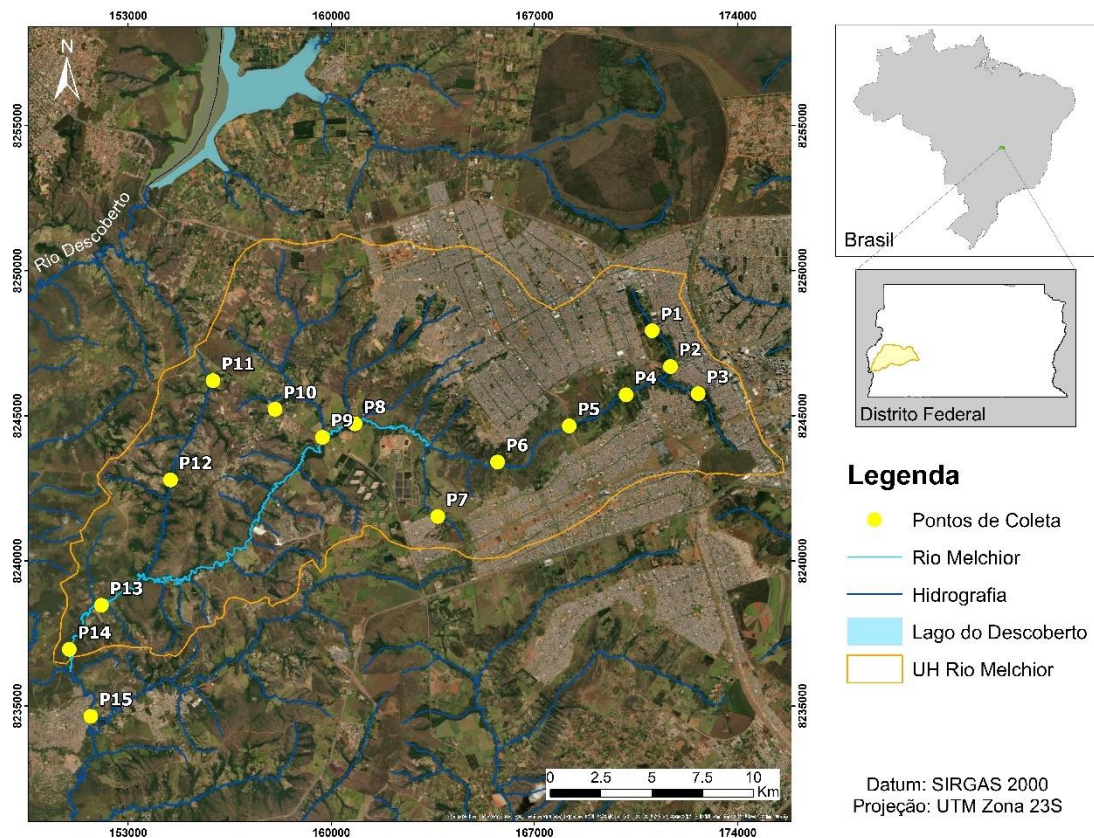
Tabela 9. Valores dos Índices de Geoacumulação e seus respectivos níveis de contaminação.

Valor de I_{geo}	Intensidade da classe de geoacumulação	Qualidade do sedimento (nível de contaminação)
>5	6	Muito forte
>4-5	5	Forte a muito forte
>3-4	4	Forte
>2-3	3	Moderado a forte
>1-2	2	Moderado
>0-1	1	Incontaminado a moderado
<0	0	Praticamente incontaminado

4.3. Pontos de Coleta

Foram realizadas duas campanhas de coletas de amostras de água e sedimentos de fundo, uma em agosto de 2021 (período de seca) e outra em maio de 2022 (período de chuvas). Ao todo, foram visitados 15 pontos de coleta, sendo 13 deles visitados no período de seca, e 7 no período de chuvas, tanto no Rio Melchior, quanto em alguns de seus afluentes. A Figura 8 apresenta o mapa de localização desses pontos.

Figura 8. Mapa de localização dos pontos de coleta.



O Ponto 1 (P1) está localizado no Córrego Cortado, próximo dos hospitais de Taguatinga Norte. Observou-se a presença de vegetação nas margens do rio, de tubos de esgoto e plantações a jusante do ponto.

O Ponto 2 (P2) também está localizado no Córrego Cortado, sob ponte na Avenida Elmo Serejo, em Taguatinga. Nele, verificou-se presença de vegetação nativa rasteira nas margens do rio, blocos rolados de rochas e resíduos plásticos no leito do córrego.

O Ponto 3 (P3) está localizado no Córrego Taguatinga, no interior do Parque Onoyama, com presença de vegetação bem desenvolvida nas margens do rio, em região bem preservada.

O Ponto 4 (P4) está localizado no Córrego Taguatinga, abaixo da ponte de ligação entre Samambaia e Taguatinga. A região apresenta vegetação bem desenvolvida nas margens do rio, e observou-se grande tráfego de carros e automóveis maiores.

O Ponto 5 (P5) está localizado no Córrego Taguatinga, sob ponte que liga Ceilândia e Samambaia. Observou-se presença de vegetação, blocos de rocha e lixo nas margens do rio.

O Ponto 6 (P6) foi realizado no Córrego Taguatinga, em região rural entre Samambaia e Taguatinga. Verificou-se presença de vegetação bem desenvolvida nas

margens do rio, e grandes produções agrícolas a jusante do ponto de coleta.

O Ponto 7 (P7) está localizado no Córrego Gatumé, em Samambaia. A região é próxima a conjuntos habitacionais e fica a montante da ETE Melchior. No ponto de coleta, verificou-se presença de vegetação bem desenvolvida nas margens do rio, além de despejo de drenagens pluviais, com lodo e lixo.

O Ponto 8 (P8) foi realizado no Rio Melchior, em região rural de Ceilândia, a jusante da ETE Melchior e do Aterro Sanitário do Distrito Federal, recebendo, portanto, as cargas de contaminantes vindas desses centros de tratamento de resíduos e esgoto. A coleta foi feita próxima a ponte, e observou-se presença de vegetação bem desenvolvida nas margens do rio, e presença de bastante lodo e lixo na região.

O Ponto 9 (P9) está localizado no Rio Melchior, sob ponte na rodovia DF-180, em região rural com presença de algumas chácaras e pequenos conjuntos habitacionais. Há presença de vegetação bem desenvolvida nas margens do rio e de bancos de areia. O Ponto 10 (P10) está localizado no Córrego Lajinha, sob ponte na rodovia DF-180, em região próxima ao ponto P9, com as mesmas características deste ponto.

O Ponto 11 (P11) é um ponto de nascente, localizado no Ribeirão Salta Fogo, no interior do Clube dos Rodoviários de Brasília, em região rural. O ponto de coleta apresenta vegetação bem preservada, do tipo mata ciliar. O Ponto 12 (P12) é também um ponto de nascente, localizado no Ribeirão Salta Fogo, em região mais preservada do que o P11, com menos influência de atividades antrópicas. Nesses dois pontos, não se verificou presença de resíduos, lodo, ou outros tipos de poluição visíveis.

O Ponto 13 (P13) está localizado no Rio Melchior, em região rural com algumas chácaras. A coleta foi feita sob ponte na rodovia DF-190, e observou-se presença de lixo e vegetação bem desenvolvida nas margens do rio.

O Ponto 14 (P14) foi realizado no Rio Melchior, em região rural no interior de uma chacara. Observou-se presença de vegetação bem desenvolvida nas margens do rio.

O Ponto 15 (P15) está localizado no Rio Descoberto, sob ponte na rodovia DF-280, na fronteira entre o Distrito Federal e Goiás. Observou-se vegetação bem desenvolvida e presença de lixo nas margens do rio.

Os pontos P1 a P7 e P15 estão localizados em áreas urbanas, e estão sob influência das atividades antrópicas desenvolvidas nessas áreas. Os pontos P8 a P14 estão localizados em áreas rurais, com presença esparsa de chácaras e clubes, que também podem exercer alguma influência sobre a qualidade ambiental das águas e sedimentos do rio. Os pontos P11 e P12 são os pontos considerados de nascente, com pouca influência

de atividades antrópicas.

As figuras 9, 10 e 11 apresentam registros fotográficos realizados nos pontos de coleta P2, P6 e P12, respectivamente.

Figura 9. Ponto de coleta P2. Observa-se presença de vegetação rasteira nas margens do rio, blocos rolados de rocha e fragmentos de resíduos plásticos no leito do rio.



Figura 10. Ponto de coleta P6. Observa-se presença de vegetação nas margens do rio e produção agrícola a jusante do ponto.



Figura 11. Ponto de coleta P12. Nota-se presença de lajedos rochosos, vegetação nativa e ausência de poluentes visualmente perceptíveis.



4.4. Análise Espacial

Com o objetivo de compreender a distribuição dos parâmetros analisados ao longo da bacia, foram gerados mapas com dados de água e sedimento, separados por estação (seca e chuva). Os mapas foram gerados por interpolação, por meio do método da “*krigagem*”, utilizando-se o *software Surfer (Golden Software, LLC)*. De acordo com Fuhg *et al.* (2020), a *krigagem* é um método originalmente desenvolvido por Krige (1951), com propriedades interpolativas e estocásticas que o tornam bastante atrativo, sendo referido como o modelo de interpolação mais investigado dentre os conhecidos. Sua eficácia é dependente de uma distribuição adequada dos pontos de amostragem.

5. Resultados e Discussão

5.1. Análise de Água

5.1.1. Análise descritiva

Os resultados dos parâmetros físico-químicos, dos metais e dos ânions das amostras de água analisadas neste trabalho estão apresentados nos anexos. A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros analisados.

Tabela 10. Estatística descritiva dos parâmetros analisados em água na UHRM, n=18.

Parâmetro	Média	Mínimo	Máximo	STD
pH	6,97	5,91	8,07	0,75
C.E ($\mu\text{S/cm}$)	171,84	11,46	463,00	131,45
TDS (mg/L)	80,37	5,00	244,67	68,21
Ca (mg/L)	10,59	1,85	14,04	3,61
Mg (mg/L)	1,64	0,32	3,47	0,73
Na (mg/L)	23,36	0,81	50,61	16,56
K (mg/L)	4,65	0,28	11,37	4,11
NH₄ (mg/L)	5,83	<ld	13,25	4,99
Si (mg/L)	3,83	2,15	6,33	1,06
Fe (mg/L)	0,08	<ld	0,20	0,06
Mn (mg/L)	0,02	0,00	0,08	0,02
Sr (mg/L)	0,04	<ld	0,06	0,01
Al (mg/L)	0,04	<ld	0,07	0,01
F⁻ (mg/L)	0,18	<ld	0,33	0,08
Cl⁻ (mg/L)	14,28	0,53	60,10	18,47
NO₃⁻ (mg/L)	15,22	0,19	50,62	14,33
PO₄³⁻ (mg/L)	0,77	<ld	2,12	0,47
SO₄²⁻ (mg/L)	17,40	<ld	86,13	25,77
HCO₃⁻ (mg/L)	37,10	11,57	83,16	21,13

Os parâmetros que apresentaram maior variação ao longo da bacia foram: condutividade elétrica, TDS, Na, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ e HCO₃⁻. Essa variação considerável pode ser explicada pelo maior grau de solubilização em água desses parâmetros em relação aos demais (Souza & Railsback, 2012).

Foi realizada uma comparação entre os dados obtidos em alguns pontos do presente estudo com dados de um estudo anteriormente realizado com coletas nas mesmas regiões, por Carmo *et al.* (2005). A Tabela 11 apresenta os dados obtidos a partir das análises de amostras de água coletadas nos pontos 4, 5 e 8 (correspondentes aos pontos P1c, P1s e P2 do trabalho de Carmo *et al.* (2005), respectivamente).

Tabela 11. Tabela comparativa de parâmetros de qualidade de água.

PONTO	a	b	a	b	a	b	a	b
	P4	P1c	P5	P1s	P8c	P2c	P8s	P2s
pH	6,23	6,30	7,44	6,50	6,28	4,20	7,85	6,00
TDS (mg/L)	32,60	41,00	34,60	189,00	104,9	65,00	244,67	129,00
C.E. (µS/cm)	83,60	92,10	73,30	405,00	264,00	136,60	463,00	262,00
F ⁻ (mg/L)	<ld	-	<ld	-	0,11	-	0,33	-
Cl ⁻ (mg/L)	0,76	175,00	4,48	43,00	7,15	33,00	50,47	48,00
NO ₃ ⁻ (mg/L)	3,20	4,00	13,78	8,00	13,22	4,00	50,62	3,00
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,63	1,00	<ld	8,00	0,83	1,00	0,48	2,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1,13	78,00	1,57	23,00	10,41	20,00	86,13	18,00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	28,28	110,00	46,96	148,00	16,53	92,00	65,74	134,00
Ca (mg/L)	13,42	9,95	10,81	0,01	13,75	8,72	14,04	10,90
Mg (mg/L)	1,39	1,28	1,23	2,47	2,07	1,77	2,22	2,41
Na (mg/L)	10,70	6,30	9,58	46,70	44,43	29,80	50,61	47,50
K (mg/L)	1,07	3,13	0,96	11,30	9,52	3,66	11,37	10,20
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,16	3,00	<ld	38,00	12,00	<ld	7,60	10,00
Si (mg/L)	2,97	2,03	2,99	3,14	4,13	3,10	4,37	3,59
Fe (mg/L)	0,13	0,24	0,20	0,51	0,05	0,18	0,04	0,75
Mn(mg/L)	0,00	0,01	<ld	0,02	0,03	0,05	0,03	0,14
Sr (mg/L)	0,06	0,14	0,05	0,11	0,05	0,13	0,05	0,17
Al (mg/L)	0,01	0,87	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06

Nota: a – Resultados de análises em pontos de coleta do presente estudo. b – Resultados de análises em pontos de coleta do estudo de Carmo *et al.*, 2005.

Esta comparação é relevante na avaliação das diferenças entre os resultados obtidos há aproximadamente 20 anos nas mesmas regiões da bacia. De forma geral, os resultados obtidos a partir das análises de amostras do estudo anterior foram maiores do que os do presente estudo, com exceção dos parâmetros K e condutividade elétrica na região da ETE Melchior (ponto P8). Esses resultados indicam que as águas da bacia, de maneira geral, apresentaram melhor qualidade ambiental no presente estudo do que no estudo anterior, possivelmente em razão da estruturação urbana que reduziu o lançamento de esgoto sem tratamento no rio, como antes ocorria (Carmo *et al.*, 2005).

5.1.2. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais condensa as informações contidas em diversas variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas, chamadas de componentes, com perda mínima de informação. Esta análise foi aplicada a uma matriz de dados que contém todos os pontos de coleta e as variáveis: pH, condutividade elétrica, Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Si, Fe, Mn, Sr, Al, F^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e HCO_3^- em água da UHRM, com o objetivo de avaliar a correlação dos parâmetros analisados ao longo da bacia e nos dois períodos analisados.

A PCA explicou 75,97% da variância acumulada nas três primeiras componentes geradas, sendo que a primeira componente explicou 48,02% da variância, a segunda componente contribuiu com 17,27% da variância e a terceira componente com 10,67% (Tabela 12).

Tabela 12. Autovalores, porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados.

Componentes Principais	Autovalor	% Variância	% Cumulativa
PC1	8,28	48,02	48,02
PC2	2,98	17,27	65,29
PC3	1,84	10,67	75,97

No entanto, foram selecionadas para a análise apenas as duas primeiras componentes, representando cerca de 65,29% dos dados, com o objetivo de analisar a síntese da variância acumulada sem perda de informação significativa.

A Tabela 13 apresenta as cargas de cada variável sobre cada componente, indicando o quanto as variáveis analisadas contribuem para a variação dos dados. De acordo com Bernardi *et al.* (2009), determina-se as variáveis consideradas ativas aquelas que possuem cargas iguais ou superiores a 0,7 e as suplementares as que possuem cargas inferiores a 0,7. No entanto, todas as variáveis do presente estudo apresentaram cargas inferiores a 0,7. Assim, a análise foi feita considerando-se como mais significativas as variáveis com as cargas mais elevadas. Como a carga máxima foi de 0,43, considerou-se para a análise as variáveis com cargas superiores a 0,3 (valor que corresponde a 70% da carga máxima).

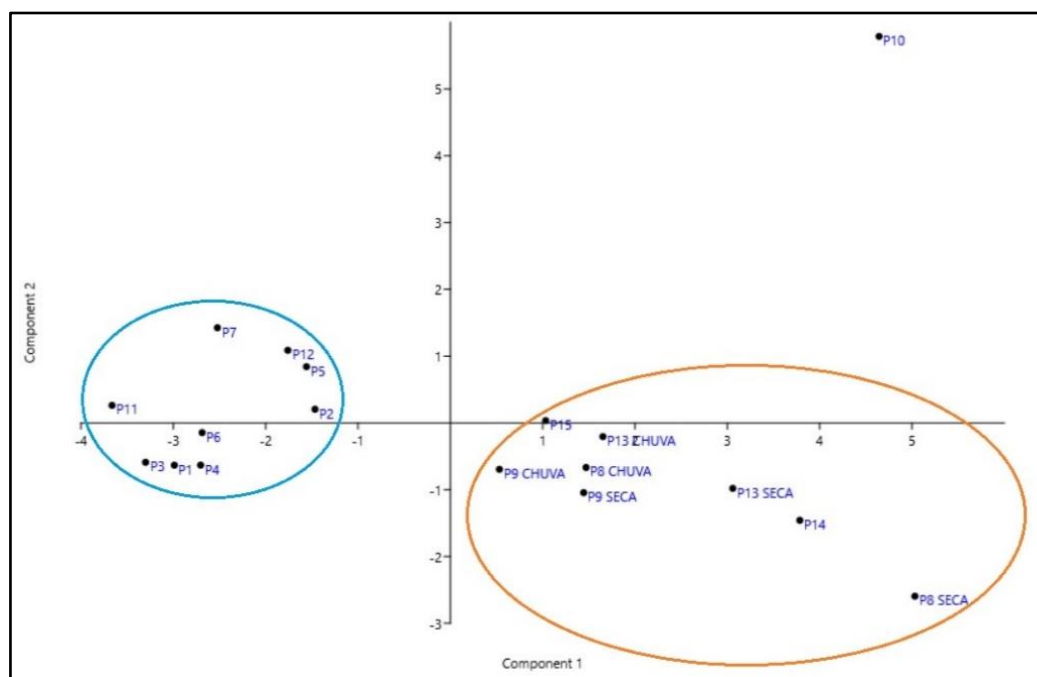
Tabela 13. Cargas das variáveis nas componentes principais.

Variáveis	PC 1	PC 2	PC 3
pH	0,2259	0,1278	0,43454
Condutividade	0,31006	-0,17851	-0,079059
Ca	0,21399	-0,21534	-0,29921
Mg	0,30496	0,16294	-0,17807
Na	0,30671	-0,20456	-0,1689
K	0,32094	-0,15293	-0,14978
NH ₄	0,2102	0,078512	-0,26806
Si	0,2646	0,25211	-0,036508
Fe	-0,040046	0,33374	0,040871
Mn	0,20287	0,31677	0,018846
Sr	-0,0099664	-0,34332	-0,23203
Al	0,11869	-0,082845	0,13167
F	0,092679	-0,1142	0,31945
Cl	0,30684	0,123	0,21179
NO ₃	0,20628	-0,28851	0,2778
PO ₄	0,064803	0,3913	-0,065845
SO ₄	0,23734	-0,30123	0,29072
HCO ₃	0,2463	0,14906	0,26293

Nota: Valores acima de 0,30 destacados em vermelho.

A Figura 12 apresenta o resultado da PCA realizada, referente à projeção espacial da ordenação dos vetores dos pontos de coleta nas duas componentes principais.

Figura 12. Projeção espacial da ordenação dos vetores nas duas componentes principais.



A ordenação nos dois vetores principais explica 65,29% da variabilidade dos dados. As variáveis mais relevantes, que apresentaram as maiores cargas, foram condutividade elétrica, Mg, Na, K e Cl⁻ para a PC1 e Fe, Mn, Sr e SO₄²⁻ para a PC2. Nota-

se a formação de dois grupos ordenados, sendo um associado aos pontos de nascentes, com melhores condições de preservação ambiental das águas (circundado em azul) e outro associado aos pontos com maior nível de alterações ambientais (circundado em laranja).

Na primeira componente, as principais variáveis foram condutividade elétrica, Mg, Na, K e Cl⁻. A condutividade elétrica tem relação com a presença de sais dissolvidos na água, podendo configurar-se como uma indicação indireta da concentração de poluentes, e os íons significativos nesta componente também são representativos de atividades antrópicas. Portanto, esta componente pode estar associada à influência antrópica na bacia, estando principalmente correlacionada com descargas de esgoto doméstico tratado.

Na segunda componente, as principais variáveis foram Fe e Mn contribuindo positivamente e Sr e SO₄²⁻ contribuindo negativamente. Assim, conclui-se que esta componente indica o intemperismo na UHRM, de forma que os pontos que apresentam valores altos estão associados a regiões com maior preservação, e os pontos que apresentam valores baixos em relação a esta componente estão associados a regiões com altos níveis de alteração ambiental.

Os pontos agrupados em azul são: P1 a P7, P11 e P12, que correspondem aos pontos localizados em regiões de nascentes. Esses pontos apresentaram valor negativo em relação à PC1 e valores oscilando entre negativos e positivos em relação à PC2. Os pontos agrupados em laranja são: P8, P9, P13, P14 e P15, localizados na região da ETE Melchior e na região de exutório da bacia, que representam as regiões com maior influência de atividades antrópicas e maior alteração da qualidade ambiental da água.

5.1.3. Análise Espacial

Foram gerados mapas com o objetivo de compreender a distribuição dos parâmetros analisados ao longo da bacia. Ressalta-se que a eficácia do método de interpolação adotado depende da quantidade de pontos distribuídos pela área analisada, e que houve diferenças entre as distribuições de pontos na época de seca e de chuva. No período de seca, foram visitados 11 pontos e no período de chuvas, foram visitados 7 pontos de coleta no total.

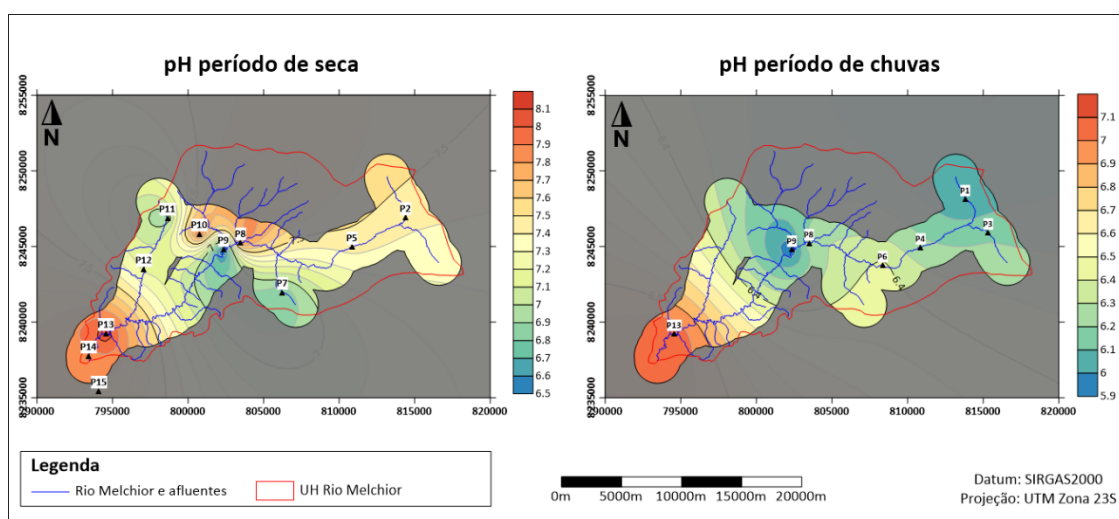
Em razão dessa diferença entre os períodos analisados, os mapas gerados com dados do período de seca são mais representativos das variações espaciais na bacia, e os mapas com dados do período chuvoso são mais genéricos. A escala de cores adotada para

representar os valores varia de azul (retratando os valores mínimos) a vermelho (retratando os valores máximos), para cada parâmetro.

pH

A Figura 13 apresenta os mapas gerados para as variações de pH ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 13. Mapas de distribuição dos valores de pH ao longo da bacia em período de seca e de chuvas.



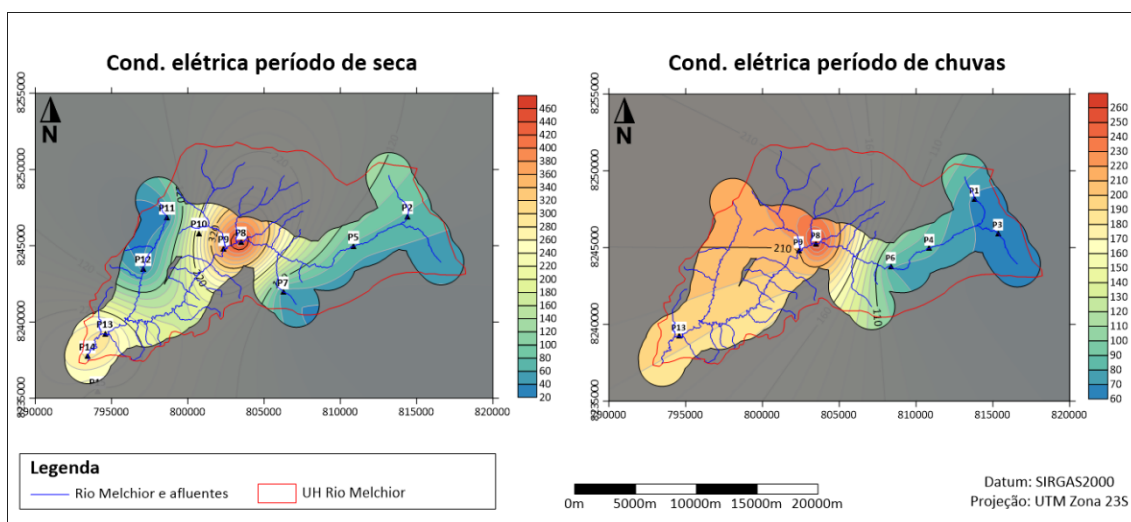
A avaliação dos mapas permite observar que no período de seca, os valores de pH variaram de 6,5 a 8,1, estando os menores valores (inferiores a 7,0) localizados nas porções central e noroeste da bacia, nas proximidades dos pontos P9, P7 e P11, e os maiores valores (superiores a 7,5) localizados nas porções nordeste e extremo sudoeste da área, próximo aos pontos P8, P10, P13, P14 e P15. Já no período de chuvas, os valores variaram de 5,9 a 7,1, e observa-se um padrão de aumento dos valores de pH de montante para jusante na bacia, estando os menores valores (inferiores a 6,1) localizados nas porções extremo nordeste e central da bacia, próximo aos pontos P1 e P9 e os maiores valores (superiores a 6,9) localizados na porção extremo sudoeste da bacia, próximo ao ponto P13.

Em ambos os períodos analisados, os valores de pH são menores em regiões de nascentes e aumentam conforme o rio recebe cargas contaminantes. A diferença entre os valores observados nos dois períodos é em razão da maior diluição dos íons na água no período de chuvas, que ocasiona diminuição dos valores de pH.

Condutividade Elétrica

A Figura 14 apresenta os mapas gerados para as variações de condutividade elétrica ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas. Ressalta-se que este parâmetro não é um indicador direto da qualidade ambiental da água, mas pode refletir condições de preservação ou alteração, uma vez que está relacionado à quantidade de íons dissolvidos na água.

Figura 14. Mapas de distribuição dos valores de condutividade elétrica ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em $\mu\text{S}/\text{cm}$).



Observa-se que no período de seca, houve grande variação entre o valor mínimo e o máximo, de 20 a $460\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores mais baixos estão localizados nas regiões de nascentes, próximos aos pontos P2, P5, P7, P11 e P12, com valores inferiores a $80\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores mais elevados foram observados nas regiões central (próxima ao ponto P8, sendo o valor máximo verificado, de $460\mu\text{S}/\text{cm}$) e no exutório da bacia (valores acima de $220\mu\text{S}/\text{cm}$). No período de chuvas, os valores observados variaram de 60 a $260\mu\text{S}/\text{cm}$, estando os mais baixos localizados na região de nascente da bacia, na região dos pontos P1 e P3 (valores inferiores a $70\mu\text{S}/\text{cm}$) e os mais elevados localizados na região central, próxima à ETE Melchior e na região de exutório da bacia (com valores acima de $200\mu\text{S}/\text{cm}$).

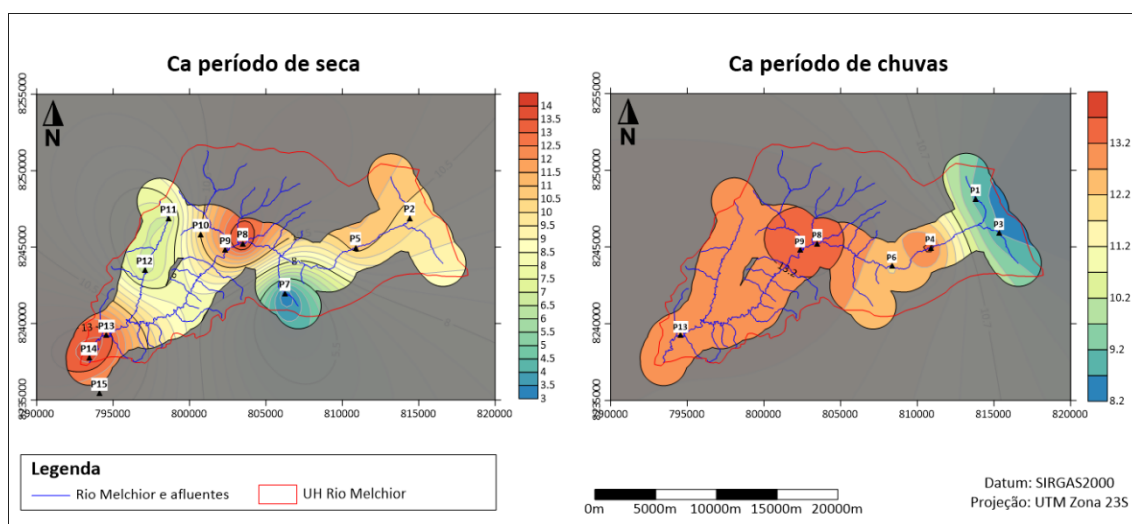
O destaque, em ambos os períodos avaliados, é a região da ETE Melchior, onde foram verificados os maiores valores de condutividade elétrica da bacia, após receber o despejo de resíduos da estação de tratamento. Os valores observados nos pontos a jusante dessa região indicam que ocorre diluição das cargas contaminantes lançadas. Avaliando o panorama geral, verifica-se que a condutividade elétrica aumenta de montante para jusante na bacia, conforme o rio recebe influência das atividades antrópicas exercidas. As

diferenças observadas entre o período de seca e de chuva são explicadas pela maior diluição dos íons no período chuvoso, resultando em valores menores de condutividade elétrica da água.

Ca

A Figura 15 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Ca na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 15. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Ca na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



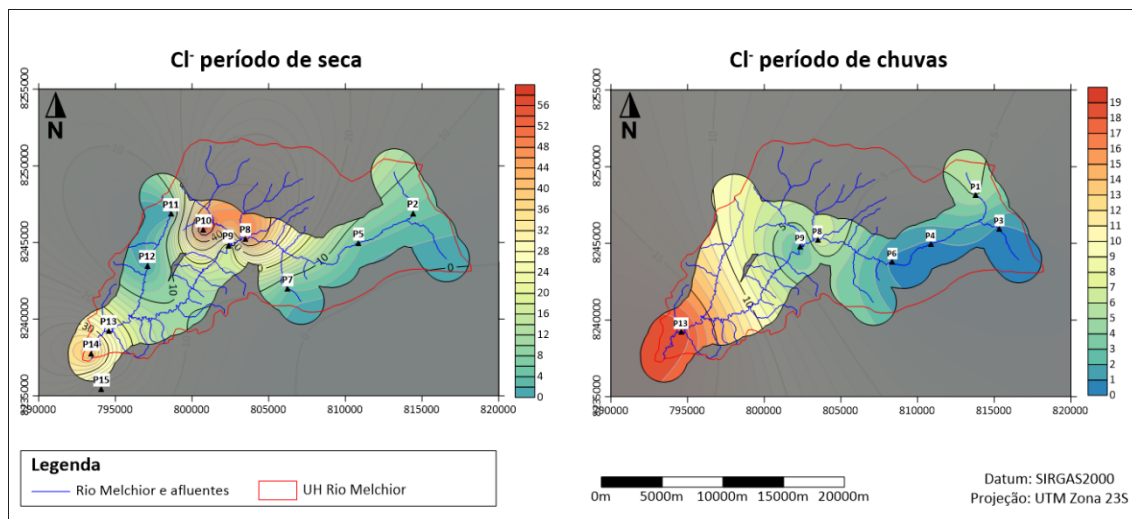
A análise dos mapas possibilita notar que no período de seca, os valores variaram de 3 a 14,5 mg/L, estando as maiores concentrações localizadas principalmente nas proximidades da ETE Melchior e no exutório da bacia, próximo aos últimos pontos de coleta, com valores superiores a 13mg/L, e as menores concentrações verificadas localizadas nos pontos de nascentes de afluentes do rio Melchior, nas regiões dos pontos P7, P11 e P12 (valores inferiores a 8 mg/L). No período chuvoso, os valores variaram entre 8,2 e 14,2 mg/L, seguindo um padrão de aumento de concentração de Ca na água em direção ao exutório, com valor máximo na região da ETE Melchior.

Não houve diferenças consideráveis entre os resultados obtidos nas diferentes estações do ano, indicando que este íon não sofre influência expressiva das chuvas no seu processo de diluição em água. As diferenças visuais entre os mapas gerados devem-se à diferença de distribuição dos pontos de coleta nos períodos analisados. O padrão de aumento na concentração de montante para jusante indica a origem antrópica dos valores mais elevados deste parâmetro em água, o que é também justificado pela geologia local, que não apresenta mineralogia rica em Ca.

Cl⁻

A Figura 16 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon Cl⁻ na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 16. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Cl⁻ na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



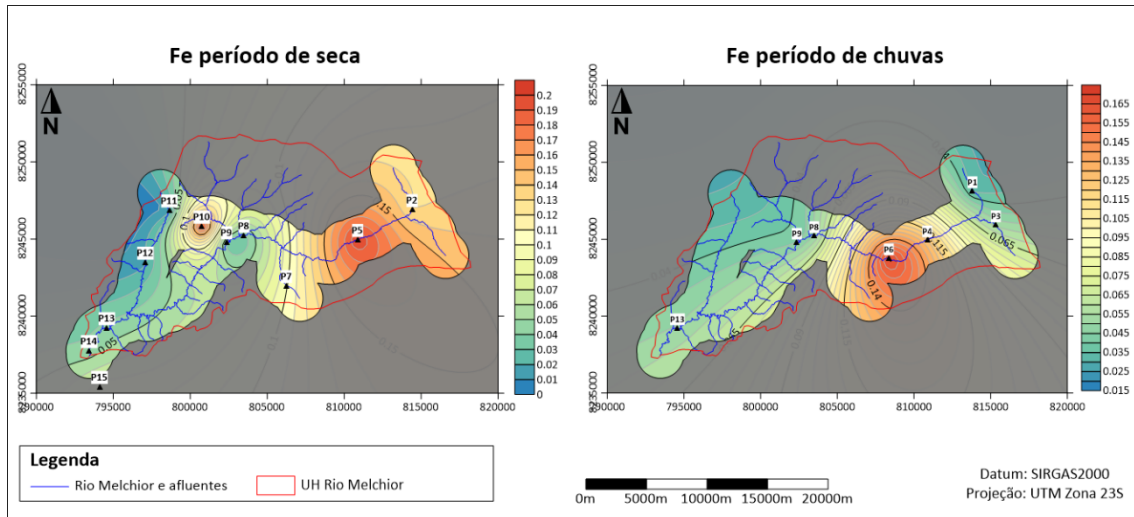
Analisando-se os mapas gerados, nota-se que, no período de seca, os valores variaram de 0 a 60 mg/L, estando os menores valores observados localizados nas regiões de nascentes, próximas aos pontos P2, P7, P11 e P12, com valores inferiores a 10 mg/L, e os maiores valores verificados localizados nas regiões central e extremo sudoeste da bacia (próximo à ETE e na região de exutório), com valores superiores a 30 mg/L. No período de chuvas, os valores variaram entre 0 e 20 mg/L, estando os valores mais baixos (inferiores a 5 mg/L) localizados na porção leste da bacia, desde as nascentes dos Córregos Cortado e Taguatinga, até a região central da bacia e os valores mais altos (superiores a 15 mg/L) localizados na região de exutório da bacia.

Nota-se diferença expressiva entre os períodos avaliados, sendo o valor máximo verificado no período de seca três vezes maior que o valor máximo do período chuvoso, evidenciando maior diluição deste íon com as chuvas.

Fe

A Figura 17 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Fe na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 17. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Fe na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).

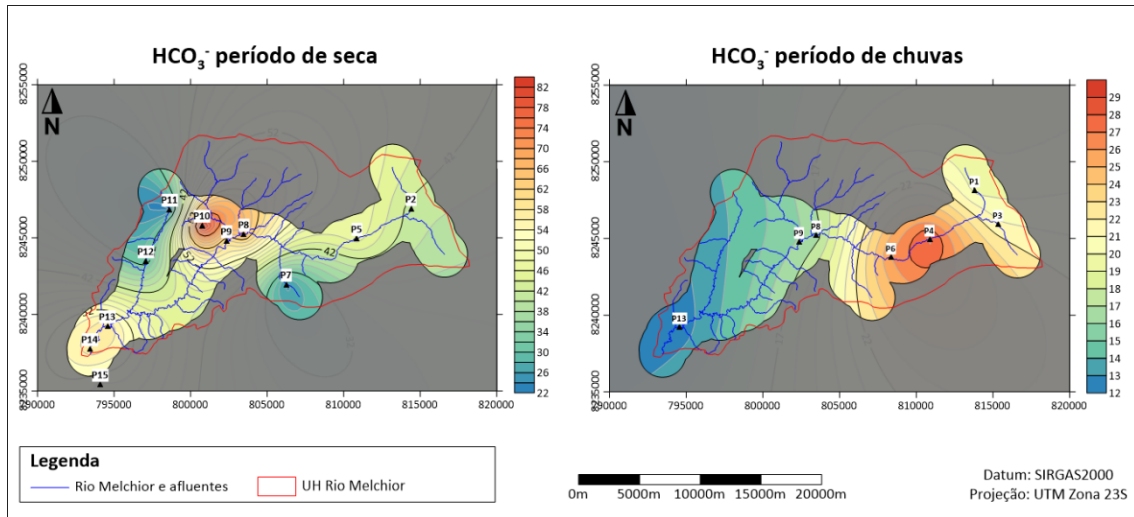


Apesar da diferença visual entre os mapas (gerada pela inequidade de distribuição de pontos nos dois períodos), os valores obtidos para este parâmetro foram similares para as duas estações analisadas, variando de próximo de 0 a próximo de 0,2 mg/L. Em ambos os períodos, os valores mais elevados são acima de 0,15 mg/L e estão localizados na região do Ribeirão Taguatinga, nas proximidades dos pontos P5 e P6, e diminuem em direção ao exutório da bacia.

HCO_3^-

A Figura 18 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon HCO_3^- na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 18. Mapas de distribuição dos valores de concentração de HCO_3^- na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



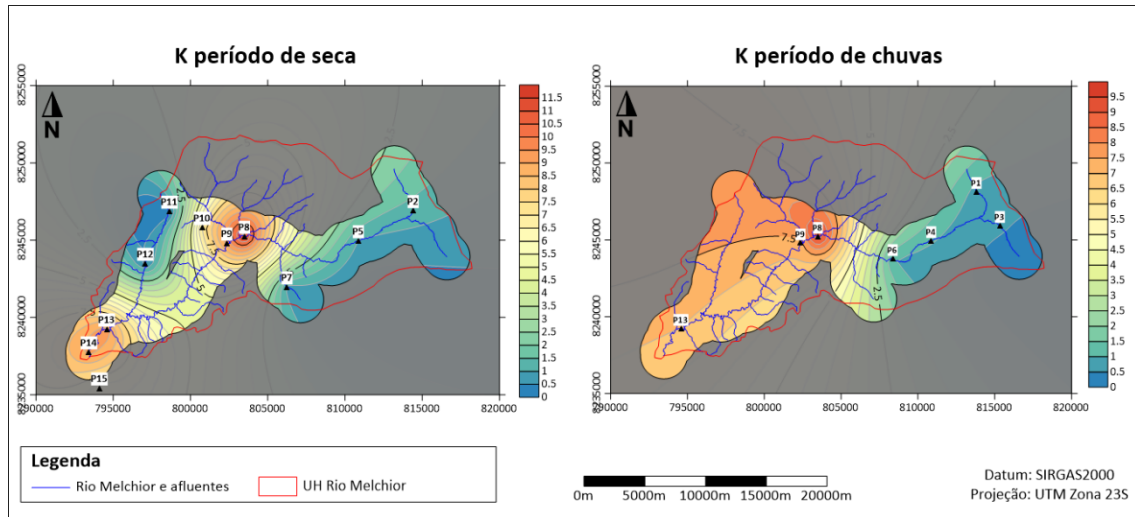
No período de seca, os valores de concentração do íon HCO_3^- em água variaram de 22 a 84 mg/L, com os maiores valores (acima de 62 mg/L) localizados na região central da bacia (próxima aos pontos P8 e P10) e as menores concentrações localizadas nas regiões de nascentes (próximas aos pontos P7, P11 e P12), com valores inferiores a 32 mg/L. No período de chuvas, os valores variaram entre 12 e 30 mg/L, estando o maior valor observado (acima de 27 mg/L) localizado no Ribeirão Taguatinga (ponto P4), e os mais baixos valores localizados na região de exutório da bacia, indicando que ao longo do curso d'água, este íon foi sendo diluído.

Houve diferença considerável entre os valores obtidos nos dois períodos avaliados, em razão da maior diluição deste íon no período de chuvas. Com base na localização dos pontos com as maiores concentrações, nota-se uma correlação da origem deste íon com áreas com ocupação urbana na bacia.

K

A Figura 19 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro K na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 19. Mapas de distribuição dos valores de concentração de K na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



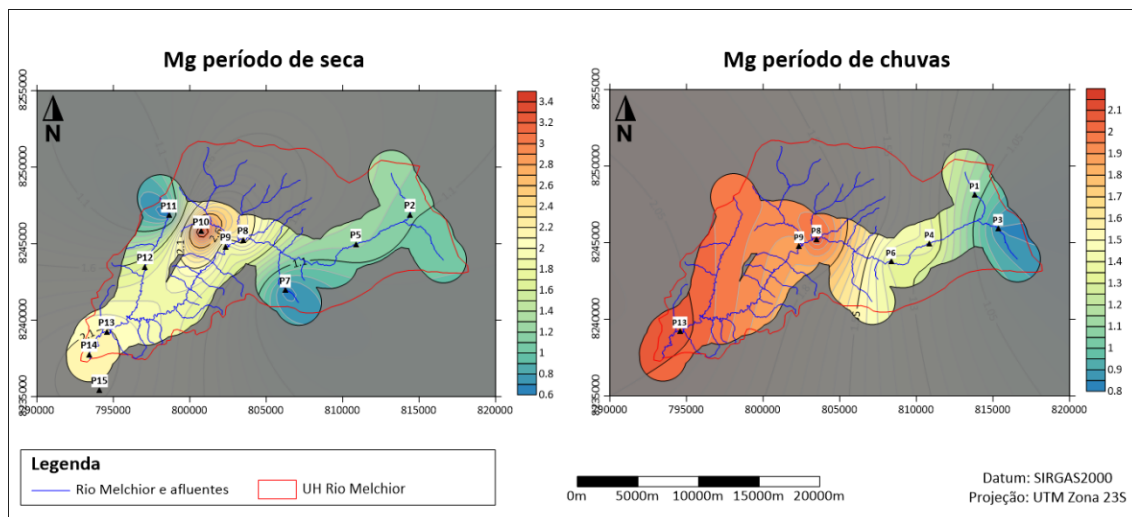
No período de seca, os valores variaram entre 0 e 12 mg/L, com as maiores concentrações localizadas nas regiões da ETE Melchior (região central da bacia) e na região de exutório da bacia, com valores acima de 7,5 mg/L. As menores concentrações obtidas nesse período estão localizadas nas regiões de nascentes dos Córregos Cortado, Gatumé e do Ribeirão Salta Fogo, com valores inferiores a 2,5 mg/L. No período chuvoso, os valores obtidos variaram entre 0 e 10 mg/L, estando os maiores valores localizados na região oeste da bacia, a partir da ETE Melchior até a região de exutório da bacia, e as menores concentrações localizadas na região de nascentes dos Córregos Cortado e Taguatinga.

Não foram notadas diferenças entre os valores mínimo e máximo obtidos nos períodos avaliados, indicando que as chuvas não exercem influência considerável sobre o grau de diluição deste parâmetro em água.

Mg

A Figura 20 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Mg na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 20. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Mg na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



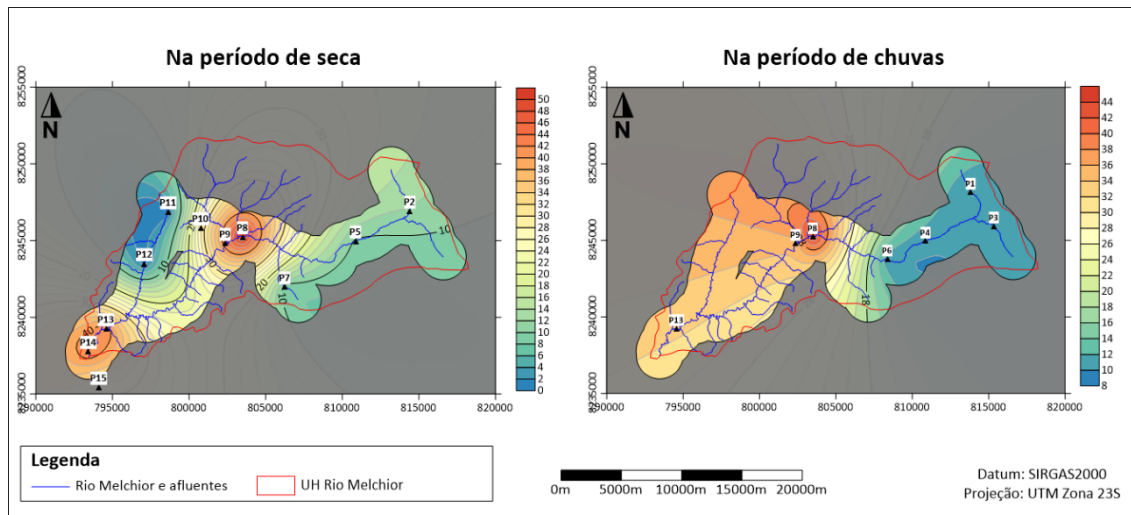
No período de seca, os valores de concentração de Mg obtidos variaram de 0,6 a 3,5 mg/L, estando os valores mais elevados (acima de 2,6 mg/L) localizados na região central da bacia, nas proximidades do ponto P10, e os valores mais baixos (próximos de 1,1 mg/L) localizados nas regiões de nascentes (próximas aos pontos P2, P7 e P11). Já no período de chuvas, os valores obtidos variaram entre 0,8 e 2,2 mg/L, num padrão de aumento da concentração de montante para jusante na bacia, estando os menores valores observados localizados nas nascentes dos Córregos Cortado e Taguatinga e os maiores valores na região de exutório da bacia.

As diferenças entre os valores obtidos nos diferentes períodos analisados não foram consideráveis, sendo os valores mínimos e máximos similares. O que se destaca nesta análise é a diferença entre os padrões de distribuição de concentrações deste parâmetro ao longo da bacia para os dois períodos, que é justificada pela inequidade de distribuição dos pontos.

Na

A Figura 21 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Na na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 21. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Na na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



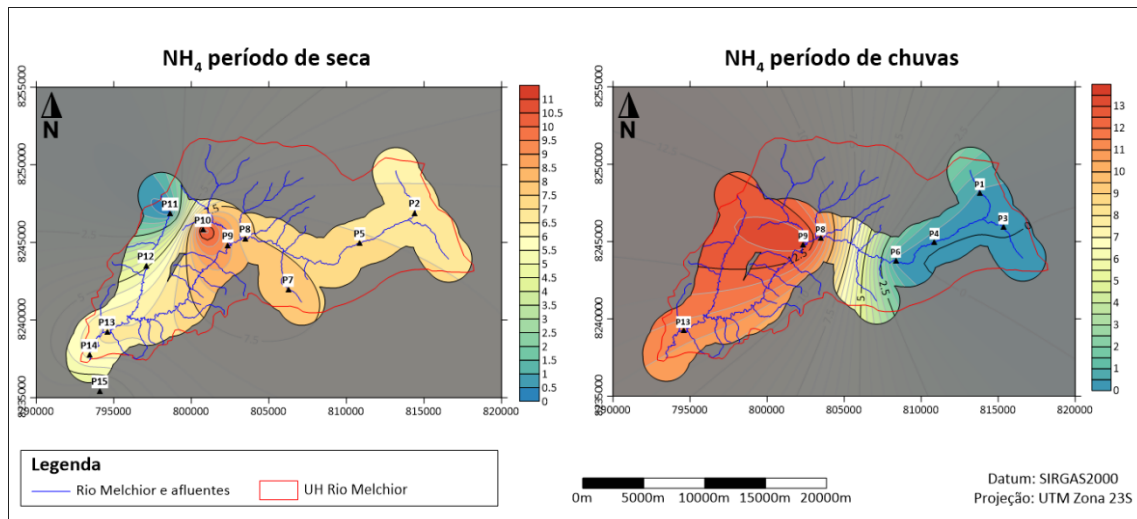
Na estação seca, os valores obtidos para este parâmetro variaram entre 0 e 52 mg/L, estando os valores mais altos localizados nas regiões central (próxima à ETE Melchior) e no exutório da bacia, com concentrações acima de 40 mg/L, e os valores mais baixos localizados nas regiões de nascentes, próximas dos pontos P2, P7, P11 e P12, com concentrações abaixo de 10 mg/L. Na estação chuvosa, os valores variaram de 8 a 46 mg/L, estando as maiores concentrações localizadas na porção leste da bacia, a partir da região da ETE até a região do exutório, com valores superiores a 32 mg/L, e as menores concentrações localizadas nas nascentes dos Córregos Cortado e Taguatinga, com valores inferiores a 12 mg/L.

Não houve diferença expressiva entre os valores mínimo e máximo obtidos nos períodos avaliados, indicando que as chuvas não exercem influência considerável sobre o grau de diluição deste parâmetro em água.

NH_4^+

A Figura 22 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon NH_4^+ na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 22. Mapas de distribuição dos valores de concentração de NH_4^+ na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



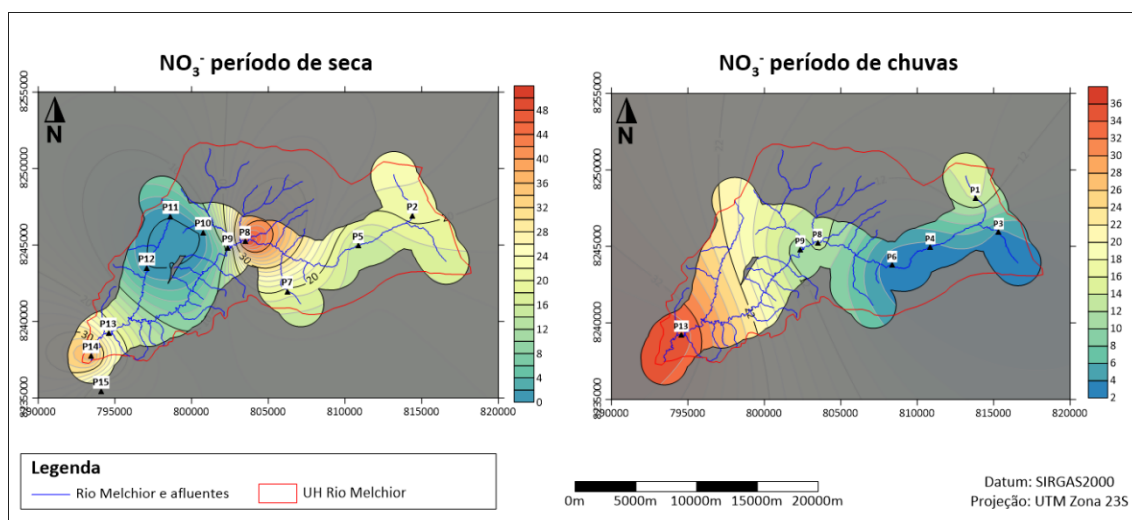
Na estação seca, os valores obtidos variaram de 0 a 11,5 mg/L, estando os valores mais altos localizados na região central da bacia, nas proximidades da ETE Melchior, com valores superiores a 7,5 mg/L, e os valores mais baixos (inferiores a 2,5 mg/L) localizados na nascente do Ribeirão Salta Fogo. Na estação chuvosa, os valores verificados variaram de 0 a 15 mg/L. Observa-se um aumento dos valores obtidos de montante para jusante na bacia, sendo as menores concentrações localizadas na região de nascente e as maiores concentrações localizadas na região de exutório da bacia.

Tanto no período de chuvas, quanto no período de seca, observou-se aumento da concentração de montante para jusante, até a região central da bacia, onde o rio recebe descargas de efluentes da ETE Melchior e este parâmetro tem aumento considerável, em razão da presença de matéria orgânica na água. A partir deste ponto até a região de exutório da bacia, as concentrações de NH_4^+ reduzem, indicando que ocorre oxidação natural da matéria orgânica ao longo do curso do rio. Não foi observada diferença considerável entre os valores obtidos no período de seca e no período de chuvas.

NO_3^-

A Figura 23 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon NO_3^- na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 23. Mapas de distribuição dos valores de concentração de NO_3^- na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



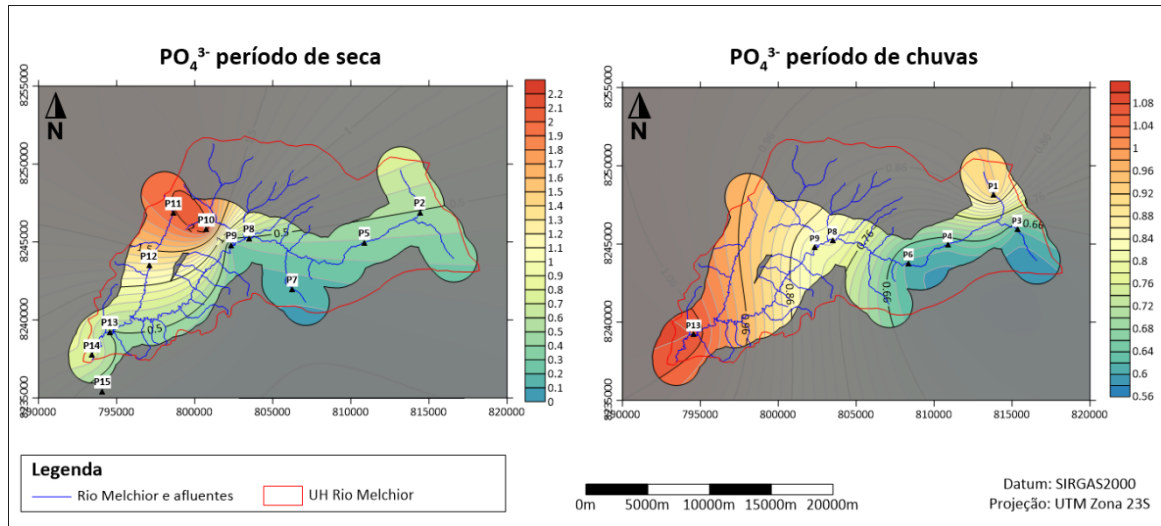
No período de seca, os valores obtidos para este parâmetro variaram de 0 a 52 mg/L. As maiores concentrações observadas estão localizadas nas regiões da ETE Melchior e do exutório da bacia, com valores superiores a 30 mg/L, enquanto as menores concentrações estão localizadas na região de nascente do Ribeirão Salta Fogo, com valores inferiores a 10 mg/L. No período chuvoso, os valores obtidos variaram entre 2 e 38 mg/L, estando os valores mais baixos (inferiores a 12 mg/L) localizados na região de nascente do Córrego Taguatinga (próximo ao ponto P3) e dos pontos P4 e P6, e os valores mais altos (superiores a 32 mg/L) localizados na região de exutório da bacia.

Em ambos os períodos analisados, nota-se um padrão de aumento na concentração deste parâmetro na água, de montante para jusante, evidenciando o processo de oxidação da NH_4^+ para NO_3^- . A diferença entre os valores obtidos nas duas épocas avaliadas é em razão da diluição dos íons com a chuva, mas não foi tão considerável.



A Figura 24 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon PO_4^{3-} na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 24. Mapas de distribuição dos valores de concentração de PO_4^{3-} na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



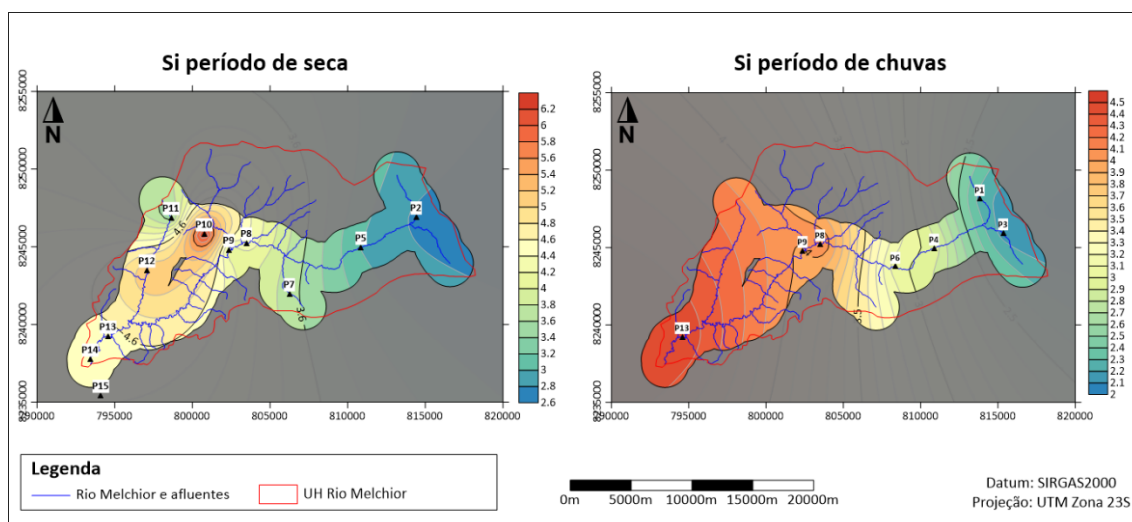
A avaliação dos mapas gerados possibilita notar que, no período de seca, as concentrações de PO_4^{3-} variaram entre 0 e 2,3 mg/L, estando as maiores concentrações (valores acima de 2,0 mg/L) localizadas na região centro-norte da bacia, nas proximidades dos pontos P10 e P11 e as menores concentrações (valores abaixo de 0,5 mg/L) localizadas nas demais áreas da bacia. Já no período de chuvas, os valores variaram entre 0,56 e 1,12 mg/L, com um padrão de aumento dos valores de montante para jusante na bacia.

Comparando-se os dois períodos avaliados, observa-se que o valor máximo obtido no período de seca foi superior (mais que o dobro) do que o obtido no período de chuvas. No entanto, os valores médios observados nos pontos distribuídos ao longo da bacia foram maiores no período de chuvas do que no período de seca, possivelmente em decorrência da ação das águas da chuva “lavando” o solo e carreando esses íons para a água.

Si

A Figura 25 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Si na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 25. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Si na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



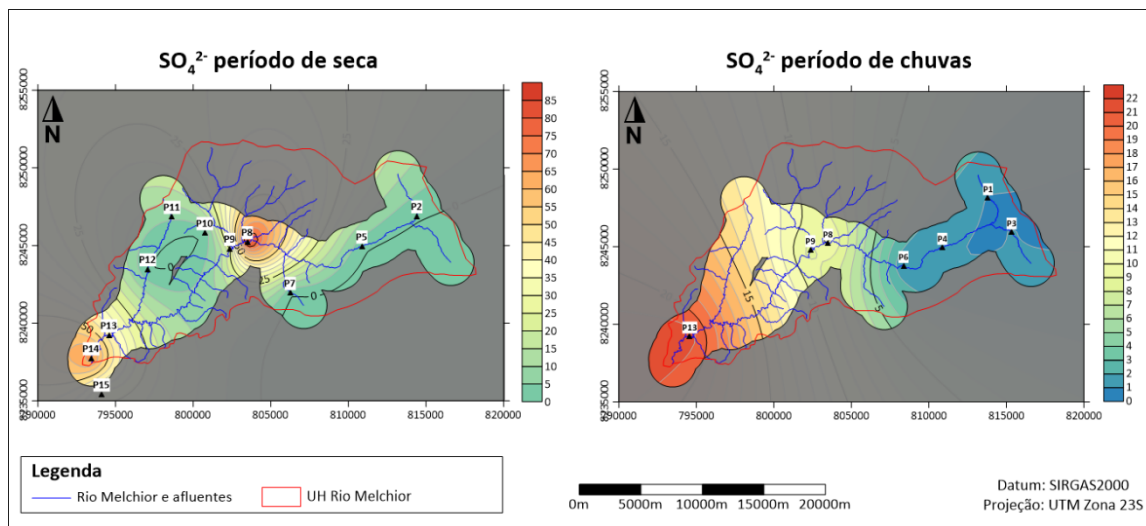
Na estação seca, os valores obtidos variaram entre 2,6 e 6,4 mg/L. As maiores concentrações estão localizadas na região central da bacia, nas proximidades do ponto P10, com valores superiores a 5,6 mg/L, e as menores concentrações foram observadas na região de nascente da bacia, próximo ao ponto P2 (localizado no Córrego Cortado). Já na estação chuvosa, os valores variaram entre 2 e 4,6 mg/L, estando os menores valores (abaixo de 2,5 mg/L) localizados nas nascentes e os maiores valores (acima de 4,4 mg/L) localizados na região de exutório da bacia.

Comparando-se as duas estações avaliadas, nota-se que os valores obtidos a partir das análises realizadas no período de seca foram ligeiramente superiores aos valores obtidos no período de chuvas, indicando que ocorre maior diluição deste parâmetro sob influência das chuvas.

SO_4^{2-}

A Figura 26 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do íon SO_4^{2-} na água ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 26. Mapas de distribuição dos valores de concentração de SO_4^{2-} na água ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/L).



No período de seca, os valores obtidos variaram de 0 a 90 mg/L, estando as maiores concentrações localizadas na região da ETE Melchior e na região de exutório da bacia, com valores superiores a 50 mg/L, e as menores concentrações localizadas nas regiões de nascentes (próximas aos pontos P2, P7, P11 e P12), com valores próximos de 0 mg/L. Já no período de chuvas, os valores variaram entre 0 e 23 mg/L, num padrão de aumento das concentrações de montante para jusante na bacia.

Os valores verificados no período de chuvas foram consideravelmente inferiores aos do período de seca, em razão da maior diluição deste íon sob influência das chuvas. Em ambos os períodos, verificou-se que as concentrações quantificadas nas amostras de nascentes são próximas de 0 mg/L, e os valores aumentam em direção ao exutório, indicando a influência das atividades antrópicas sobre as concentrações deste íon em água.

5.2. Análise de Sedimentos

5.2.1. Estatística Descritiva

Os resultados dos parâmetros avaliados nas amostras de sedimentos analisadas neste trabalho estão apresentados nos anexos. A Tabela 14 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros analisados.

Tabela 14. Estatística descritiva dos parâmetros analisados em sedimentos na UHRM, n=15.

Parâmetro	Média	Mínimo	Máximo	STD
Al₂O₃ (%)	19,39	10,33	37,21	7,07
CaO (%)	1,22	0,22	3,24	0,99
Fe₂O₃ (%)	7,66	0,93	12,65	3,15
K₂O (%)	1,70	0,58	2,61	0,65
MgO (%)	0,71	0,17	1,20	0,65
Na₂O (%)	0,17	0,01	0,36	0,11
SiO₂ (%)	52,91	34,22	84,29	14,22
TiO₂ (%)	1,29	0,44	2,49	0,55
PF (%)	20,55	7,35	33,72	7,46
Co (mg/kg)	18,47	8,89	27,02	4,38
Cr (mg/kg)	93,24	39,72	138,04	26,44
Cu (mg/kg)	53,69	14,29	139,56	31,14
Mn (mg/kg)	336,52	24,18	1136,25	266,34
Ni (mg/kg)	19,96	8,70	28,42	4,87
P (mg/kg)	5575,76	222,22	19550,70	6059,54
Pb (mg/kg)	25,65	<ld	44,56	8,52
Sr (mg/kg)	49,66	12,29	116,84	31,14
V (mg/kg)	118,77	45,17	189,68	37,31
Zn (mg/kg)	186,45	21,43	382,05	111,18
Zr (mg/kg)	334,28	189,34	534,85	107,07

A estatística descritiva possibilita uma visualização preliminar dos dados. Por meio dos dados apresentados na Tabela 14, verifica-se que os parâmetros que apresentaram maior variação ao longo da bacia foram: Mn, P, Zn e Zr. Já os parâmetros CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, TiO₂, As, Co e Ni apresentaram variação pequena ao longo da bacia e das estações analisadas.

5.2.2. Análise de Principais Componentes (PCA)

Assim como realizado com os dados de parâmetros dissolvidos em água, foi aplicada análise de componentes principais a uma matriz de dados que contém todos os pontos de coleta e as variáveis Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, P, Pb, Sr, V, Zn e Zn em sedimentos da UHRM, com o objetivo de avaliar a correlação dos parâmetros analisados ao longo da bacia, nos dois períodos analisados.

A PCA explicou 76,97% da variância acumulada nas duas primeiras componentes geradas, sendo que a primeira componente explicou 46,98% da variância, e a segunda componente contribuiu com 29,99% da variância dos dados (Tabela 15).

Tabela 15. Autovalores, porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados.

Componentes Principais	Autovalor	% Variância	% Cumulativa
PC1	9,39	46,98	46,98
PC2	5,99	29,99	76,97

A Tabela 16 apresenta as cargas de cada variável sobre cada componente, indicando o quanto as variáveis analisadas contribuem para a variação dos dados. De acordo com Bernardi *et al.* (2009), determina-se as variáveis consideradas ativas aquelas que possuem cargas iguais ou superiores a 0,7 e as suplementares as que possuem cargas inferiores a 0,7. No entanto, todas as variáveis do presente estudo apresentaram cargas inferiores a 0,7. Assim, a análise foi feita considerando-se como mais significativas as variáveis com as cargas mais elevadas. Como a carga máxima foi de 0,39, considerou-se para a análise variáveis com cargas superiores a 0,27 (valor que corresponde a 70% da carga máxima).

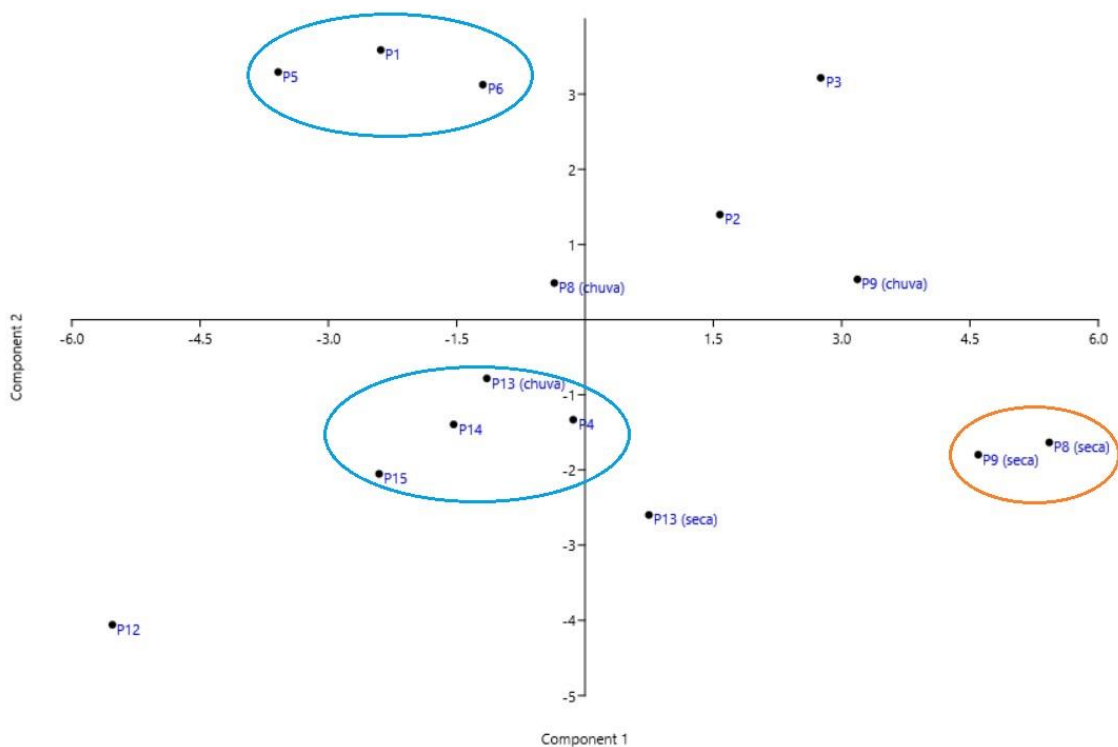
Tabela 16. Cargas das variáveis nas componentes principais.

Variáveis	PC 1	PC 2
Al₂O₃	0,0052883	0,35671
CaO	0,30718	-0,053887
Fe₂O₃	0,21647	-0,025756
K₂O	0,078072	-0,33232
MgO	0,25255	-0,075455
Na₂O	0,23392	-0,15821
SiO₂	-0,28163	-0,13543
TiO₂	-0,029638	0,38814
Co	0,18727	0,26201
Cr	0,11907	0,36088
Cu	0,27745	-0,02932
Mn	0,23389	-0,14049
Ni	0,26728	0,13596
P	0,2462	-0,17959
Pb	0,23501	0,23717
Sr	0,2986	-0,11193
V	0,14795	0,28762
Zn	0,30768	-0,091489
Zr	-0,13969	0,31944

Nota: Valores acima de 0,27 destacados em vermelho.

A Figura 27 apresenta o resultado da PCA realizada, referente à projeção espacial da ordenação dos vetores dos pontos de coleta nas duas componentes principais.

Figura 27. Projeção espacial da ordenação dos vetores nas duas componentes principais.



A ordenação nos dois vetores principais explica 76,97% da variabilidade dos dados. As variáveis que apresentaram as maiores cargas, portanto, mais relevantes, foram CaO, SiO₂, Cu, Sr e Zn para a PC1 e Al₂O₃, K₂O, TiO₂, Cr, V e Zr para a PC2. Não se observa forte ordenação com agrupamentos dos pontos de coleta nas duas componentes principais, mas é possível notar a formação de alguns grupos: dois formados por pontos com valores negativos em relação à PC1 (circundados em azul) e outro formado por pontos com valores muito elevados em relação à PC1 (circundado em laranja).

Na primeira componente, as principais variáveis foram CaO, Cu, Sr e Zn, além de MgO, Ni e P (que tiveram valores de carga bem próximos de 0,27), e SiO₂ contribuindo negativamente. A origem desses parâmetros pode ser correlacionada com atividades antrópicas, estando esta componente associada à influência da ocupação urbana na bacia. Os pontos P8 e P9 apresentaram forte correspondência com esta componente, sendo pontos com maior grau de alteração ambiental, localizados na região da ETE Melchior. Já os pontos circundados em azul, possuem melhor condição de preservação ambiental, apresentando correlação negativa com esta componente.

Na segunda componente, as principais variáveis foram Al₂O₃, TiO₂, Cr, V e Zr contribuindo positivamente e K₂O contribuindo negativamente. Interpreta-se que esta componente indica o intemperismo na UHRM, de forma que os pontos que se apresentam

em forte correlação estão associados a maior grau de preservação ambiental.

Os pontos agrupados em azul, por apresentarem correlação negativa com a PC1, podem ser interpretados como pontos com maior preservação ambiental, em comparação com os pontos agrupados em laranja. O ponto P12 destaca-se nesta análise por apresentar forte correlação negativa, tanto com a PC1, quanto com a PC2, em razão de suas relativamente baixas concentrações em todos os parâmetros analisados. Este ponto apresenta bom grau de preservação ambiental, e por esta razão, foi selecionado como ponto de controle (representando o *background* local) nas análises deste estudo.

5.2.3. Índices de Geoacumulação

Para a avaliação da intensidade da contaminação do sedimento, aplicou-se os índices de geoacumulação (Müller, 1979), que correlacionam os teores de metais verificados a partir das análises das amostras de sedimentos e um valor referencial, que pode ser um valor equivalente à média mundial para metais associados às argilas, ou um valor de *background* local. Neste trabalho, para fins de comparação, optou-se por realizar duas análises, uma considerando valores de *background* da crosta continental (Wedepohl, 1995) e outra considerando os valores obtidos a partir da análise da amostra do ponto P12, considerado como o valor de *background* local, por ser o ponto com melhor grau de preservação ambiental.

A Tabela 17 apresenta os índices de geoacumulação obtidos para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da bacia, nas diferentes estações (seca e chuva), utilizando-se como valores de *background* os valores de Wedepohl (1995).

Tabela 17. Classificação das amostras segundo os Índices de Geoacumulação, com valores de *background* da crosta continental de Wedepohl (1995).

Ponto	Índice de Geoacumulação					
	0	1	2	3	4	5
P1	CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Cu, Mn, Ni, P, Sr, V, Zn	Al ₂ O ₃ , Pb, Zr	TiO ₂			
P2	Al ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr, Zr	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, P, Pb, V	Zn			
P3	CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, P, V, Zr	Pb, Zn			
P4	Al ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr, V, Zr	Fe ₂ O ₃ , Cu, P, Pb	Zn			
P5	CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Cu, Mn, Ni, P, Pb, Sr, V, Zn	Al ₂ O ₃ , Zr	TiO ₂			
P6	CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, P, Sr	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, Pb, V, Zn, Zr				
P8 chuva	Al ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr, V	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, Pb, Zn, Zr	P			
P8 seca	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Ni, Sr, V, Zr	Mn, Pb	Cu, Zn			P
P9 chuva	Al ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr, V, Zr	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, Pb	Zn		P	
P9 seca	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Sr, V, Zr	Pb	Cu, Zn		P	
P12	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Cu, Mn, Ni, P, Pb, Sr, V, Zn, Zr					
P13 chuva	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Sr, V	TiO ₂ , Cu, Zn, Zr		P		
P13 seca	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zr	Cu	Zn		P	
P14	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, V	Zn, Zr		P		
P15	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , TiO ₂ , Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, V	Zn, Zr	P			

Conforme observa-se na Tabela 17, os índices de geoacumulação obtidos variaram entre 0 (praticamente incontaminado) e 5 (grau de contaminação forte a muito forte). A maioria dos parâmetros avaliados foi enquadrada nas classificações

“praticamente incontaminado” e “incontaminado a grau moderado de contaminação” (índices 0 e 1, respectivamente), sendo eles: CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, SiO₂, Co, Cr, Mn, Ni, Sr, V e Zr. Em razão desse enquadramento, interpreta-se que esses parâmetros sejam de origem natural, não caracterizando contaminação por ocupação da bacia.

O parâmetro P apresentou os maiores índices de geoacumulação verificados, de 2 (grau de contaminação moderado) a 5 (grau de contaminação forte a muito forte), sendo possível estabelecer uma correlação entre a ocupação da bacia pelo uso urbano com esse indicador de contaminação. Além do P, os parâmetros TiO₂, Zn, Pb e Cu também podem indicar contaminação, pois apresentaram índice de geoacumulação 2 (grau de contaminação moderado).

A Tabela 18 apresenta os índices de geoacumulação obtidos para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da bacia, nas diferentes estações (seca e chuva), utilizando-se como *background* os valores obtidos a partir das análises da amostra do ponto P12.

Tabela 18. Classificação das amostras segundo os Índices de Geoacumulação, com valores de *background* do ponto P12 (*background* local).

Ponto	Índice de Geoacumulação						
	0	1	2	3	4	5	6
P1	CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , Mn, Zn	Al ₂ O ₃ , As, Co, Ni, P, Sr, V, Zr	TiO ₂ , Cr, Cu				
P2	K ₂ O, SiO ₂ , Zr	Al ₂ O ₃ , MgO, Na ₂ O, As, Co, Cr, Mn, Ni	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cu, Sr, V	CaO, P, Zn			
P3	K ₂ O, SiO ₂ , Mn	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, Co, Ni, Zr	TiO ₂ , Cr, Cu, P, Sr, V	CaO, Na ₂ O, Zn			
P4	Al ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, SiO ₂ , Zr	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , As, Co, Cr, Mn, Ni, V	CaO, Na ₂ O, Cu, Sr	P, Zn			
P5	Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, SiO ₂ , As, Mn, Sr	CaO, Co, Cr, Cu, Ni, P, V, Zn, Zr	Al ₂ O ₃ , TiO ₂				
P6	K ₂ O, MgO, SiO ₂ , Mn	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , Na ₂ O, As, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zr	TiO ₂ , P, V	Zn			
P8 chuva	K ₂ O, SiO ₂ , Mn, Zr	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, Na ₂ O, TiO ₂ , As, Co, Cr, Cu, Ni	CaO, Sr, V	Zn	P		
P8 seca	K ₂ O, SiO ₂ , Zr	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, TiO ₂ , As, Cr, Ni, V	Co, Mn	Na ₂ O, Cu, Sr	CaO, Zn		P
P9 chuva	K ₂ O, SiO ₂ , Zr	Al ₂ O ₃ , MgO, Na ₂ O, TiO ₂ , As, Co, Cr, Mn, Ni	Fe ₂ O ₃ , Cu, V	CaO, Sr	Zn		P
P9 seca	Al ₂ O ₃ , K ₂ O, SiO ₂ , Zr	Fe ₂ O ₃ , MgO, TiO ₂ , As, Co, Cr, Mn, V	Ni	Na ₂ O, Cu, Sr	CaO, Zn		P
P13 chuva	K ₂ O, SiO ₂ , As, Mn, Zr	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , MgO, Na ₂ O, TiO ₂ , Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V		Zn		P	
P13 seca	K ₂ O, MgO, SiO ₂ , Mn, Zr	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , As, Co, Cr, Ni, V	CaO, Cu, Sr	Na ₂ O	Zn		P
P14	Al ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, SiO ₂ , Mn	CaO, Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , As, Co, Cr, Cu, Ni, V, Zr	Na ₂ O, Sr, Zn		P		
P15	Al ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, SiO ₂ , Mn	CaO, Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , As, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Zr	Na ₂ O, Zn		P		

Como pode-se observar na Tabela 18, os índices de geoacumulação variaram de 0 (praticamente incontaminado) a 6 (grau de contaminação muito forte). Os parâmetros enquadrados nos índices 0 e 1, que correspondem aos materiais geogênicos, são Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , SiO_2 , Zr, Mn, Ni, Co e Cr, e apresentaram esses índices na maioria dos pontos analisados.

A contaminação moderada e moderada a forte (índices de geoacumulação 2 e 3, respectivamente) é representada principalmente pelos parâmetros CaO, P, Zn, Na_2O , Cu, Sr, TiO_2 e V. Os parâmetros que caracterizam uma contaminação mais forte, com índices de 4 a 6, são o P, CaO e Zn.

Comparando-se as duas análises realizadas, nota-se que utilizando-se os valores do ponto P12 como valores de *background*, os resultados obtidos foram de maior quantidade de parâmetros com índices de geoacumulação mais altos, ou seja, com possibilidade de caracterizar melhor a contaminação na bacia, uma vez que a comparação é realizada com valores de *background* locais, considerando a natureza geoquímica da bacia. A utilização dos valores de referência da crosta continental é interessante a título de uma noção mais generalizada da contaminação, observando-se os valores médios globais, mas não considera o arcabouço geológico local e sua influência na geoquímica dos sedimentos da bacia.

5.2.4. Fatores de Enriquecimento

Além dos índices de geoacumulação, outra análise realizada foi a dos fatores de enriquecimento, que constituem um índice que possibilita avaliar o enriquecimento de um elemento por meio da normalização por outro elemento que seja mais imóvel e estável no sistema. O elemento selecionado como normalizador foi o Zr e, assim como para os índices de geoacumulação, foram realizadas duas análises, considerando dois valores de *background* diferentes (valores da crosta continental, de Wedepohl (1995) e valores do *background* local, do ponto P12).

A Tabela 19 apresenta os resultados com os fatores de enriquecimento obtidos para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da bacia, nas diferentes estações (seca e chuva), utilizando-se como valores de *background* os valores da crosta continental.

Tabela 19. Valores de Fatores de Enriquecimento das amostras analisadas (*background* da crosta continental).

Metal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8 c	P8 s	P9 s	P9 c	P12	P13 c	P13 s	P14	P15
Al	0,7	1,0	0,9	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	1,1	1,0	0,6	0,7	0,9	0,5	0,4
Ca	0,0	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,5	0,6	0,3	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
Fe	0,1	1,4	0,7	1,4	0,2	0,5	1,0	1,3	1,4	1,4	0,5	0,8	1,0	0,6	0,6
K	0,1	0,2	0,3	0,6	0,1	0,2	0,4	0,8	0,9	0,4	0,7	0,5	0,9	0,5	0,5
Mg	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Na	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Si	0,4	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	0,6	0,5	0,6	0,6	1,2	0,6	0,7	0,6	0,6
Ti	1,4	1,5	1,3	1,2	1,5	1,0	1,2	1,3	1,4	1,4	0,6	1,1	1,1	0,8	0,7
Co	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5	1,0	0,8	0,6	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3
Cr	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3
Cu	1,1	1,4	1,2	1,5	0,4	0,6	1,0	3,2	6,0	2,1	0,5	1,1	2,1	0,7	0,6
Mn	0,0	0,5	0,2	0,6	0,1	0,0	0,2	1,4	0,5	0,6	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Ni	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
P	0,3	1,2	0,8	2,6	0,2	0,4	3,3	22,6	20,4	11,8	0,3	5,0	13,2	3,3	2,8
Pb	1,0	1,4	1,4	1,3	0,4	0,7	1,1	1,9	2,0	1,5	0,0	0,7	1,3	0,6	0,5
Sr	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
V	0,6	1,2	0,9	1,2	0,4	0,6	0,9	0,9	1,1	1,0	0,4	0,7	0,8	0,5	0,5
Zn	0,2	2,3	1,7	2,8	0,3	0,8	1,6	5,2	5,4	3,5	0,3	1,9	3,8	1,1	0,8

O tratamento com fatores de enriquecimento usando valores de *background* da crosta continental forneceu resultados enquadrados majoritariamente nas categorias de nenhum enriquecimento ($FE < 1$) e enriquecimento baixo ($FE < 3$). Os parâmetros Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Sr e V apresentaram fatores de enriquecimento nessas classes em todos os pontos analisados, evidenciando sua origem geogênica. Os parâmetros Cu e Zn apresentaram fatores de enriquecimento enquadrados nas classes enriquecimento moderado ($FE = 3-5$) e enriquecimento moderadamente severo ($FE = 5-10$) em alguns dos pontos analisados, principalmente na região da ETE Melchior (pontos P8 e P9). O parâmetro P foi o único que apresentou fator de enriquecimento severo ($FE = 10-25$), também na região da ETE e a jusante (pontos P8, P9 e P13).

Assim, de maneira geral, os sedimentos da bacia apresentam baixo ou nenhum enriquecimento em metais, quando comparados com os valores globais (Wedepohl, 1995). Os parâmetros que podem ser indicadores de contaminação da bacia por ocupação por uso urbano, de acordo com esta análise, são P, Cu e Zn.

A Tabela 20 apresenta os resultados com os fatores de enriquecimento obtidos para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da bacia, nas diferentes estações (seca

e chuva), utilizando-se como valores de *background* os valores do ponto P12.

Tabela 20. Valores de Fatores de Enriquecimento das amostras analisadas (*background* do ponto P12).

Metal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8 c	P8 s	P9 s	P9 c	P13 c	P13 s	P14	P15
Al	1,18	1,69	1,52	1,43	1,64	0,99	1,32	1,69	1,78	1,64	1,23	1,47	0,80	0,65
Ca	0,57	6,90	4,69	5,58	0,77	0,77	3,35	13,37	17,64	7,25	1,52	5,21	1,62	1,12
Fe	0,15	2,98	1,44	2,96	0,52	1,04	2,09	2,71	2,96	3,07	1,77	2,24	1,24	1,25
K	0,17	0,34	0,49	0,87	0,13	0,22	0,52	1,12	1,26	0,65	0,69	1,26	0,78	0,69
Mg	0,17	1,81	1,26	1,03	0,21	0,32	1,08	2,33	2,14	1,32	1,07	1,45	0,79	0,63
Na	0,13	2,28	3,87	5,27	0,38	0,65	2,03	6,81	10,32	2,34	1,35	6,77	2,33	3,21
Si	0,32	0,31	0,23	0,59	0,34	0,26	0,53	0,43	0,52	0,46	0,54	0,56	0,47	0,46
Ti	2,46	2,64	2,30	2,08	2,58	1,67	2,02	2,20	2,45	2,43	1,87	1,97	1,37	1,16
Co	1,26	1,59	1,46	1,75	1,13	0,96	1,45	3,03	2,42	1,98	1,39	1,58	1,16	1,00
Cr	1,82	2,06	1,88	1,86	1,10	1,27	1,79	2,25	2,88	2,25	1,48	1,80	1,20	1,00
Cu	2,16	2,71	2,38	3,05	0,76	1,17	2,01	6,45	11,91	4,26	2,12	4,22	1,48	1,20
Mn	0,06	1,70	0,74	2,09	0,19	0,17	0,75	5,05	1,85	2,04	0,82	1,41	0,65	0,70
Ni	1,26	1,79	1,48	1,85	0,98	0,97	1,56	2,84	3,99	2,38	1,89	2,14	1,28	0,96
P	1,28	4,71	3,26	10,23	0,78	1,57	12,68	87,73	79,09	45,70	19,42	51,25	12,93	10,81
Pb	1,34	1,75	1,87	1,75	0,47	0,95	1,47	2,42	2,64	1,90	0,95	1,64	0,77	0,70
Sr	0,97	2,92	2,08	4,19	0,68	1,06	2,37	8,83	11,60	5,60	2,08	4,82	2,02	1,44
V	1,42	2,94	2,29	2,97	0,96	1,53	2,15	2,32	2,83	2,52	1,63	1,88	1,36	1,16
Zn	0,75	7,82	5,84	9,70	1,07	2,80	5,61	17,78	18,68	12,13	6,45	13,12	3,64	2,75

O tratamento com fatores de enriquecimento usando valores de *background* local (ponto P12) forneceu resultados enquadrados majoritariamente nas categorias de nenhum enriquecimento ($FE < 1$) e enriquecimento baixo ($FE < 3$). Os parâmetros Al, Fe, K, Mg, Si, Ti, Co, Cr, Mn, Ni, Pb e V apresentaram fatores de enriquecimento nessas classes em praticamente todos os pontos analisados, evidenciando sua origem geogênica. Os parâmetros Ca, Fe, Na, Cu, Mn, Ni, P, Sr e Zn apresentaram fatores de enriquecimento classificados como enriquecimento moderado ($FE = 3-5$) e enriquecimento moderadamente severo ($FE = 5-10$) em pelo menos um ponto de coleta, mas principalmente na região da ETE Melchior e a jusante da mesma. Já os parâmetros enquadrados em enriquecimento severo ($FE = 10-25$) e muito severo ($FE = 25-50$), foram o Ca, Na, Cu, P, Sr e Zn, principalmente na região da ETE (pontos P8, P9 e a jusante). O único parâmetro enquadrado em enriquecimento extremamente severo ($FE > 50$) foi o P, também na região dos pontos P8 e P9.

Assim, por meio desta análise, foi possível destacar os parâmetros Ca, Na, Cu, P, Sr e Zn como indicadores da contaminação da bacia pela ocupação por uso urbano.

Comparando-se as duas análises, foi evidenciado que a análise feita considerando os valores de *background* locais gerou resultados com fatores de enriquecimento mais elevados, possibilitando caracterizar com maior precisão a contaminação e os parâmetros em termos de seu enriquecimento por atividades antrópicas.

5.2.5. Análise Espacial

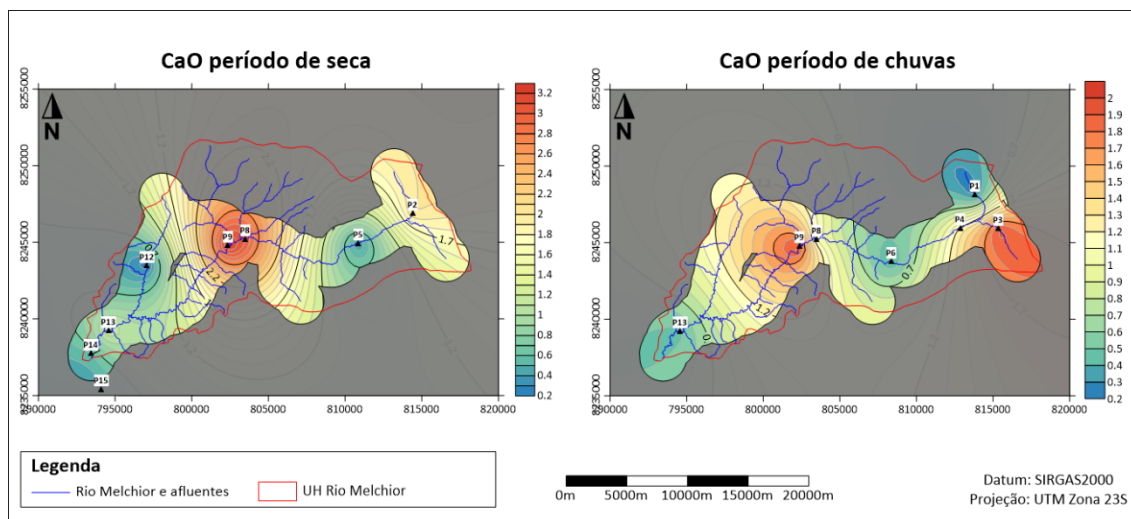
Foram gerados mapas com o objetivo de compreender a distribuição dos parâmetros mais relevantes (do ponto de vista de alteração ambiental) analisados ao longo da bacia: Ca, Cu, Na, Ni, P, Sr e Zn. Ressalta-se que a eficácia do método de interpolação adotado depende da quantidade de pontos distribuídos pela área analisada, e que houve diferenças entre as distribuições de pontos na época de seca e de chuva. Os mapas referentes ao período de seca foram gerados com 8 pontos de coleta e os mapas do período de chuvas, com 7 pontos.

Em razão dessa diferença entre os períodos analisados, os mapas gerados com dados do período de seca são mais representativos das variações espaciais na bacia, e os mapas com dados do período chuvoso são mais genéricos. Ainda assim, a análise desses mapas constitui ferramenta útil de análise das condições da bacia e suas variações espaciais. A escala de cores adotada para representar os valores varia de azul (retratando os valores mínimos) a vermelho (retratando os valores máximos), para cada parâmetro.

CaO

A Figura 28 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do óxido CaO em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 28. Mapas de distribuição dos valores de concentração de CaO em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em %).



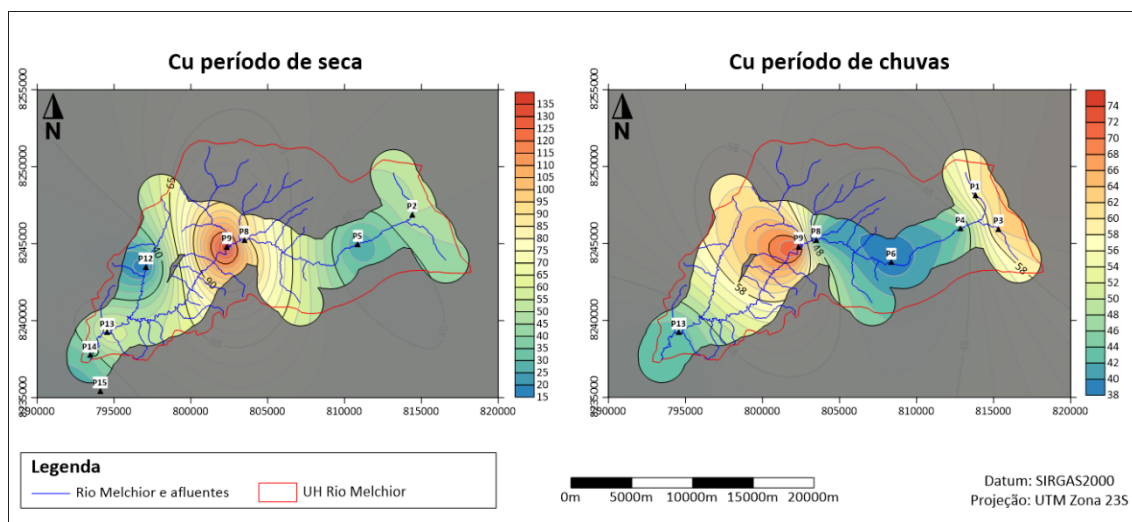
A análise dos mapas possibilita notar que no período de seca, os valores variaram de 0,2 a 3,3%, estando as maiores concentrações localizadas principalmente na região da ETE Melchior, nas proximidades dos pontos P8 e P9, e as menores concentrações verificadas localizadas no Ribeirão Taguatinga e na nascente do Ribeirão Salta Fogo (valores inferiores a 1,2%). No período chuvoso, os valores variaram entre 0,2 e 2,1%, estando os valores mais altos localizados nas proximidades dos pontos P3, P8 e P9 (acima de 1,7%) e os valores mais baixos (inferiores a 0,7%) localizados nas proximidades dos pontos P1, P6 e P13.

Não houve grandes variações entre os resultados obtidos nas diferentes estações do ano. A análise espacial permitiu verificar que as maiores concentrações deste parâmetro estão localizadas na região da ETE Melchior.

Cu

A Figura 29 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Cu em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 29. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Cu em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).



No período de seca, os valores de concentração de Cu em sedimentos variaram entre 15 e 140 mg/kg, com os maiores valores (acima de 90 mg/kg) localizados na região central da bacia (próxima aos pontos P8 e P9) e as menores concentrações localizadas no Ribeirão Taguatinga e na nascente do Ribeirão Salta Fogo (próximas aos pontos P5 e P12), com valores inferiores a 40 mg/kg. No período de chuvas, os valores variaram entre 38 e 76 mg/kg, estando os maiores valores observados (acima de 58 mg/kg) localizados nos Córregos Cortado e Taguatinga e após a ETE Melchior, e os mais baixos valores

localizados no Ribeirão Taguatinga e na região de exutório da bacia, indicando que ao longo do curso d'água, este parâmetro foi perdendo expressão.

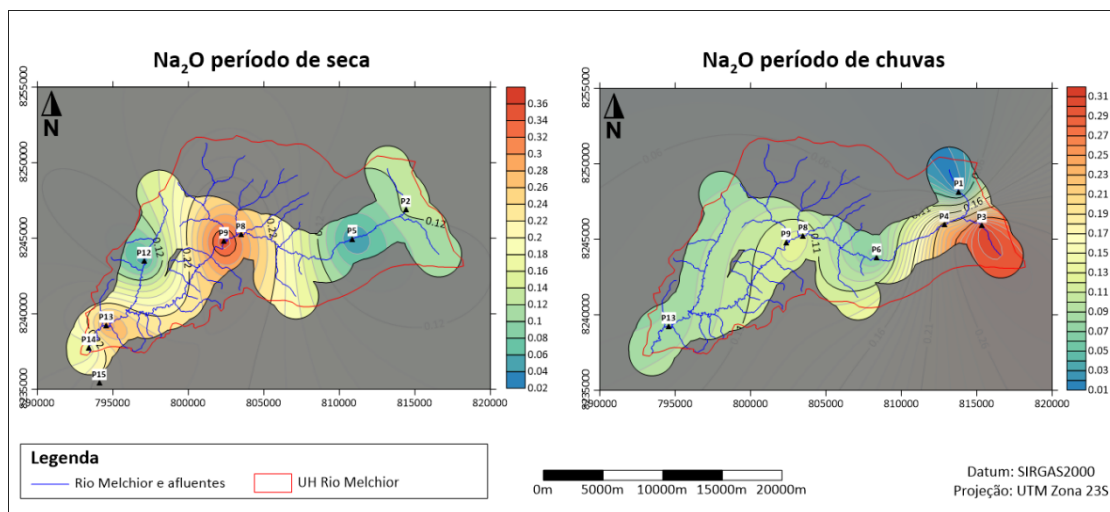
Houve variação considerável entre os valores obtidos nos dois períodos avaliados, possivelmente em razão do aporte de novos sedimentos carreados pelo escoamento superficial no período de chuvas.

A presença de Cu nos sedimentos da bacia em concentrações elevadas (evidenciado pelas análises estatísticas realizadas) revela a necessidade de controle, avaliação detalhada e monitoramento sobre o grau de contaminação da bacia.

Na₂O

A Figura 30 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do óxido Na₂O em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 30. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Na₂O em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em %).



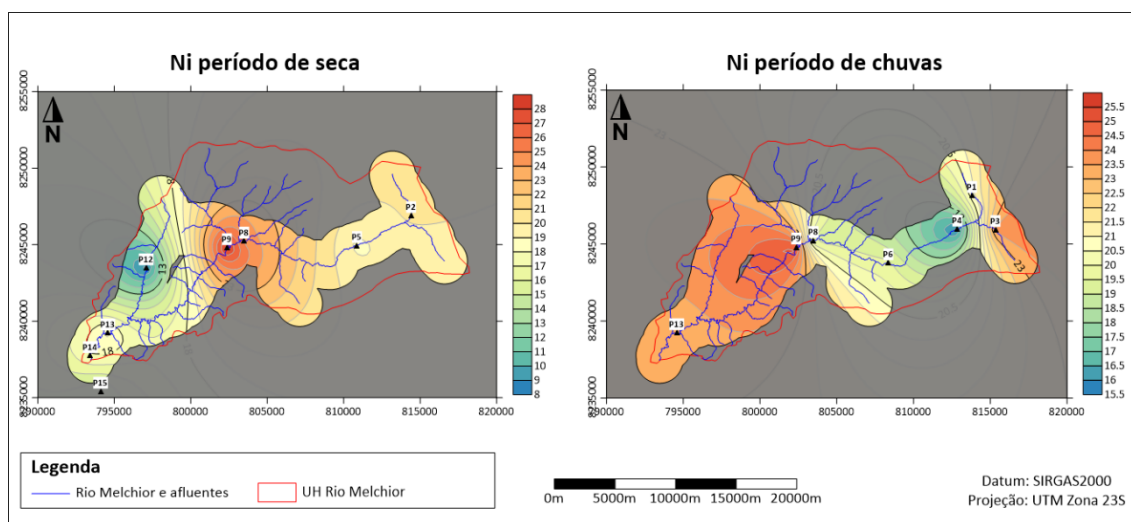
Na estação seca, os valores obtidos para este parâmetro variaram entre 0,02 e 0,38%, estando os valores mais altos localizados nas regiões central (próxima à ETE Melchior) e no exutório da bacia, com concentrações acima de 0,22%, e os valores mais baixos localizados nas regiões de nascentes, próximas dos pontos P2, P5 e P12, com concentrações abaixo de 0,12%. Na estação chuvosa, os valores variaram de 0,01 a 0,32%, estando as maiores concentrações localizadas na porção leste da bacia, na região de nascente no Córrego Taguatinga, com valores superiores a 0,26%, e as menores concentrações localizadas na nascente do Córrego Cortado, com valores inferiores a 0,06%.

Não houve grande variação entre os valores mínimo e máximo obtidos nos períodos avaliados.

Ni

A Figura 31 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Ni em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 31. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Ni em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).



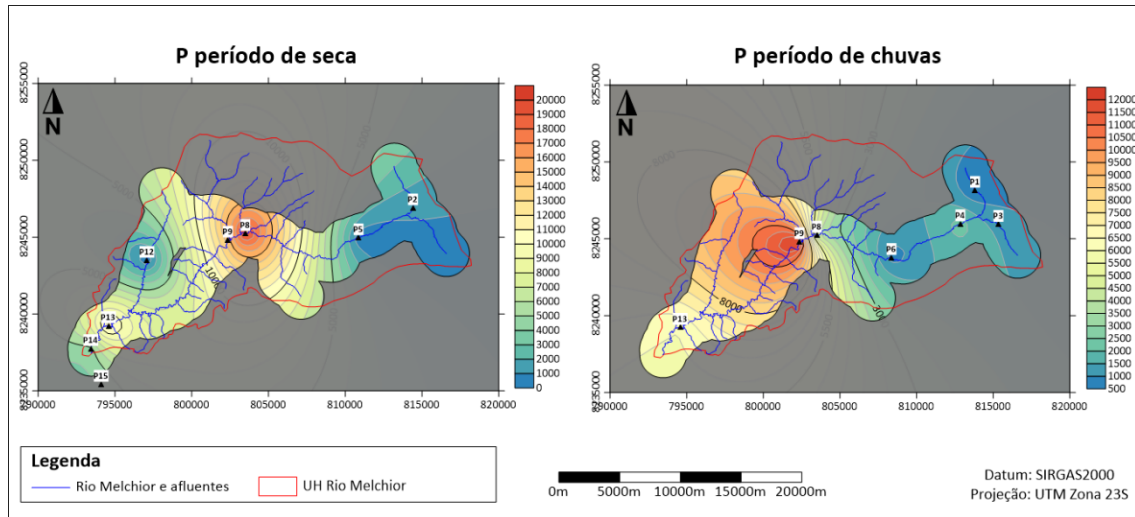
Na época de seca, os valores de Ni nos sedimentos variaram de 8 a 29 mg/kg. Os maiores valores verificados estão concentrados na região central da bacia (na região da ETE Melchior), sendo acima de 23 mg/kg, enquanto os valores mais baixos estão localizados na região de nascente do Ribeirão Salta Fogo (nas proximidades do ponto P12), sendo inferiores a 13 mg/kg. Já no período de chuvas, os valores variaram entre 15,5 e 26 mg/kg, e observa-se no mapa um padrão de aumento dos valores de montante para jusante, sendo os máximos valores observados localizados na região central da bacia, próximo à ETE.

Houve pequena variação entre os valores observados nas duas épocas analisadas. Comparando-se os pontos em que houve coleta nos dois períodos, foi possível verificar que os valores obtidos a partir das análises realizadas no período de chuvas foram menores, possivelmente em razão do aporte de sedimentos externos ao ambiente do Rio Melchior carreados pelo escoamento superficial no período de chuvas.

P

A Figura 32 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro P em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 32. Mapas de distribuição dos valores de concentração de P em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).



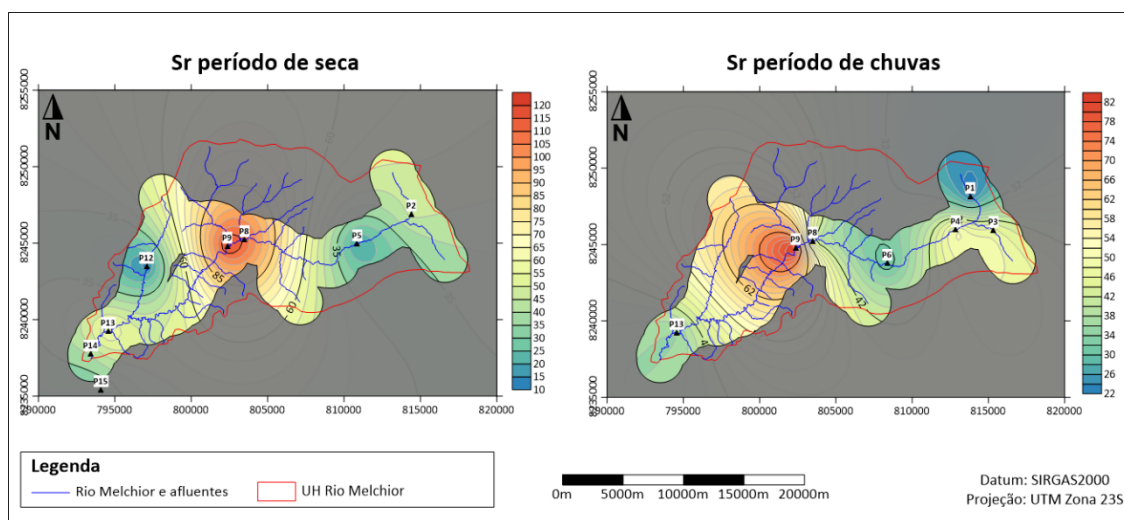
Na época de seca, os valores de P em sedimentos variaram de 0 a 21000 mg/kg. Os maiores valores verificados estão concentrados na região central da bacia (próximo à ETE Melchior), sendo acima de 15000 mg/kg, enquanto os valores mais baixos estão localizados nas regiões de nascentes (nas proximidades dos pontos P2, P7, P11 e P12), sendo inferiores a 5000 mg/kg. Já no período de chuvas, os valores variaram entre 500 e 12500 mg/kg, e observa-se no mapa um padrão de aumento dos valores de montante para jusante, sendo os máximos valores observados localizados na região central da bacia, próximo à ETE.

Houve variação expressiva entre os valores máximos observados nas duas épocas analisadas. Comparando-se os pontos em que houve coleta nos dois períodos, foi possível verificar que os valores obtidos a partir das análises realizadas no período de chuvas foram menores, possivelmente em razão do aporte de sedimentos externos ao ambiente do Rio Melchior carregados pelo escoamento superficial no período de chuvas.

Sr

A Figura 33 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Sr em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 33. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Sr em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).



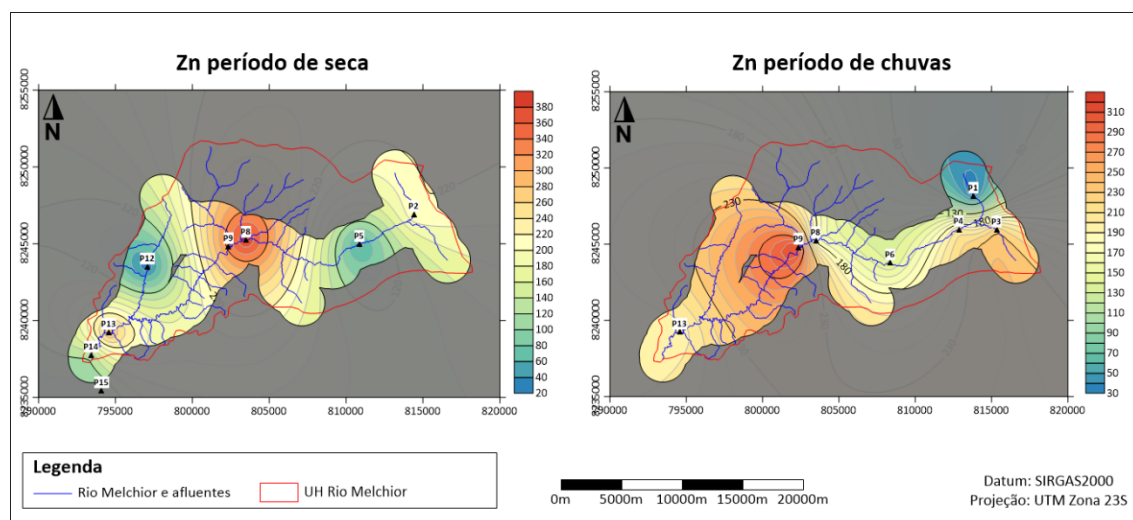
No período de seca, os valores de concentração de Sr em sedimentos variaram de 10 a 125 mg/kg, com os maiores valores (acima de 85 mg/kg) localizados na região central da bacia (próxima à ETE Melchior) e as menores concentrações localizadas nas regiões de nascentes (próximas aos pontos P2, P5 e P12), com valores inferiores a 45 mg/kg. No período de chuvas, os valores variaram entre 22 e 84 mg/kg, estando os maiores valores observados (acima de 72 mg/L) localizados na região da ETE, e os mais baixos valores localizados na região de nascente, no Córrego Cortado, e na região de exutório da bacia, indicando que ao longo do curso d'água, este íon foi perdendo expressão.

Houve diferença expressiva entre os valores obtidos nos dois períodos avaliados, possivelmente pela ação das chuvas no carreamento de sedimentos por escoamento superficial, levando ao aporte de sedimentos com características geoquímicas distintas dos sedimentos do leito do rio. Com base na localização dos pontos com as maiores concentrações, nota-se uma correlação da origem deste parâmetro com áreas com ocupação urbana na bacia.

Zn

A Figura 34 apresenta os mapas gerados para as variações de concentração do parâmetro Zn em sedimentos ao longo da bacia nos períodos de seca e chuvas.

Figura 34. Mapas de distribuição dos valores de concentração de Zn em sedimentos ao longo da bacia em período de seca e de chuvas (valores em mg/kg).



Na estação seca, os valores obtidos variaram de 20 a 400 mg/kg, estando os valores mais altos localizados na região central da bacia, nas proximidades da ETE Melchior, com valores superiores a 320 mg/kg, e os valores mais baixos (inferiores a 120 mg/kg) localizados na nascente do Ribeirão Salta Fogo e no Ribeirão Taguatinga. Na estação chuvosa, os valores verificados variaram de 30 a 320 mg/L. Observa-se um aumento dos valores obtidos de montante para jusante na bacia, estando as menores concentrações localizadas na região de nascente do Córrego Cortado e as maiores concentrações localizadas na região da ETE.

Tanto no período de chuvas, quanto no período de seca, observou-se aumento da concentração em direção ao exutório da bacia, indicando a origem antrópica deste parâmetro. Não foi observada diferença expressiva entre os valores obtidos no período de seca e no período de chuvas.

6. Considerações Finais

A qualidade ambiental da água e dos sedimentos de fundo avaliados nesse estudo mostrou-se alterada devido às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia do Rio Melchior, principalmente pela ocupação urbana. Foram detectadas altas concentrações dos parâmetros analisados principalmente nos locais próximos à ETE Melchior e ao Aterro Sanitário do Distrito Federal, localizados na região central da bacia.

Os resultados das análises das amostras de água evidenciaram os parâmetros condutividade elétrica, Ca, Na, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- como indicadores de alterações na qualidade ambiental do Rio Melchior. Os pontos que se apresentaram mais alterados e com altas concentrações dos parâmetros avaliados foram os pontos P8, P9, P10, P13 e P14.

As duas estações avaliadas (período de seca e período de chuvas) apresentaram diferenças consideráveis para os parâmetros condutividade elétrica, Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-} em análises de água, sendo os valores do período de seca mais elevados que os do período de chuvas, em razão da maior diluição desses íons com as chuvas.

A análise de componentes principais com os dados de água resultou em duas componentes: PC1, representada pelos parâmetros condutividade elétrica, Mg, Na, K e Cl^- , interpretada como relacionada às contribuições de atividades antrópicas desenvolvidas na bacia; e PC2, representada pelos parâmetros Fe e Mn, interpretada como relacionada ao processo de intemperismo na bacia. Os pontos P1 a P7, P11 e P12 apresentaram valores mais altos em relação à PC2, evidenciando melhor condição de preservação em relação aos demais pontos, que apresentaram valores mais altos em relação à PC1.

As análises espaciais realizadas com os dados de água evidenciaram que, de forma geral, as concentrações dos parâmetros tendem a aumentar de montante para jusante, e apresentam forte aumento após receberem as descargas de efluentes da ETE Melchior e do Aterro Sanitário do Distrito Federal, localizados na região central da bacia. As amostras de água coletadas em regiões de nascentes (principalmente as de áreas rurais) apresentam qualidade ambiental característica.

Os resultados de sedimentos foram analisados estatisticamente e permitiram o levantamento de uma lista de indicadores da contaminação da área por ocupação por uso urbano, tendo em vista que é a atividade antrópica mais expressiva na bacia. A análise de principais componentes com os dados de sedimentos forneceu duas componentes: PC1, representada por CaO, MgO, Cu, Sr, Zn, Ni e P, que reflete processos de atividades antrópicas e tem valores altos nos pontos P8 e P9 (região da ETE Melchior e Aterro Sanitário); e PC2, caracterizada pelos parâmetros Al_2O_3 , TiO_2 , Cr, V e Zr e tem valores altos nos pontos P1, P5 e P6.

Foram realizadas duas análises distintas utilizando índices de geoacumulação, uma considerando valores de *background* da crosta continental e outra considerando valores do *background* local (obtidos a partir das análises dos sedimentos do ponto P12).

A primeira análise evidenciou os parâmetros TiO₂, Zn, Pb e Cu, com grau de contaminação moderado; e P com grau de contaminação variando de moderado a muito forte. A segunda evidenciou os parâmetros CaO, P, Zn, Na₂O, Cu, Sr, TiO₂ e V, com grau de contaminação moderado a forte; e P, CaO e Zn, com grau de contaminação forte a muito forte.

Para a avaliação estatística utilizando fatores de enriquecimento dos sedimentos, também foram realizadas duas análises, com valores de *background* diferentes. A análise desenvolvida considerando valores de *background* da crosta continental destacou os parâmetros Cu e Zn, com enriquecimento moderado a moderadamente severo, e P com enriquecimento severo. A que considerou valores do *background* local (ponto P12) destacou os parâmetros Ca, Fe, Na, Cu, Mn, Ni, P, Sr e Zn, com enriquecimento moderado a moderadamente severo; e Ca, Na, Cu, P, Sr e Zn com enriquecimento severo a extremamente severo.

Comparando-se as duas análises realizadas, nota-se que utilizando-se os valores do ponto P12 como valores de *background*, os resultados obtidos foram de maior quantidade de parâmetros com índices de geoacumulação e fatores de enriquecimento mais altos, ou seja, com possibilidade de caracterizar melhor a contaminação na bacia, uma vez que a comparação é realizada com valores de *background* locais, considerando a natureza geoquímica da bacia. A utilização dos valores de referência da crosta continental é interessante a título de uma noção mais generalizada da contaminação, observando-se os valores médios globais, mas não considera o arcabouço geológico local e sua influência na geoquímica dos sedimentos da bacia.

Dentre os parâmetros analisados, o que apresentou-se mais coerente para avaliar a influência antrópica na bacia é o P, tanto nas análises utilizando índices de geoacumulação, quanto nas análises com fatores de enriquecimento dos sedimentos.

Os parâmetros que tiveram destaque por sua elevada concentração em sedimentos, mas não em água (Cu, Zn, Pb, Ti, Ca, Sr, V e Ni) indicam que, apesar de não apresentarem altas concentrações nas amostras de água, estão se acumulando nas frações de argila dos sedimentos, e refletem as condições de alteração da qualidade ambiental da bacia.

O rio Melchior é um importante corpo hídrico da região oeste do Distrito Federal. Recomenda-se que seja reforçado o processo de monitoramento da qualidade ambiental do rio, principalmente em relação aos elementos destacados como indicadores da contaminação, objetivando caracterizar os processos de contaminação que ocorrem na bacia e subsidiar medidas de prevenção e mitigação.

7. Referências Bibliográficas

Aja, S. U.; Wood, S. A.; Williams-Jones, A. E. The aqueous geochemistry of Zr and the solubility of some Zr-bearing minerals. **Applied Geochemistry**, v. 10, n. 6, p. 603-620 (1995).

Alencar, M.T. Poluição do Rio Melchior, que recebe 40% dos esgotos do DF, é tema debate na CLDF. CLDF, 2023. Disponível em: <https://www.cl.df.gov.br/-/poluicao-do-rio-melchior-que-recebe-40-dos-esgotos-do-df-e-tema-debate-na-cldf>

Amorim, Z.B. **Aplicação de ICP-MS e ICP-OES no estudo do perfil inorgânico de amostras de cocaína de rua**. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p.71, 2015.

ANA, 2010. Qualidade para a água do DF. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/qualidade-para-a-a-gua-do-df.2019-03-15.3733070691>>. Acessado em 19/04/2021.

ANA, 2018. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2018.

Aram, S. A.; Saalidong, B.M.; OSEI LARTEY, P. Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. **Plos one**, v. 16, n. 9, p. e0257715 (2021).

Araújo, R. M. M. Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamentos – Aplicação em Variáveis de Educação e Renda no Estado de Pernambuco. **Revista exacta**, v. 3, n. 01 (2010).

Averill, B.; Eldredge, P. General chemistry: principles, patterns, and applications. **Washington, DC: Saylor Academy** (2015).

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 23. Ed., 2017.

Banai, R.; DePriest, T. Urban sprawl: Definitions, data, methods of measurement, and environmental consequences. **Journal of Sustainability Education**, v. 7, n. 2, p. 1-15 (2014).

Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. **Geology & Geophysics**, 5(1), 1–4 (2016).

Bernardi, J.V.E.; L.D. Dórea; J.G. Lacerda; P.M.B. Landim; J.P.O. Gomes; R. Almeida; A.G. Manzatto; W.R. Bastos. Aplicação Da Análise Das Componentes Principais Na Ordenação Dos Parâmetros Físico-Químicos No Alto Rio Madeira e Afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, 23 (1): 79–90 (2009).

Botero, W.G.; Souza, S.O.; Santos, O.S.; Oliveira, L.C.; Amarante, C.B. Influência das substâncias húmicas de sedimentos na biodisponibilidade de metais para o sistema aquático. **Química Nova**, 37 (6), p. 943-949 (2014).

Campos, J. E. G., Dardenne, M. A., Freitas-Silva, F. H., & Martins-Ferreira, M. A. C. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 461-476 (2013).

Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N. e Barros, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal (2014).

Carmo, M. S.; Boaventura, G. R. & Oliveira, E. C. Geoquímica das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF- Brasil. **Química Nova**, 28, 4, 565-574 (2005).

Carvalho, A.M. Estudo Geoquímico da Qualidade da Água da Bacia do Riacho Fundo – DF. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2013.

Chapman, D.; Kimstach, V. Selection of water quality variables. **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring**, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, p. 59-126 (1996).

Chen, C.W.; Kao, C.M.; Chen, C.F.; Dong, C.D. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. **Chemosphere**, v. 66, n. 8, p. 1431-1440 (2007).

Codeplan. **O aglomerado metropolitano de Brasília nos indicadores do IBGE (Nota técnica)**. Brasília, julho de 2018.

Coringa, J.E.S.; Pezza, L.; Coringa, E.A.O.; Weber, O.L.S. Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé – MT, Brasil. **Acta Amazonica**, 46, 161-174 (2016).

Costa, M.E.L.; Koide, S. Polutogramas dos sólidos e Turbidez no Córrego Vicente Pires – Distrito Federal. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 2109-2127 (2021).

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal: texto explicativo do mapa geológico do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: CPRM; SIC – FUNMINERAL, 2008. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil (PGB); Programa Geologia e Mineração do Estado de Goiás.

Devesa-Rey, R.; Díaz-Fierros, F.; Barral, M. T. Trace metals in river bed sediments: an assessment of their partitioning and bioavailability by using multivariate exploratory analysis. **Journal of Environmental Management**, 9, 2471-2477 (2010).

Dias, D.F. **Processos Geoquímicos na interface sedimento-água no Braço Riacho Fundo do Lago Paranoá – DF**. Dissertação (Mestrado) – Geologia, Universidade de Brasília (2017).

Echeverria, R.M. **Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília DF**. Dissertação (Mestrado) – Geologia, Universidade de Brasília (2007).

Esteves, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência/Finep (1988).

Farrukh, M.A. (Org.) **Atomic Absorption Spectroscopy**. Rijeka: InTech, 2011.

Foster, I.D.L.; Charlesworth, S.M. Heavy metals in the hydrological cycle: Trends and explanation. **Hydrological Processes**, v. 11, p. 227-261 (1996).

Ghrefat, H., & Yusuf, N. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. **Chemosphere**, 65, 2114–2121 (2006).

Gleyzes, C.; Tellier, S.; Astruc, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 6-7, p. 451-467 (2002).

Gonçalves, M.V.P.; Cruz, M.J.M.; Alencar, C.M.M.; Santos, R.A.; Ramos Junior, A.B.S. Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 159-172 (2018).

Grimm, N.B.; Foster, D.; Groffman, P.; Grove, J.M.; Hopkinson, C.S.; Nadelhoffer, K.J.; Pataki, D.E.; Peters, D.P.C. The changing landscape: ecosystem responses to urbanization

and pollution across climatic and societal gradients. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, p. 264-272 (2008).

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. Version 4.03, 2020.

Hongyu, K.; Sandanielo, V. L. M. & de Oliveira Junior, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v. 5, n. 1, p. 83-90 (2016).

IBGE, 2015. MAPEAMENTO DE RECURSO NATURAIS DO BRASIL ESCALA 1:250.000.

IBGE, 2021. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.

Jahesh, A.S.; Rahim, S.A.; Idris, W.M.R. The Content of Heavy Metal in the Labu Riverbed Sediments: An Assessment of the Level of Pollution Applying Sediment Quality Guidelines and Geoaccumulation Index. **American Journal of Environmental Sciences**, 12(4), p. 271-281 (2016).

Krige, D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand: *J. Chem. Metal. Min. Soc. South Africa*, v. 52, p. 119–139 (1951).

Krug, F.J.; Nobrega, J.A.; Nogueira, A.R.A.; Oliveira, P.V. **Guia prático de perguntas e respostas sobre ICP-OES, ICP-MS e preparo de amostras**. In: CURSO EM ANÁLISE QUÍMICA, 2001. Plasma em química analítica e preparo de amostra. Anais... São Carlos: DQ/UFSCar, 2001.

Liu, H.; Li, L.; Yin, C.; Shan, B. Fractionation distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Moushui Lake. **Journal of Environmental Sciences**, 20, 390-397 (2008).

Looi, L.J.; Aris, A.Z.; Yusoff, F.M.; Isa, N.M.; Haris, H. Application of enrichment factor, geoaccumulation index, and ecological risk index in assessing the elemental pollution status of surface sediments. **Environmental Geochemistry and Health**, 41, 27–42 (2019).

Maia, P.D.; Guimarães, E.M.; Moreira, R.C.A.; Boaventura, G.R. Estudo Mineralógico

dos Sedimentos de Fundo do Lago Paranoá – DF, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 35(4), p. 535-541 (2005).

Michalski, R. Recent Development and Applications of Ion Chromatography. **Current Chromatography**, 1, p. 90-99 (2014).

Michalski, R. Ion Chromatography Applications in Wastewater Analysis. **Separations**, 5, 16 (2018).

Mizuno, M. G. M. **Hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado) – Geologia, Universidade de Brasília (2012).

Moreira, R.C.A.; Boaventura, G.R. Referência Geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da Bacia do Lago Paranoá – DF. **Química Nova**, v.26, n.6, p. 812-820 (2003).

Moura, L.H.A. **Estudo Geoquímico da Bacia do Gama e Avaliação da Qualidade de Água**. Dissertação (Mestrado) – Geologia, Universidade de Brasília (2008).

Müller, G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins—Veränderungen seit 1971. **Umschau**, 24, 778–783 (1979).

Netto, J. P. G. M.; Neto, C. B.; Franco Filho, F. W. B.; Ramos, C. S. B.; Lima, N. P. e Brunelli, B. F. Gênese, ocorrência e tecnologias de tratamento para o excesso de flúor na água subterrânea, com ênfase a região metropolitana de São Paulo. **Águas Subterrâneas** (2016).

Olaniran, A.O.; Naicker, K.; Pillay, B. Assessment of physico-chemical qualities and heavy metal concentrations of Umgeni and Umdloti Rivers in Durban, South Africa. **Environ. Monit. Assess**, 186, 2629–2639 (2014).

ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. ONU News, Brasil, 19 de fevereiro de 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

Poh, S.C., & Tahir, N. M. The common pitfall of using enrichment factor in assessing soil heavy metal pollution. **Malaysian Journal of Analytical Sciences**, 21, 52–59 (2017).

Portela, J.F. **Avaliação de Espécies Químicas Potencialmente Tóxicas na Área de**

Proteção Ambiental da Bacia do Rio Descoberto, Brasília/DF – Brasil. Tese (Doutorado) – Química, Universidade de Brasília (2020).

Projeções apontam menor ritmo de crescimento populacional no DF. Codeplan, Brasília, 21/04/2020. Disponível em: [www.codeplan.df.gov.br/projecoes-apontam-menor-ritmo-de-crescimento-populacional-no-df/]. Acesso em: 25/01/2023.

Rusydi, A.F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. In: **IOP conference series: earth and environmental science**. IOP Publishing, p. 012019 (2018).

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A. Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R. e Cunha, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), Embrapa (2018).

Singh, K.P.; Mohan, D.; Singh, V. K.; Malik, A. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomati river sediments – a tributary of the Ganges, India. **Journal of Hydrology**, 312, 14-27 (2005).

Small, H.; Stevens, T.S.; Bauman, W.C. Novel Ion Exchange Chromatographic Method Using Conductometric Detection. **Anal. Chem.**, 47, 1801–1806 (1975).

Souza, R. F.; Railsback, B. Uma tabela periódica dos elementos e seus íons para cientistas da terra. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 8, n. 2, p. 73–82 (2015).

Tessier, A.P.G.C.; Campbell, P.G.; Bisson, M.J.A.C. Sequential Extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical chemistry**, v. 51, n. 7, p. 844-851 (1979).

Thanh-Nho, N., Marchand, C., Strady, E., Vinh, T. Van, Nhu-Trang, T.T. Metals geochemistry and ecological risk assessment in a tropical mangrove (Can Gio, Vietnam). **Chemosphere**, 219, p. 365–382 (2019).

Tonhá, M.S. **Dinâmica dos metais em ambiente costeiro contaminado por atividade metalúrgica (Baia de Sepetiba – RJ)**. Tese (Doutorado) – Geologia, Universidade de Brasília, 2021.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Indicators: Conductivity, 11 de julho de 2022. Disponível em: <<https://www.epa.gov/national-aquatic-resource->

surveys/indicators-conductivity>. Acesso em: 07 de março de 2023.

Venkatramanan, S.; Chung, S.Y.; Lee, S.Y.; Park, N. Assessment of river water quality via environmentric multivariate statistical tools and water quality index: a case study of Nakdong river basin, Korea. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v.9, n.2, p. 125-132 (2014).

Von Sperling, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 1, p. 452.

Wedepohl, K.H. The composition of the continental crust. **Geochimica et cosmochimica Acta**, v. 59, n. 7, p. 1217-1232, 1995.

Yang, K., & Cattle, S. R. Comtemporary sources and levels of heavy metal contamination in urban soil of Broken Hill, Australia after ad hoc land remediation. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, 32(1), 1–17 (2016).

Anexo 1. Resultados dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água.

Ponto	pH	C. elétrica	TDS	F⁻	Cl⁻	NO₃⁻	PO₄³⁻	SO₄²⁻	HCO₃⁻
P1	6.00	66.70	26.2	0.12	5.19	14.74	0.93	0.96	19.68
P2	7.43	76.70	36.3	<ld	4.97	20.93	<ld	0.95	41.10
P3	6.18	68.60	26.7	<ld	0.64	3.46	0.62	1.02	21.18
P4	6.23	83.60	32.6	<ld	0.76	3.20	0.63	1.13	28.28
P5	7.44	73.30	34.6	<ld	4.48	13.78	<ld	1.57	46.96
P6	6.42	79.00	31	<ld	0.63	2.14	0.61	1.07	25.96
P7	6.82	46.60	21.8	<ld	4.05	18.84	<ld	0.75	25.18
P8 chuva	6.28	264.00	104.9	0.11	7.15	13.22	0.83	10.41	16.53
P8 seca	7.85	463.00	244.67	0.33	50.47	50.62	0.48	86.13	65.74
P9 chuva	5.91	207.00	188.2	<ld	1.80	9.94	0.81	8.51	16.12
P9 seca	6.42	390.00	N.a	0.10	13.82	9.97	0.24	22.52	58.93
P10	7.95	248.00	119.1	0.17	60.10	0.72	2.12	1.10	83.16
P11	6.48	11.46	5.00	<ld	0.68	0.27	<ld	<ld	11.57
P12	7.18	35.00	16.2	<ld	0.53	0.19	<ld	0.21	30.35
P13 chuva	7.09	193.20	139.5	0.17	18.88	35.69	1.08	21.50	12.43
P13 seca	8.07	290.00	92.4	0.19	25.41	22.65	0.49	42.72	57.84
P14	7.84	285.00	136.7	0.29	41.41	38.56	0.78	68.09	57.16
P15	7.79	212.00	101	0.14	16.09	15.08	0.33	27.13	49.68

Anexo 2. Resultados dos metais em água (valores em mg/L).

Ponto	Ca	Mg	Na	K	NH ₄ ⁺	Si	Fe	Mn	Sr	Al
P1	8.94	1.10	9.81	0.83	0.39	2.26	0.03	0.00	0.04	<ld
P2	10.18	1.11	11.82	1.30	<ld	2.77	0.13	<ld	0.04	0.05
P3	8.66	0.85	11.86	0.56	0.13	2.15	0.05	0.00	0.04	<ld
P4	13.42	1.39	10.70	1.07	0.16	2.97	0.13	0.00	0.06	0.01
P5	10.81	1.23	9.58	0.96	<ld	2.99	0.20	<ld	0.05	0.04
P6	12.10	1.32	10.50	1.02	0.29	3.03	0.17	0.00	0.05	0.03
P7	2.94	0.64	8.60	0.85	<ld	3.68	<ld	<ld	0.01	0.03
P8 chuva	13.75	2.07	44.43	9.52	12.00	4.13	0.05	0.03	0.05	0.05
P8 seca	14.04	2.22	50.61	11.37	7.60	4.37	0.04	0.03	0.05	0.05
P9 chuva	13.31	1.84	34.70	7.22	13.25	3.96	0.04	0.02	0.05	0.05
P9 seca	12.10	1.80	41.43	9.15	8.70	4.04	0.03	0.03	0.04	0.03
P10	10.62	3.47	27.95	7.11	10.95	6.33	0.19	0.08	0.02	0.04
P11	1.85	0.32	0.81	0.28	0.06	3.15	0.06	<ld	<ld	0.05
P12	6.70	1.72	1.05	0.38	<ld	5.18	0.02	<ld	<ld	<ld
P13 chuva	12.76	2.08	32.42	6.99	11.25	4.48	0.05	0.03	0.04	0.04
P13 seca	13.47	2.12	41.64	9.26	6.70	4.51	0.04	0.03	0.04	0.07
P14	13.76	2.17	41.89	9.15	6.25	4.52	0.04	0.03	0.04	0.06
P15	11.29	2.13	30.69	6.72	3.85	4.42	0.07	0.02	0.03	0.03

Anexo 3. Resultados dos metais em água - continuação (valores em mg/L).

Ponto	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Ti	V	Zn	Zr
P1	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P2	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P3	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P4	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P5	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P6	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P7	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P8 chuva	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	0.02	<ld
P8 seca	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P9 seca	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P9 chuva	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	0.01	<ld
P10	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P11	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P12	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P13 chuva	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P13 seca	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P14	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
P15	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld

Anexo 4. Resultados dos elementos maiores em sedimentos (valores em %).

Ponto	Al₂O₃ (%)	CaO (%)	Fe₂O₃ (%)	K₂O (%)	MgO (%)	Na₂O (%)	SiO₂ (%)	TiO₂ (%)	PF	PF+Óxidos
P1	23,33	0,24	0,93	0,66	0,17	0,01	51,89	2,07	24,48	103,77
P2	22,52	2,00	12,65	0,89	1,20	0,13	34,22	1,50	24,38	99,48
P3	28,80	1,93	8,66	1,82	1,19	0,31	36,31	1,86	23,96	104,81
P4	14,61	1,23	9,58	1,71	0,52	0,22	49,16	0,90	24,41	102,36
P5	37,21	0,38	3,77	0,58	0,24	0,04	62,44	2,49	13,76	120,91
P6	23,64	0,40	7,91	1,03	0,38	0,06	50,13	1,71	17,40	102,66
P8 chuva	19,42	1,07	9,77	1,50	0,79	0,12	64,03	1,27	16,25	114,24
P8 seca	17,46	3,00	8,93	2,25	1,19	0,29	36,41	0,97	28,39	98,90
P9 seca	15,05	3,24	7,96	2,06	0,90	0,36	36,00	0,89	33,72	100,17
P9 chuva	20,60	1,97	12,28	1,58	0,82	0,12	47,47	1,31	27,15	113,29
P12	10,33	0,22	3,28	2,01	0,51	0,04	84,29	0,44	7,35	108,48
P13 chuva	17,73	0,48	8,13	1,93	0,77	0,08	63,33	1,15	17,41	110,99
P13 seca	15,67	1,20	7,58	2,61	0,77	0,30	48,92	0,90	26,11	104,06
P14	13,24	0,58	6,54	2,50	0,65	0,16	63,64	0,97	12,60	100,90
P15	11,19	0,42	6,86	2,33	0,54	0,23	65,47	0,86	10,93	98,82

Anexo 5. Resultados dos elementos traços em sedimentos (valores em mg/kg).

Ponto	As	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn	Zr
P1	15,50	21,36	138,04	58,94	24,18	<LD	20,82	542,82	33,10	22,63	122,39	30,53	440,43
P2	16,75	18,28	105,93	50,06	494,52	<LD	20,16	1352,44	29,45	46,35	171,94	216,50	298,57
P3	20,44	23,73	137,32	62,30	305,52	<LD	23,67	1329,27	44,56	46,89	189,68	229,40	423,85
P4	16,68	15,31	73,04	43,06	462,33	<LD	15,84	2241,54	22,40	50,78	132,40	204,96	227,88
P5	13,12	22,06	95,92	23,74	92,85	<LD	18,77	379,29	13,40	18,37	95,60	50,08	506,62
P6	20,39	19,75	116,90	38,62	88,51	<LD	19,62	805,43	28,74	30,08	160,16	139,08	534,85
P8 chuva	17,03	18,44	101,23	40,87	241,09	<LD	19,35	4019,96	27,18	41,49	138,55	171,35	329,47
P8 seca	18,68	27,02	89,45	92,46	1136,25	<LD	24,77	19550,70	31,52	108,86	105,25	382,05	231,66
P9 seca	19,14	17,59	93,70	139,56	341,30	<LD	28,42	14405,50	28,17	116,84	104,68	328,09	189,34
P9 chuva	22,83	21,39	108,85	74,14	558,08	<LD	25,19	12364,59	30,10	83,84	138,87	316,45	281,24
P12	8,98	8,89	39,72	14,29	224,55	<LD	8,70	222,22	<LD	12,29	45,17	21,43	230,65
P13 chuva	12,94	17,28	81,92	42,36	257,10	<LD	23,01	6029,04	17,22	35,77	102,96	192,91	322,68
P13 seca	14,43	14,48	73,88	62,19	326,17	<LD	19,22	11742,85	21,92	61,07	87,39	289,80	238,20
P14	17,08	16,52	76,44	34,10	233,19	<LD	17,93	4624,17	16,06	39,97	98,50	125,40	371,71
P15	13,77	14,96	66,25	28,64	262,16	<LD	13,95	4026,57	15,35	29,74	88,03	98,74	387,06