

QUALIDADE DA ÁGUA E DINÂMICA SAZONAL EM AMBIENTES URBANOS: AVALIAÇÃO MULTIVARIADA NO CÓRREGO DO CORTADO, DISTRITO FEDERAL

Water Quality and Seasonal Dynamics in Urban Environments: Multivariate assessment of the Cortado Stream, Federal District

Flávio Madriles

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Brasília. Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional pela Universidade do Oeste Paulista. Assessor do Instituto Brasília Ambiental.
flaviomadriles.eng@gmail.com

Maíra Uliana

Graduada em Engenharia Agrônômica pela UNIMONTES. Mestre e Doutora em Agronomia pela UNESP Botucatu. Docente da Universidade do Oeste Paulista.
maira@unoeste.br

Sérgio Costa

Graduado em Engenharia Agrônômica pela UNIMONTES. Mestre e Doutor em Agronomia pela UNESP Botucatu. Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da UNOESTE.
sergiocosta@unoeste.br

Renata Rossi

Graduada em Fisioterapia pela Universidade de Uberaba. Mestre e Doutora em Ciências da Saúde pela UFTM. Docente da UNOESTE.
renata@unoeste.br

Ana Paula Favareto

Graduada em Ciências Biológicas pela UNESP Assis. Mestre e Doutora em Biologia pela UNICAMP. Docente da Universidade do Oeste Paulista.
anafavareto@yahoo.com.br

Recebido: 27/05/2025

Aceito: 28/08/2025

Resumo

Este estudo avaliou a qualidade da água do Córrego do Cortado, localizado em Taguatinga-DF, com foco nas variações sazonais e nas pressões antrópicas decorrentes da urbanização. Foram realizadas seis campanhas de amostragem entre 2023 e 2024, abrangendo os períodos seco e chuvoso. As análises físico-químicas, microbiológicas e estatísticas multivariadas (análise de componentes principais e de cluster) permitiram identificar os parâmetros mais críticos, os pontos de maior impacto e os padrões de correlação entre variáveis ambientais. Os resultados evidenciaram aumento significativo de poluentes no período chuvoso, sobretudo em pontos situados em áreas de alta densidade urbana. No período seco, observou-se uma redução relativa na carga poluidora, embora alguns parâmetros tenham permanecido elevados, indicando fontes de contaminação contínua. Os achados reforçam a influência da sazonalidade na dinâmica da poluição hídrica urbana e demonstram a importância do monitoramento sistemático como base para estratégias de gestão ambiental eficazes. O estudo oferece subsídios para a preservação

do Parque Ecológico do Cortado e pode contribuir para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas com características semelhantes.

Palavras-chave: Parque Ecológico, Nascentes, Poluição Hídrica, Monitoramento Sazonal.

Abstract

This study assessed the water quality of the Cortado Stream, located in Taguatinga-DF, with a focus on seasonal variations and anthropogenic pressures resulting from urbanization. Six sampling campaigns were conducted between 2023 and 2024, covering both dry and rainy seasons. Physicochemical, microbiological, and multivariate statistical analyses (principal component and cluster analysis) were carried out to identify the most critical parameters, the most impacted sites, and correlation patterns among environmental variables. The results revealed a significant increase in pollutants during the rainy season, particularly at points located in high-density urban areas. In the dry season, a relative decrease in pollutant loads was observed; however, some parameters remained elevated, indicating the presence of continuous contamination sources. The findings underscore the influence of seasonality on the dynamics of urban water pollution and highlight the importance of systematic monitoring as a foundation for effective environmental management strategies. This study provides valuable insights for the conservation of the Cortado Ecological Park and may contribute to environmental planning in similarly impacted watersheds.

Keywords: Ecological Park, Springs, Water Pollution, Seasonal Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização compromete significativamente a qualidade dos corpos hídricos urbanos, afetando tanto a disponibilidade quanto o uso sustentável da água. A impermeabilização do solo, a ausência de infraestrutura de drenagem adequada e o lançamento de resíduos impactam córregos urbanos, especialmente em períodos de chuvas intensas (Buose, 2024).

No Brasil, a Lei nº 9.433/1997 — conhecida como Lei das Águas — instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecendo diretrizes e instrumentos para a gestão sustentável da água, especialmente nos corpos hídricos de domínio federal (Brasil, 1997). Apesar da aparente abundância hídrica no território nacional, o avanço do desmatamento, o uso desordenado do solo e a gestão inadequada dos recursos têm comprometido a qualidade e a disponibilidade da água em diversas regiões.

No Distrito Federal, a escassez de rios de grande porte torna os pequenos cursos d'água e nascentes essenciais para o abastecimento local. A proteção dessas áreas é regulamentada por instrumentos legais como a Lei Complementar Distrital nº 827/2010, que criou o Sistema de Unidades de Conservação (UCs), adaptando os dispositivos da Lei Federal nº 9.985/2000 ao contexto distrital (Souza, 2017). Nesse cenário, o Cerrado —

bioma que cobre cerca de 24% do território brasileiro — desempenha papel estratégico na recarga dos aquíferos e na produção hídrica fora da bacia Amazônica, respondendo por cerca de 43% da geração de água nessas regiões (Scariot, 2005). Entretanto, a conversão de áreas naturais em pastagens, lavouras e zonas urbanizadas tem reduzido drasticamente a capacidade de retenção e infiltração hídrica no solo.

Com o objetivo de conservar nascentes e promover a recuperação ambiental, o Programa Adote uma Nascente (PAN), coordenado atualmente pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), tem incentivado a proteção de áreas estratégicas para a manutenção da qualidade da água (Lima et al., 2008). Um exemplo de iniciativa voltada à preservação é o Parque Ecológico do Cortado, criado em 2008 e administrado pelo IBRAM desde 2013. Localizado na Região Administrativa de Taguatinga-DF, o parque abriga diversas nascentes e pequenos cursos d'água que, embora protegidos legalmente, continuam sofrendo pressões antrópicas, como a drenagem urbana deficiente e o despejo de poluentes.

Neste contexto, torna-se urgente a realização de diagnósticos ambientais que subsidiem ações de preservação mais eficazes. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água no Córrego do Cortado, considerando as influências sazonais e antrópicas, por meio de análises físico-químicas, microbiológicas e estatísticas multivariadas. Além disso, busca-se identificar os principais poluentes e os pontos mais vulneráveis, contribuindo com dados relevantes para a gestão ambiental da região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O Parque Ecológico do Cortado (Figuras 1A e 1B) apresenta área de aproximadamente 45,50 hectares, está localizado na porção norte da Área de Relevante Interesse Ecológico Juscelino Kubitschek (ARIE JK), na Região Administrativa de Taguatinga (RA-III), Distrito Federal. A vegetação predominante é composta por Mata de Galeria, que circunda o Córrego Cortado. No entanto, essa formação vegetal tem sofrido alterações significativas devido a pressões antrópicas.

Este estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica do Córrego do Cortado, um afluente do Córrego Taguatinga, situado dentro do Parque Ecológico do Cortado. Esta microbacia está inserida na unidade hidrográfica do Ribeirão Melchior, que faz parte da bacia hidrográfica do Rio Descoberto. A Unidade de Conservação (U.C.) é notável pela

presença de diversas nascentes, tanto permanentes quanto intermitentes, além do próprio Córrego do Cortado.

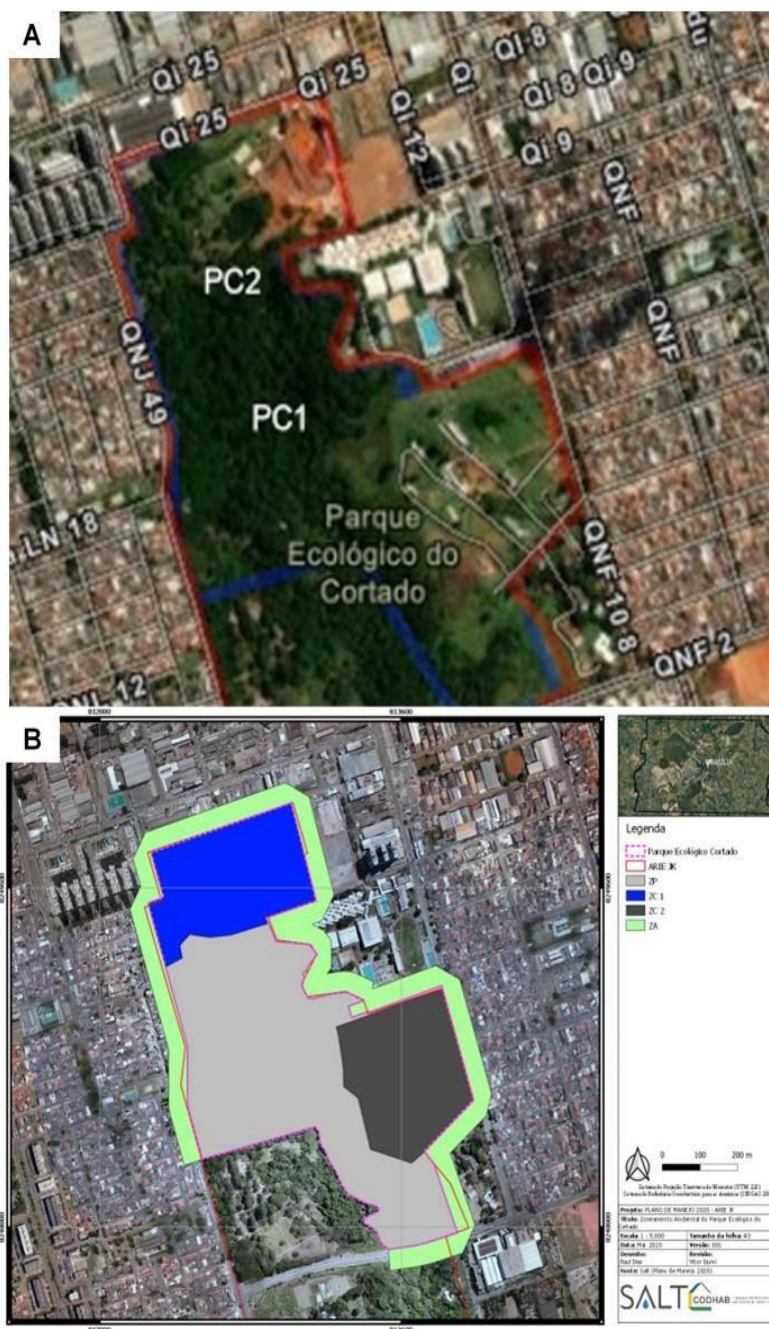


Figura 1 - A) Parque do Cortado em Taguatinga-DF. B) Zoneamento Ambiental do Parque Ecológico do Cortado.

Fonte: A) Geoportal-DF, 2023. B) Salt Ambiental, 2020.

O Córrego do Cortado desempenha um papel importante no escoamento das águas das nascentes e das precipitações pluviais da região, com sua nascente situada a uma altitude de 1.200 metros acima do nível do mar. A importância ecológica e hidrológica desta

área destaca a necessidade de estudos detalhados para compreender os impactos das atividades humanas e desenvolver estratégias de conservação eficazes.

O mapa presente na Figura 1B apresenta o Zoneamento Ambiental do Parque Ecológico do Cortado, que é dividido em diferentes zonas de manejo, conforme o Plano de Manejo de 2020. A Zona de Preservação (ZP) ocupa a maior parte do parque, com 25,60 hectares, correspondendo a 56,26% da área total. A Zona de Conservação 1 (ZC1), destinada ao uso público, abrange 9,98 hectares, o que representa 21,93% da área. Já a Zona de Conservação 3 (ZC3), voltada ao uso especial, tem uma extensão de 9,92 hectares, equivalente a 21,80%. Há ainda a Zona de Amortecimento (ZA), também chamada de Perimetral Verde.

O local foi escolhido segundo recomendações sugeridas nas metodologias descritas em Agudo (1987), USEPA (1995) e Burton e Pitt (2002) e definido por meio de coleta de informações oficiais (plantas topográficas, imagens de satélite e relatórios do diagnóstico atual da área), juntamente com levantamento de campo e entrevistas feitas com os agentes de parque que trabalham na unidade de conservação.

As coletas de água foram realizadas em dois pontos distintos (Ponto PC1 - Parque Cortado Barro branco - X=170506.462; Y=8248999.443. Ponto PC2 - Parque Cortado Cachoeira - X=170413.777; Y=8249225.786) no Córrego Cortado (Figuras 2A e 2B). Esses pontos foram selecionados com base em sua geolocalização e nas diferentes características atuais de preservação da Área de Preservação Permanente (APP) que os cercam, visando avaliar os possíveis fatores de alteração da qualidade das águas.

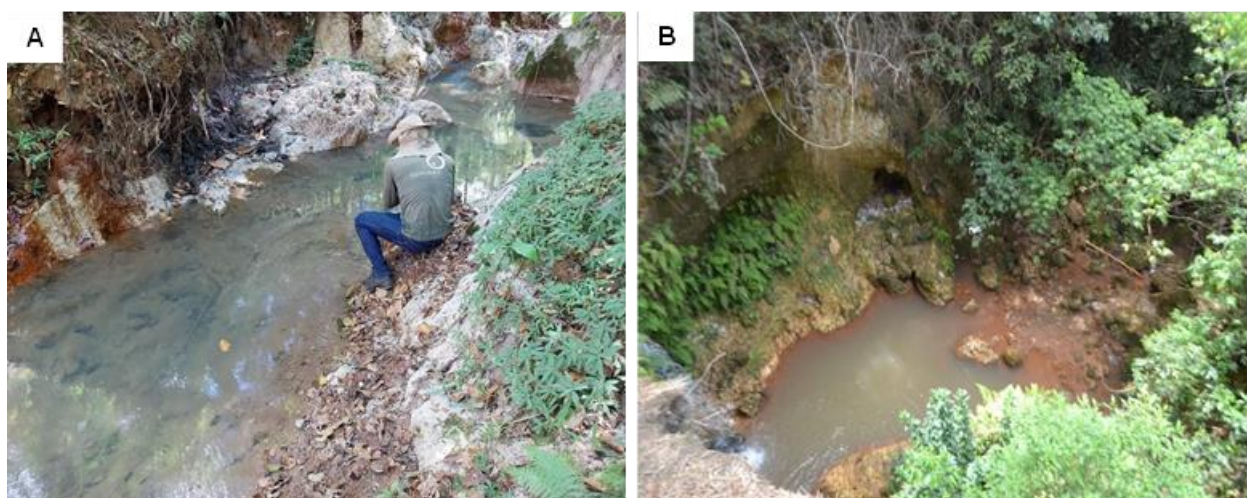


Figura 2 - Pontos de coleta de água do estudo. A) Ponto PC1 - Parque Cortado Barro branco. B) Ponto PC2 - Parque Cortado Cachoeira.

Fonte: Autor (2024).

Os critérios adotados para a escolha foram: 1) segurança pessoal da equipe e dos equipamentos durante a coleta; 2) acesso fácil e rápido, garantido durante toda a campanha para a amostragem e o transporte dos equipamentos; 3) local na calha do córrego próximo a uma nascente e outro ponto próximo a jusante de uma queda d'água (cachoeira). 4) local na calha do córrego do cortado onde não houvesse curvas ou meandros, ou seja, escolha por um trecho mais plano que evitasse a estagnação ou turbulência das águas, no entanto, um local onde ocorresse uma condição de mistura e homogeneidade satisfatória dos elementos na coluna d'água.

A análise das Áreas de Preservação Permanente (APP) foi baseada na Lei Federal nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), que define critérios para proteção da vegetação nativa. Foram mapeados os pontos de interesse via Google Earth Pro e delimitadas as APPs com o uso do QGIS, utilizando imagens Landsat 8 e o plugin SPC. Em campo, realizaram-se coletas de água e observações diretas para caracterização das áreas. Considerou-se uma faixa de 30 metros ao longo do curso hídrico, conforme previsto em lei, e avaliou-se a presença de ocupações e atividades com potencial de impacto na qualidade da água.

2.2. Coleta de amostras e análise da qualidade da água

Foram realizadas 6 campanhas de amostragem de águas para análises ambientais visando a determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA) (Ana, 2023). Conforme descrito no Quadro 1, as coletas nos dois pontos (PC1 e PC2) ocorreram no período chuvoso (Figura 3) e seco (Figura 4), em diferentes estações do ano, sendo duas no verão (março de 2023 e março de 2024), três no inverno (junho e agosto de 2023 e junho de 2024) e uma na primavera (dezembro de 2023).

Quadro 1: Balanço climatológico em Brasília – DF no período de 2023 a 2024.

Campanha nº	Data	Período	Pontos de Coleta
1	17/03/2023	Chuvoso	PC1-c, PC2-c
2	12/06/2023	Seco	PC1A-s, PC2A-s
3	29/08/2023	Seco	PC1B-s, PC2B-s
4	12/12/2023	Chuvoso	PC1C-c, PC2C-c
5	12/03/2024	Chuvoso	PC1D-c, PC2D-c
6	20/06/2024	Seco	PC1E-s, PC2E-s

Fonte: Autores, 2024.



Figura 3 - Pontos de coleta no córrego do Cortado no período chuvoso. PC1 (B, D, F) e PC2 (A, D, E).
Fonte: Autores, 2024.

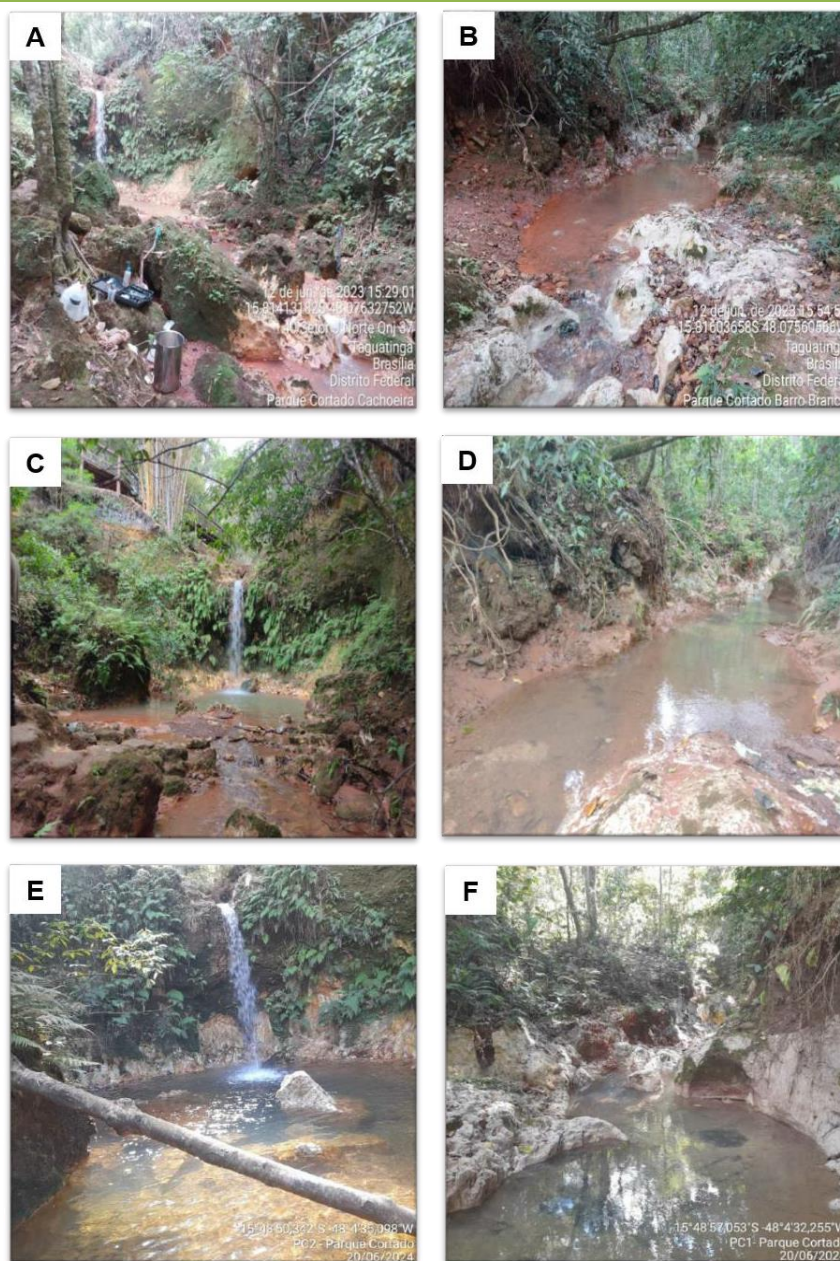


Figura 4 - Pontos de coleta no córrego do Cortado no período seco. PC1 (B, D, F) e PC2 (A, D, E).

Fonte: Autores, 2024.

O método de coleta seguiu os procedimentos do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). As amostras foram coletadas de forma pontual nos pontos indicados. Os procedimentos padronizados garantem a integridade das amostras e a comparabilidade dos dados entre diferentes campanhas de coleta.

As amostras de água foram encaminhadas para o laboratório, para análise dos parâmetros de qualidade da água, conforme métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

As medições de temperatura e oxigênio dissolvido (OD) foram realizadas no local imediatamente após a coleta. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo e transportadas ao laboratório, onde foram mantidas a uma temperatura de 4°C até o momento da análise.

Os parâmetros analisados físico-químicos foram: Cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resíduos totais e temperatura da amostral. Os parâmetros Microbiológicos: coliformes termotolerantes. Os parâmetros químicos avaliados foram: Nitrato, nitrogênio total, fósforo total, nitrogênio amoniacal, óleos e graxas e ferro total. O cálculo do índice de qualidade da água (IQA) foi realizado segundo a ANA (2023).

2.3. Análise Estatística

O conjunto de dados deste trabalho envolve parâmetros de qualidade de água de 2 pontos coletados no período chuvoso e 2 pontos coletados no período seco, totalizando 4 conjuntos de dados.

Os resultados analíticos foram organizados em matrizes, uma para cada período, seco e chuvoso, e uma para os dois períodos a fim de analisar diferenças ocasionadas pela sazonalidade climática para os seguintes parâmetros: pH, turbidez, temperatura, Fósforo, Nitrogênio Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal Total, Ferro Total, DBO, Óleos e Graxas Totais, Escherichia coli, Condutividade, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos Totais, Cor Verdadeira e Oxigênio Dissolvido.

Foi realizada a análise de componentes principais utilizando a função PCA do pacote MVar.pt do programa estatístico R version 4.3.3 (2024-02-29 ucrt), (R Core Team, 2024). Utilizou-se também a análise de cluster hierárquica foi realizado utilizando a função hcut do pacote factoextra do programa estatístico R (R Core Team, 2024).

A técnica de Componentes Principais retoma informações de uma base de dados multivariada, transformando estes dados em variáveis de número igual ou inferior à amostra inicial e denominados “componentes principais”. Estes por sua vez, correspondem à combinação dos dados originais, sendo que representam uma redução de dimensionalidade dos dados originais em dois ou três componentes, identificando as direções pelas quais a variação dos dados é máxima, apresentando graficamente os resultados. São propósitos resumidos da análise de componentes principais: Identificação

de padrões ocultos dos dados; Redução de dimensionalidade, pela diminuição da redundância nos dados; e Identificar variáveis correlacionadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Qualidade da água no período chuvoso e seco

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e índices de qualidade da água do Córrego do Cortado nos períodos seco e chuvoso (2023-2024).

A análise dos dados obtidos nas campanhas de amostragem realizadas no Córrego do Cortado, nos períodos chuvoso e seco, evidenciou variações expressivas na qualidade da água, resultantes tanto das condições climáticas quanto das influências antrópicas na área de estudo. Essas variações foram observadas entre os diferentes pontos e campanhas, refletindo os efeitos da sazonalidade sobre os parâmetros monitorados. Durante o período chuvoso, verificou-se um aumento acentuado em variáveis como turbidez, fósforo total, nitrogênio total, DBO, coliformes termotolerantes e ferro total, sugerindo maior aporte de poluentes. O Índice de Qualidade da Água (IQA) variou de “ruim” a “boa”, enquanto o Índice de Estado Trófico (IET) indicou condições entre oligotróficas, mesotróficas e eutróficas, conforme o grau de enriquecimento por nutrientes observado em cada amostra (Tabela 1).

Tabela 1: Resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e índices de qualidade da água do Córrego do Cortado nos períodos seco e chuvoso (2023-2024).

Parâmetro	Seca						Chuva					
	Junho/2023		Setembro/2023		Junho /2024		Março/2023		Dezembro/2023		Março/2024	
	PC1A-s	PC2A-s	PC1B-s	PC2B-s	PC1E-s	PC2E-s	PC1-c	PC2-c	PC1C-c	PC2C-c	PC1D-c	PC2D-c
pH	7,18	7,61	6,97	7,11	6,11	6,69	6,95	6,90	7,19	7,78	7,46	8,06
Turbidez	7,68	16,40	10,80	10,60	10,80	3,32	81,30	115	46,00	185,0	12,90	25,90
Temperatura (°C)	21,70	23,40	22,80	25,80	20,7	21,2	22,00	22,00	26,80	28,50	24,00	24,80
Constituintes inorgânicos												
Não metálicos												
Fósforo total (mg/L)	0,08	0,23	0,059	0,059	0,090	0,009	0,07	0,06	0,13	0,16	0,11	0,19
Nitrogênio total (mg/L)	2,80	6,60	3,30	3,90	3,50	5,80	2,80	1,90	3,20	4,80	2,50	3,90
Nitrato (mg/L)	0,229	0,229	2,50	3,22	2,94	4,05	2,56	1,54	0,23	0,98	4,01	5,44
Nitrogênio Amoniacal Total	0,50	2,50	0,20	0,60	0,99	0,09	0,014	0,014	1,30	3,10	2,50	1,50
Metais												
Ferro total (mg/L)	0,20	0,723	0,219	0,968	0,093	0,020	3,72	2,11	1,19	7,31	0,335	0,431
Constituintes orgânicos												
agregados												
DBO (mg/L)	0,89	2,90	0,99	0,99	0,99	0,99	2,90	2,90	0,99	21,00	0,99	0,99
Óleos e graxas totais (mg/L)	14,46	28,81	18,51	16,67	13,47	12,88	29,13	33,51	23,07	30,26	5,00	16,75
Microbiológicos												
Escherichia coli (NMP/100mL)	210	2800	110	120	78	68	470	130	220000	5400000	92000	2200
Propriedades físicas e												
agregadas												
Condutividade (µS/cm)	156,30	211,50	175,30	218,40	153,50	212,30	162,09	122,31	189,90	270,50	176,00	218,50

Sólidos totais (mg/L)	92,00	136,00	72,00	100,00	76	88	166,00	120,00	136,00	276,00	94,00	72,00
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	2,90	2,90	9,90	2,90	9,90	9,90	38,00	14,00	18,00	68,00	1,90	1,90
Cor Verdadeira (Pt/Co mgPt/L)	52,00	46,00	10,00	9,50	13	9,50	38,00	49,00	9,50	19,00	9,50	9,50
Oxigênio Dissolvido (OD)	4,89	5,06	5,31	5,15	6,35	7,48	5,66	6,30	4,10	5,04	5,03	5,37
IQA – Índice Qualidade Água	71	57	74	74	59	72	62	60	45	31	52	61
Classificação IQA/CETESB	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Razoável	Ruim	Boa	Boa
IET – Índice Estado Trófico	Meso- trófico	Eutró- fico	Meso- trófico	Meso- trófico	Meso- trófico	Oligotró- fico	Meso- trófico	Meso- trófico	Meso- trófico	Eutró- fico	Meso- trófico	Eutró- fico

¹ Limite de Condutividade Elétrica CETESB 2009, $\geq 100 \mu\text{S cm}^{-1}$; ²Parâmetros acima do estabelecido para rios de Classe II conforme Resolução CONAMA 357/2005. Ponto PC1 - Parque Cortado Barro branco. Ponto PC2 - Parque Cortado Cachoeira.

Fonte: Autores, 2024.

A análise se concentrou na identificação das variáveis mais influentes e na compreensão das dinâmicas de poluição que afetam o córrego ao longo do tempo. Para maior compreensão, é apresentado no Quadro 2 o balanço climatológico em Brasília-DF, referente ao período estudado.

Quadro 2: Balanço climatológico em Brasília – DF no período de 2023 a 2024.

Período	Precipitação Registrada	Normal Climatológica (1991-2020)	Diferença	Observações
Março 2023	144,9 mm	226,0 mm	-81,1 mm	65% da média histórica
Junho 2023	2,4 mm	3,3 mm	-0,9 mm	73% da média histórica, 1 dia de chuva
Setembro 2023	49,2 mm	38,1 mm	+11,1 mm	29% acima da média histórica, 3 dias de chuva
Verão (Dez/2023-Mar/2024)	678,1 mm	621,7 mm	+56,4 mm	9% acima da média histórica, 48 dias de chuva
Março 2024	153,8 mm	226,0 mm	-72,2 mm	68% da média histórica, 14 dias de chuva

Fonte: Brasil (2023).

Assim como na UH Santana localizado no Distrito Federal (Clericuzi, 2023), a precipitação variou significativamente ao longo do ano (de 0 mm em julho a 282,5 mm em dezembro), o Córrego do Cortado também apresenta uma marcada sazonalidade. Esta variação sazonal impacta diretamente a qualidade e quantidade de água, como observado nos resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) para os períodos seco e chuvoso no córrego do Cortado.

3.2. Análise multivariada (ACP e cluster)

Dando sequência à análise dos dados, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) com o objetivo de identificar padrões ocultos e variáveis determinantes que influenciam a qualidade da água ao longo dos diferentes períodos amostrados. Essa abordagem estatística permitiu reduzir a complexidade dos dados e explorar as principais correlações entre os parâmetros monitorados.

A Figura 5 apresenta a variância explicada pelos dois primeiros componentes principais, detalhando a contribuição relativa das dimensões nos períodos chuvoso, seco e considerando o conjunto completo de dados. Observa-se a porcentagem explicada pelos dois primeiros componentes principais (Dimensões 1 e 2), que juntos explicam 84,7% da variância no período chuvoso, 75,1% no seco e 66,2% no conjunto geral, o que evidencia a importância dessas duas dimensões para a análise.

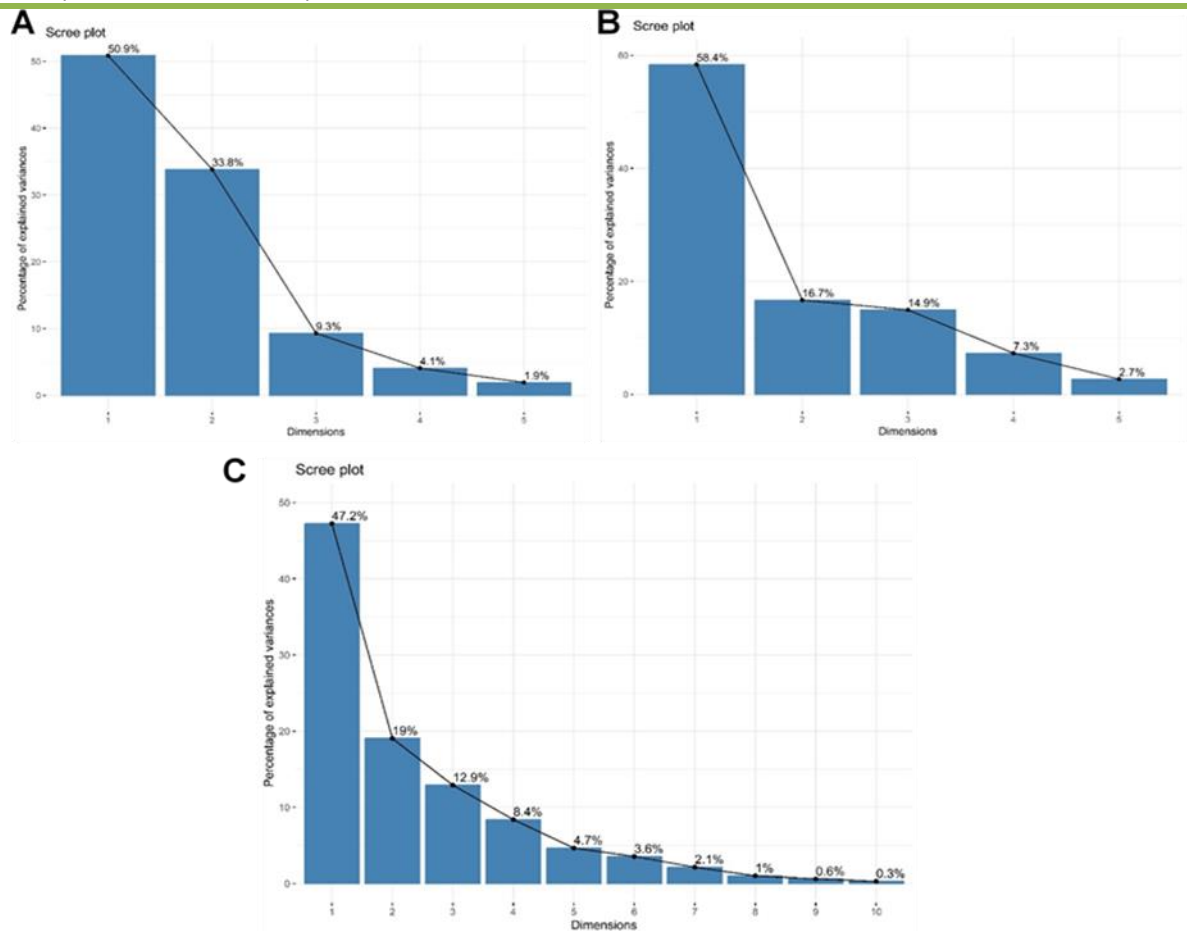


Figura 5 - Porcentagem explicada pelos componentes principais (Dimensões) para os períodos chuvoso (A) e seco (B) para todos os pontos e período de coleta (C).

Fonte: Autores, 2024.

Após análise das classes de componentes principais realizou-se exploração das Dimensões 1 e 2 para avaliação da contribuição de cada variável para o período chuvoso de coleta. A Figura 6, apresenta a contribuição das variáveis da Dimensão 1 (Figura 6A) e Dimensão 2 (Figura 6B) em ordem classificatória.

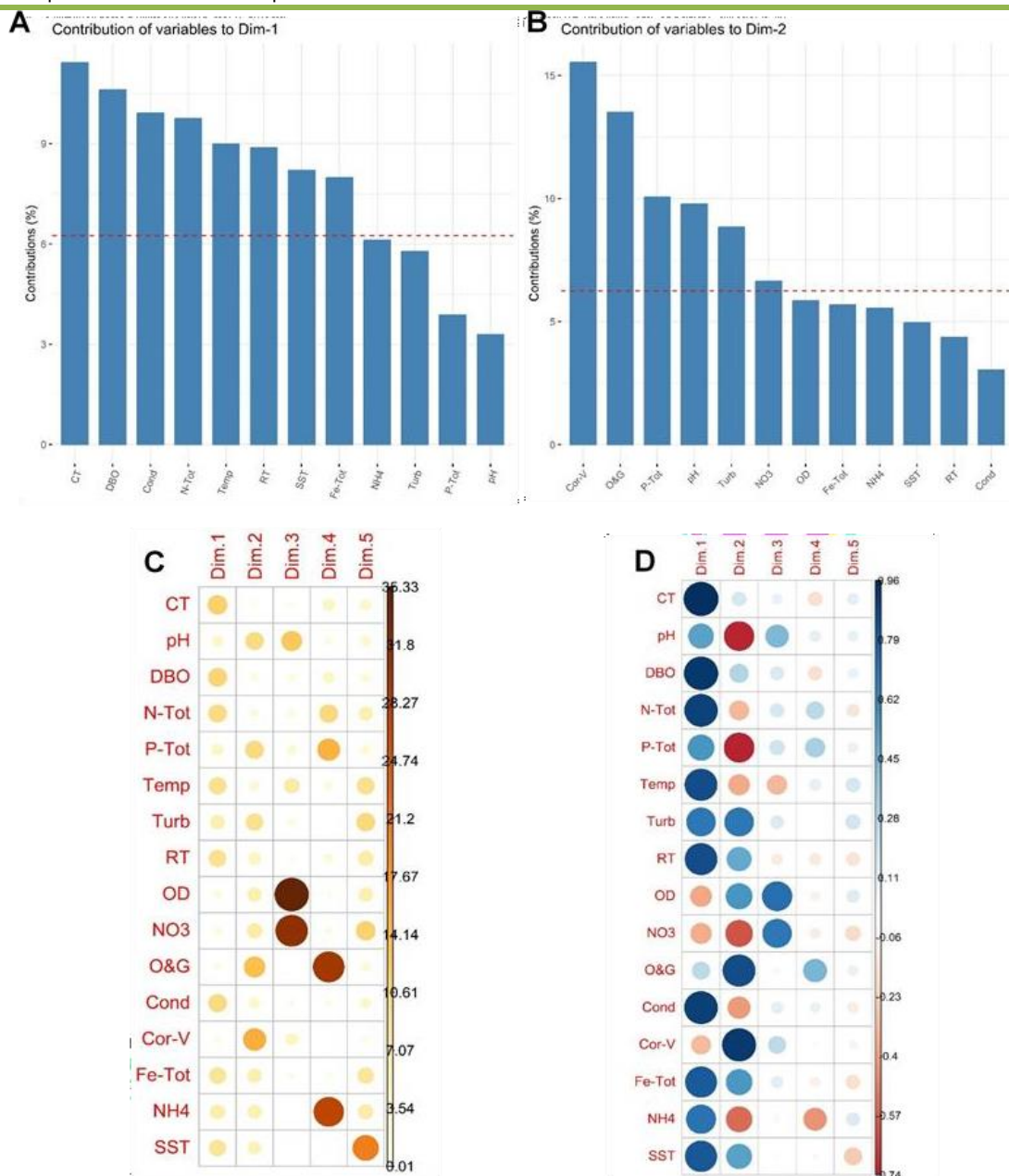


Figura 6 - Contribuição das variáveis nos componentes principais 1 (Dim-1) (A), 2 (Dim-2) (B) e de 1 a 5 (Dim-1 até Dim-5) (C). Análise de correlação nos componentes principais para o período chuvoso (D).

Fonte: Autores, 2024.

Durante o período chuvoso, as variáveis com maior influência na Dimensão 1 (Figura 6A) foram Coliformes Termotolerantes (CT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Condutividade (Cond), Nitrogênio Total (N-Tot), Temperatura, Resíduos Totais (RT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Ferro Total (Fe-Tot). Esses parâmetros são amplamente reconhecidos como indicadores-chave da qualidade da água e refletem uma elevada carga poluidora, evidenciando a influência significativa das chuvas no transporte de contaminantes para o corpo hídrico. O aumento da DBO e do N-Tot, por exemplo, indica maior presença de matéria orgânica e nutrientes, frequentemente associados ao

escoamento superficial urbano, atividades agrícolas e outras fontes antrópicas que se intensificam durante o período chuvoso.

Na Dimensão 2 (Figura 6B), destacaram-se as variáveis Cor Verdadeira (Cor-V), Óleos e Graxas (O&G), Fósforo Total (P-Tot), pH, Turbidez e Nitrato (NO_3). Esses parâmetros estão relacionados, sobretudo, à aparência física da água e à presença de compostos químicos. A forte correlação positiva entre O&G e Cor-V sugere que o escoamento superficial, carregado de resíduos sólidos urbanos e óleo, torna-se mais expressivo durante as chuvas, contribuindo para alterações na coloração, turbidez e no equilíbrio químico da água, inclusive afetando o pH.

A Figura 6C apresenta a contribuição das variáveis para os cinco primeiros componentes principais (Dim-1 a Dim-5). Com base nessa análise, foi elaborado um gráfico de inter-relação entre as variáveis, suas respectivas correlações e dimensões, representado na Figura 6D.

Para a Dimensão 1, as variáveis que apresentaram correlação positiva foram: CT ($r = 0,9643$), pH ($r = 0,5174$), DBO ($r = 0,9293$), N-Tot ($r = 0,8911$), Temperatura ($r = 0,8555$), Turbidez ($r = 0,6856$), RT ($r = 0,8499$), O&G ($r = 0,2559$), Condutividade ($r = 0,8985$), Fe-Tot ($r = 0,8062$), NH_4 ($r = 0,7056$) e SST ($r = 0,8170$). Em contrapartida, apresentaram correlação negativa OD ($r = -0,3665$), Cor-V ($r = -0,3045$) e NO_3 ($r = -0,3559$). Para a Dimensão 2, observaram-se correlações positivas para Turbidez ($r = 0,6919$), OD ($r = 0,5624$), O&G ($r = 0,8552$), Cor-V ($r = 0,9170$), Fe-Tot ($r = 0,5542$) e SST ($r = 0,5182$). Já as variáveis com correlação negativa foram: pH ($r = -0,7274$), P-Tot ($r = -0,7382$), NO_3 ($r = -0,5998$) e NH_4 ($r = -0,5482$).

A Figura 7A apresenta a análise de biplot dos componentes principais para o período chuvoso, evidenciando que variáveis posicionadas próximas entre si apresentam alta correlação. A análise de cluster hierárquica, representada na Figura 7B, indicou que o ponto de coleta PC2C-c concentrou os maiores valores para a maioria dos parâmetros analisados, caracterizando-se como a área de maior impacto ambiental entre os pontos amostrados. A localização desse ponto em uma região com maior adensamento urbano pode justificar a elevada carga de poluentes registrada, reforçando a necessidade de ações de controle mais eficazes e específicas nessa área. Já os pontos PC1-c e PC2-c, apesar de também apresentarem concentrações elevadas, mostraram semelhanças entre si, o que sugere a ocorrência de poluição contínua ao longo do trecho do córrego, possivelmente decorrente do aporte difuso de múltiplas fontes ao longo de seu percurso.

Os pontos PC1-c e PC2-c apresentaram resultados similares para essas variáveis, sugerindo condições ambientais semelhantes. De forma semelhante, os pontos PC1C-c, PC1D-c e PC2D-c também exibiram valores próximos entre si.

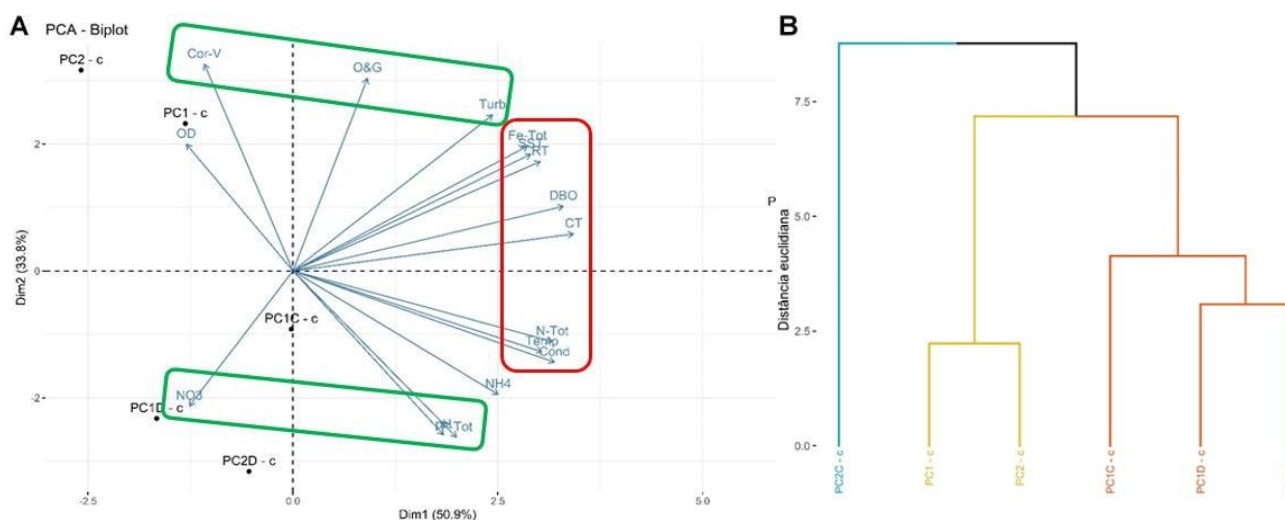


Figura 7 - A) Biplot nos componentes principais para o período chuvoso. B) Análise de cluster hierárquica para o período chuvoso.

Fonte: Autores, 2024.

Na representação gráfica da Figura 7B, os intervalos de valores dos parâmetros avaliados são indicados por cores: azul para os mais elevados, laranja para os intermediários e vermelho para os menores. A ACP mostrou que as variáveis CT, DBO, Condutividade, N-Tot, Temperatura, RT, SST e Fe-Tot (Figuras 6A e 6C) foram as mais influentes na Dimensão 1 (Dim-1), refletindo a presença de carga poluente durante o período chuvoso. Já as variáveis Cor-V, O&G, P-Tot, pH, Turbidez e NO_3 (Figuras 6B e 6C) destacaram-se na Dimensão 2 (Dim-2), associadas a características físico-químicas da água.

Na Dimensão 1, houve correlações positivas com CT, pH, DBO, N-Tot, Temperatura, Turbidez, RT, O&G, Condutividade, Fe-Tot, NH_4 e SST, enquanto OD, Cor-V e NO_3 apresentaram correlação negativa. Isso indica forte associação com poluentes e matéria orgânica, sendo que as correlações negativas refletem parâmetros ligados à melhor qualidade da água. Na Dimensão 2, Turbidez, OD, O&G, Cor-V, Fe-Tot e SST mostraram correlações positivas, enquanto pH, P-Tot, NO_3 e NH_4 tiveram correlações negativas. Esses resultados sugerem que essa dimensão está relacionada à aparência da água, influenciada por óleos, coloração e sólidos, enquanto os valores negativos indicam possível redução de nutrientes e alcalinidade.

Após a definição das classes dos componentes principais, procedeu-se à exploração das Dimensões 1 e 2 com o objetivo de avaliar a contribuição de cada variável durante o período seco de coleta. A Figura 8A apresenta, em ordem classificatória, as variáveis mais relevantes para a Dimensão 1, destacando CT, Óleos e Graxas (O&G), Resíduos Totais (RT), Fósforo Total (P-Tot), DBO, Amônio (NH_4), pH e Turbidez como os principais indicadores para esse componente (Figuras 8A e 8C).

Em seguida, avaliou-se a Dimensão 2, que apresentou maior impacto na variância explicada pelos componentes principais. A Figura 8B mostra a contribuição das variáveis mais representativas para essa dimensão, sendo elas: Condutividade, Nitrogênio Total (N-Tot), Nitrato (NO_3), Cor Verdadeira (Cor-V) e Oxigênio Dissolvido (OD).

A Figura 8C detalha a contribuição acumulada das variáveis nos cinco primeiros componentes principais (Dim-1 a Dim-5), enquanto a Figura 8D apresenta o gráfico que inter-relaciona as variáveis com suas respectivas correlações e dimensões, permitindo uma visualização integrada dos fatores que influenciam a qualidade da água no período seco.

Na Dimensão 1, observou-se correlação positiva entre o componente principal e as variáveis CT ($r = 0,9313$), pH ($r = 0,8151$), DBO ($r = 0,9092$), N-Tot ($r = 0,5192$), P-Tot ($r = 0,9134$), Temperatura ($r = 0,4868$), Turbidez ($r = 0,7984$), Resíduos Totais (RT) ($r = 0,9304$), Óleos e Graxas (O&G) ($r = 0,9312$), Condutividade ($r = 0,3898$), Cor Verdadeira (Cor-V) ($r = 0,6455$), Ferro Total (Fe-Tot) ($r = 0,6952$) e Amônio (NH_4) ($r = 0,8842$). Por outro lado, apresentaram correlação negativa as variáveis Oxigênio Dissolvido (OD) ($r = -0,6194$), Nitrato (NO_3) ($r = -0,7179$) e Sólidos Suspensos Totais (SST) ($r = -0,7334$).

Na Dimensão 2, identificaram-se correlações positivas com Condutividade ($r = 0,8676$), N-Tot ($r = 0,6698$), NO_3 ($r = 0,6614$) e OD ($r = 0,5264$). A variável Cor-V apresentou correlação negativa com este componente ($r = -0,5999$).

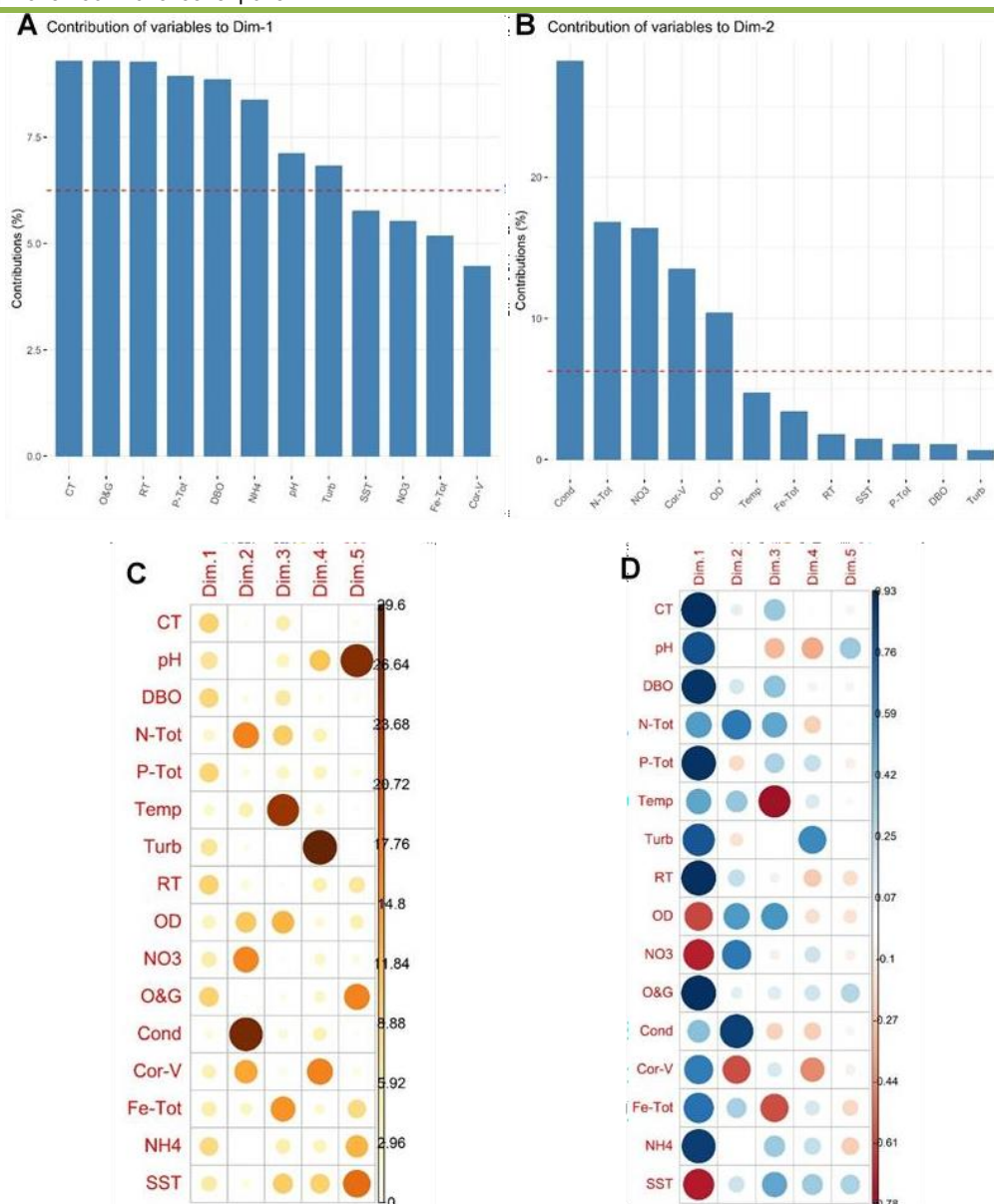


Figura 8 - Contribuição das variáveis nos componentes principais 1 (Dim-1) (A), 2 (Dim-2) (B) e de 1 a 5 (Dim-1 até Dim-5) (C). Análise de correlação nos componentes principais para o período seco (D).

Fonte: Autores, 2024.

A Figura 9A apresenta o biplot da Análise de Componentes Principais para o período seco. Com base nos agrupamentos da análise de cluster (Figura 9B), o ponto de coleta PC2A-s concentrou os maiores valores entre os parâmetros avaliados (CT, pH, DBO, N-Tot, P-Tot, Temperatura, Turbidez, RT, OD, NO₃, O&G, Condutividade, Cor-V, Fe-Tot, NH₄ e SST), caracterizando-se como a área de maior impacto ambiental. Esse padrão sugere uma alta carga de poluentes, possivelmente relacionada a fontes expressivas de contaminação, como escoamento urbano, áreas densamente povoadas ou descargas não tratadas.

Os pontos PC2E-s, PC1B-s e PC1E-s apresentaram perfis semelhantes para essas mesmas variáveis, indicando condições ambientais menos críticas que PC2A-s, mas ainda

sob influência de poluentes ou fatores ambientais variáveis. Já os pontos PC1A-s e PC2B-s, também com padrões semelhantes entre si, registraram os menores valores para os parâmetros analisados, sugerindo áreas com menor interferência antrópica, possivelmente situadas em regiões mais preservadas ou com menor aporte de poluição.

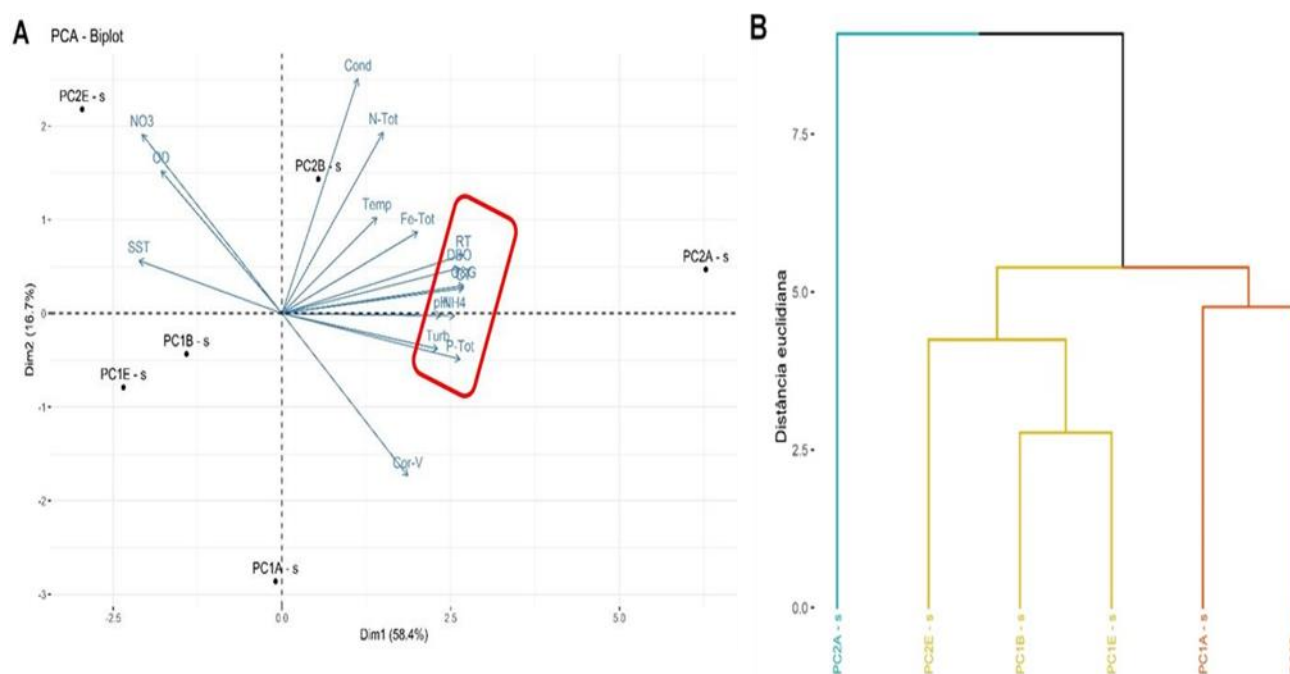


Figura 9 - A) Biplot nos componentes principais para o período seco. B) Análise de cluster hierárquica para o período seco.

Fonte: Autores, 2024.

A Figura 10A mostra a análise de biplot nos componentes principais para o período chuvoso, indicando que quanto mais próximas as variáveis estão, mais correlacionadas elas são. A análise de cluster hierárquica (Figura 10B) revelou que o ponto de coleta PC2C-c apresentou os maiores valores para a maioria dos parâmetros avaliados, destacando-se como uma área de maior impacto ambiental. A localização deste ponto em uma região de maior densidade urbana pode explicar a alta carga de poluentes, reforçando a necessidade de medidas de controle mais rigorosas nessa área.

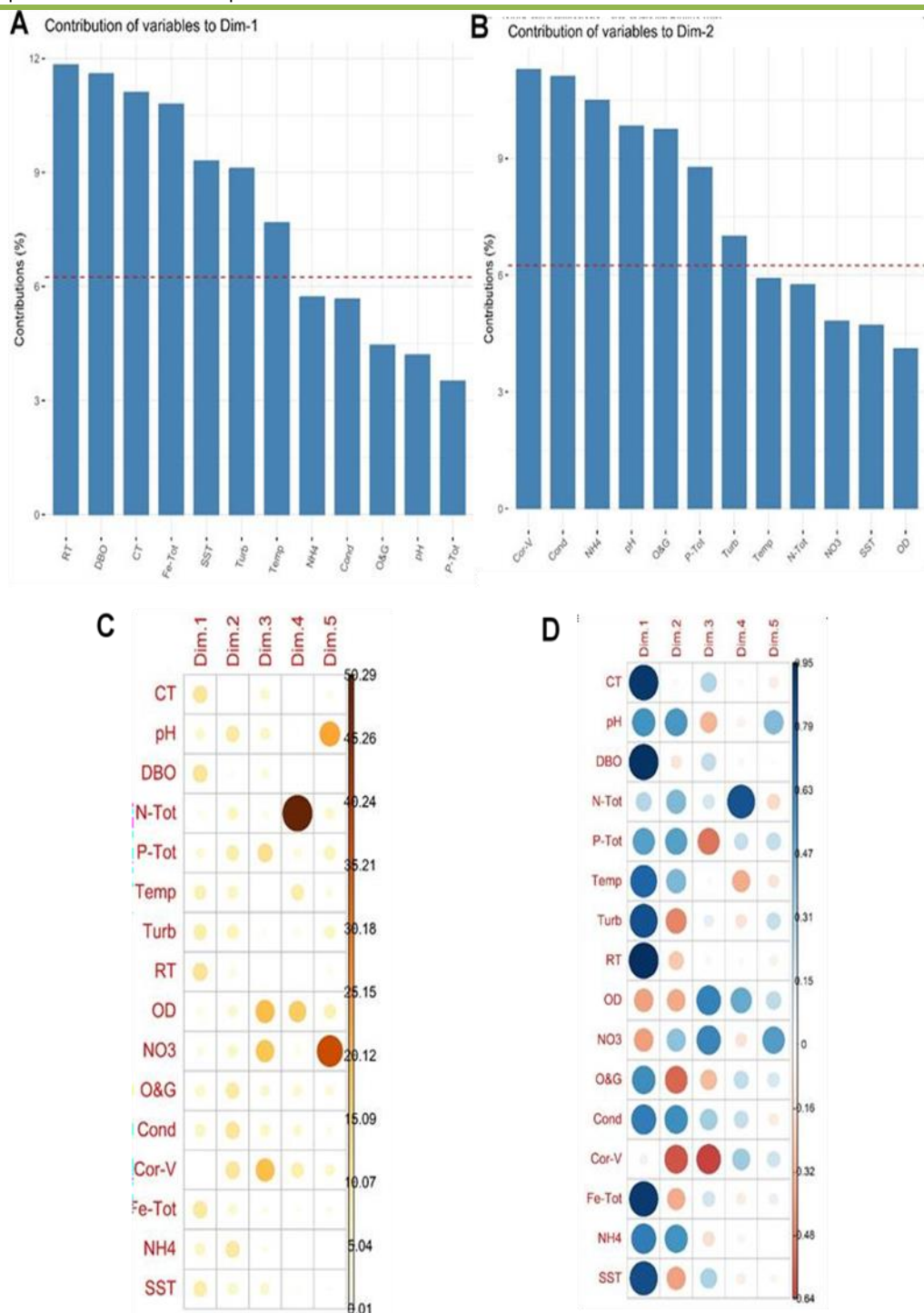


Figura 10 - Contribuição das variáveis nos componentes principais 1 (Dim-1) (A), 2 (Dim-2) (B) e de 1 a 5 (Dim-1 até Dim-5) utilizadas para todos os pontos de coleta. (C). Análise de correlação nos componentes principais para todos os pontos e períodos de coleta (D).

Fonte: Autores, 2024.

Os pontos de coleta PC1-c e PC2-c, embora tenham apresentado valores elevados, foram semelhantes entre si, sugerindo uma poluição consistente ao longo do córrego, possivelmente devido à contribuição difusa de várias fontes ao longo do percurso do córrego. De acordo com a análise de cluster apresentada na Figura 10B, o ponto de coleta

PC2C-c exibiu os maiores valores para os parâmetros avaliados (CT, pH, DBO, N-Tot., P-Tot., Temp., Turb, RT, OD, NO₃, O&G, Cond., Cor-V, Fe-Tot., NH₄ e SST).

Os pontos de coleta PC1-c e PC2-c mostraram resultados semelhantes para as mesmas variáveis. De forma similar, os pontos de coleta PC1C-c, PC1D-c e PC2D-c também apresentaram valores semelhantes para os parâmetros analisados.

Na representação gráfica, os diferentes intervalos de valores são indicados por cores: azul para os maiores valores, laranja para valores intermediários e vermelho para os menores valores dos parâmetros avaliados. Conclui-se que as variáveis CT, DBO, Cond, N-Total, Temperatura, RT, SST e Fe-Tot. (Figuras 9A e 9C) são as mais relevantes para a avaliação no período chuvoso, conforme o componente principal 1 (Dim-1). Os resultados indicam que as variáveis Cor-V, O&G, P-Total, pH, Turbidez e NO₃ (Figuras 9B e 9C) são as que mais contribuem para o componente principal 2 ou dimensão 2 (Dim-2) no mesmo período.

No componente da Dimensão 1, houve uma correlação positiva (r) entre as variáveis CT, pH, DBO, N-Tot, Temperatura, Turbidez, RT, O&G, Cond., Fe-Tot., NH₄ e SST, enquanto as variáveis OD, Cor-V e NO₃ apresentaram correlação negativa. Isso sugere que o componente 1 está fortemente associado a fatores que indicam poluição e comprometimento da qualidade da água, com correlações positivas indicando contaminação e matéria orgânica, e correlações negativas indicando melhores condições de qualidade da água.

Já no componente da Dimensão 2, as variáveis Turbidez, OD, O&G, Cor-V, Fe- Tot. e SST tiveram correlação positiva, enquanto pH, P-Tot., NO₃ e NH₄ apresentaram correlação negativa. A análise dessas correlações sugere que a Dimensão 2 está fortemente ligada a aspectos que afetam a aparência física da água, como presença de óleos, cor, turbidez e sólidos em suspensão. As correlações negativas indicam que este componente pode estar inversamente relacionado à presença de certos nutrientes e à alcalinidade da água.

A Figura 11A mostra a análise de biplot nos componentes principais para todos os pontos de coleta. De acordo com os grupos formados na análise de cluster (Figura 11B), o ponto de coleta PC2C-c apresentou os maiores valores para os parâmetros avaliados (CT, pH, DBO, N-Tot., P-Tot., Temp., Turb, RT, OD, NO₃, O&G, Cond., Cor- V, Fe-Tot., NH₄ e SST). Esses resultados sugerem uma maior carga de poluentes, possivelmente resultante de fontes significativas como descargas industriais, escoamento superficial, ou áreas urbanas densamente povoadas.

Os pontos de coleta PC2A-s, PC1D-c, PC2D-c, PC1A-s, PC1C-c, PC1B-s e PC2B-s apresentaram valores intermediários para as variáveis analisadas, o que sugere condições de qualidade da água que, embora não tão extremas quanto as observadas em PC2C-c, ainda refletem alguma influência de poluentes ou variabilidade ambiental.

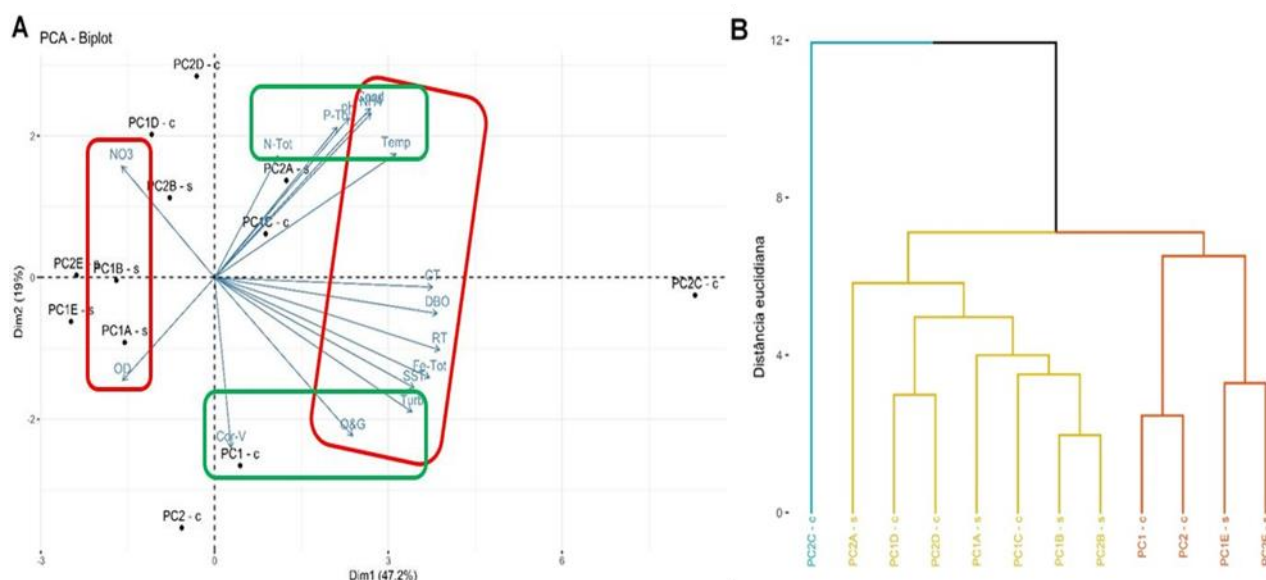


Figura 11 - A) Biplot nos componentes principais para todos os pontos de coleta. B) Análise de cluster hierárquica para todos os pontos de coleta.

Fonte: Autores, 2024.

3.3. Interpretação ambiental e implicações práticas

De forma integrada, os resultados da análise multivariada evidenciam a atuação conjunta de parâmetros microbiológicos, físico-químicos e nutrientes na caracterização da qualidade da água ao longo dos diferentes períodos e pontos amostrados. A Dimensão 1 mostrou-se associada principalmente à carga orgânica e à presença de nutrientes, indicando poluição difusa de origem antrópica, especialmente intensificada durante o período chuvoso. Já a Dimensão 2 destacou variáveis que influenciam a aparência e características físico-químicas da água, como turbidez, cor e óleos e graxas, associadas a processos de escoamento superficial urbano. Essas interpretações reforçam a importância de adotar medidas de controle tanto para fontes pontuais quanto difusas de poluição, bem como de priorizar ações nos pontos de maior impacto (como PC2C-c e PC2A-s). Além disso, os agrupamentos formados nas análises de cluster sugerem que intervenções localizadas podem ter efeito significativo na melhoria da qualidade da água em todo o sistema, especialmente se aliadas ao monitoramento sazonal contínuo.

Os resultados deste estudo corroboram as observações de Vieira (2008), que apontam o impacto significativo da urbanização sobre a qualidade da água em ambientes urbanos. Assim como no estudo realizado em Belo Horizonte, algumas amostras do Córrego do Cortado apresentaram concentrações de poluentes comparáveis às de esgotos domésticos, ultrapassando os limites estabelecidos para corpos d'água de Classe 2.

Os pontos de coleta PC1-c, PC2-c, PC1E-s e PC2E-s registraram os menores valores entre os parâmetros analisados, indicando uma qualidade da água relativamente superior em comparação aos demais locais. A análise estatística revelou que os pontos PC1-c e PC2-c correspondem à primeira campanha de coleta, realizada em março de 2023, durante o período chuvoso, enquanto PC1E-s e PC2E-s integram a última campanha, conduzida em junho de 2024, já no período seco. Essa comparação entre períodos é essencial para compreender as variações sazonais na qualidade da água do Córrego do Cortado, oferecendo subsídios relevantes para o entendimento dos efeitos climáticos sobre os parâmetros ambientais monitorados.

Tanto os dados do presente estudo quanto os de Vieira (2008) reforçam que as chuvas exercem influência direta sobre a qualidade da água, elevando significativamente as concentrações de poluentes. No caso do Córrego do Cortado, o período chuvoso foi marcado por aumentos nos níveis de DBO, sólidos suspensos e nitrogênio total (N-Tot), evidenciando o papel do escoamento superficial no transporte de contaminantes para os corpos hídricos urbanos. Esses achados ressaltam a importância de se adotar estratégias de gestão que incorporem a sazonalidade como fator determinante na dinâmica da poluição hídrica.

Por outro lado, no período seco, observou-se uma melhora na qualidade da água, refletida na redução de variáveis como Cor-V, O&G e SST. No entanto, a persistência de determinados poluentes mesmo na ausência de chuvas, especialmente nos pontos mais impactados, indica a existência de fontes contínuas de contaminação. Lima (2018) destaca que a análise das frações de fósforo nos sedimentos é uma ferramenta útil para compreender a dinâmica desse nutriente em ambientes urbanos, contribuindo para diagnósticos mais precisos sobre processos de eutrofização e a eficácia das ações de controle ambiental.

Os índices de qualidade da água (IQA) e de estado trófico (IET) reforçam essas observações. Os pontos PC1-c e PC2-c, monitorados durante o período chuvoso, apresentaram IQA classificado como “Boa”, embora inferior ao observado nos pontos amostrados no período seco, como PC2E-s, que foi classificado como oligotrófico —

condição associada a menor produtividade biológica e melhores características para diversos usos da água.

A poluição identificada no Córrego do Cortado está intrinsecamente relacionada ao processo de urbanização da região, que promove a impermeabilização do solo, intensifica o escoamento superficial e facilita o transporte de poluentes até os corpos d'água. A correlação positiva entre DBO, N-Tot e SST com as dimensões principais da ACP confirma a influência da matéria orgânica e de nutrientes como indicadores de poluição, especialmente acentuada no período chuvoso. Esse cenário evidencia a urgência de investimentos em infraestrutura de drenagem urbana e em estratégias eficazes para a gestão do escoamento superficial.

Diante disso, torna-se necessária a implementação de medidas de mitigação, como o aprimoramento da drenagem urbana e o controle de fontes pontuais e difusas de poluição, a fim de preservar a qualidade da água e conter a degradação ambiental no Parque Ecológico do Cortado. Também é fundamental considerar os efeitos das variações sazonais no planejamento de ações de gestão, dado o papel central das condições climáticas na oscilação dos parâmetros de qualidade da água.

Ao comparar os resultados do Córrego do Cortado com os obtidos na Unidade Hidrográfica Santana (Clericuzi, 2023), observa-se que, apesar das diferenças geográficas, ambos os territórios enfrentam desafios semelhantes na gestão dos recursos hídricos, especialmente diante da expansão urbana e das variações sazonais. A abordagem integrada adotada na UH Santana — com análise multivariada e enfoque na sazonalidade — oferece um modelo valioso para orientar a gestão e o monitoramento no Parque do Cortado.

Por fim, a análise estatística aplicada neste estudo constitui uma base sólida para ações futuras de conservação e recuperação ambiental. Ela fornece subsídios importantes sobre as dinâmicas de poluição e a eficácia das estratégias de mitigação, reforçando a necessidade de continuidade no monitoramento e de adaptação das práticas de gestão para garantir a sustentabilidade ambiental do Parque Ecológico do Cortado, especialmente frente às crescentes pressões urbanas.

Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas ao controle de poluentes difusos e à preservação de áreas de recarga hídrica urbana, como o Programa Adote uma Nascente, já implementado na região.

4. CONCLUSÃO

O estudo atingiu seu objetivo ao evidenciar o papel da sazonalidade e da urbanização na degradação da qualidade da água no Córrego do Cortado. Os dados obtidos por meio de análises físico-químicas, microbiológicas e estatísticas demonstraram variações significativas na qualidade da água entre os períodos seco e chuvoso. Durante o período chuvoso, observou-se uma maior concentração de poluentes, evidenciada pelos valores elevados de diversos parâmetros nos pontos PC1-c e PC2-c. Em contraste, o período seco apresentou uma redução na concentração de poluentes, com o ponto PC2E-s exibindo a melhor qualidade da água.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) classificou a maioria das amostras (83,3%) como "Boa", embora tenha sido detectada uma presença significativa de coliformes termotolerantes, indicando contaminação biológica. O Índice de Estado Trófico (IET) variou de mesotrófico no período chuvoso a oligotrófico no período seco, alertando para possíveis problemas futuros relacionados à eutrofização.

A análise estatística multivariada, incluindo a análise de componentes principais e a análise de cluster hierárquica, foi eficaz em identificar as principais variáveis que influenciam a qualidade da água e agrupar os pontos de coleta com base nas semelhanças dos parâmetros avaliados.

Estes resultados destacam a importância do monitoramento contínuo e da implementação de políticas públicas eficazes para reduzir a carga poluidora, especialmente durante os períodos chuvosos. É fundamental adotar estratégias de gestão ambiental que considerem as variações sazonais para garantir a sustentabilidade do Córrego do Cortado e preservar sua biodiversidade.

REFERÊNCIAS

AGUDO, E. G. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CESTEB, 1987. 150 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de qualidade – Índice da Qualidade das águas**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br>. Acesso em: 02 fev. 2023.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water**. 22nd ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 5 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2024.

BUOSE, B. Impacto da mobilidade urbana na gestão de águas pluviais. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 12, n. 38, p. 126-141, 2024.

BURTON, G. J. A.; PITT, R. **Stormwater effects handbook: a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers.** Washington, DC: Lewis Publishers, 2002. 929p.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, E.; C. B. **Aplicação do modelo hidrológico WEAP como subsídio à gestão de recursos hídricos e acompanhamento de indicadores hidroambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Santana DF/GO.** 2023. 176 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2024.

LIMA, E. C.; EMERICH, P. P.; MALDANER, V. I. Programa adote uma nascente no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO - DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA O EQUILÍBRIO ENTRE SOCIEDADE, AGRONEGÓCIOS E RECURSOS NATURAIS, 4., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: ParlaMundi, 2008. p. 1-7.

LIMA, S. R. M. **Determinação das frações de fósforo no sedimento superficial dos principais rios da cidade de São Roque, SP.** 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 118p.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G. Nonpoint pollution load in river catchments with different anthropic impacts: a case study in southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 24, p.1-17, 2017.

VIEIRA, P. C. **Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte.** 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **NationalWater Quality Inventory**, 1994, Report to Congress. In: Office of Water. EPA 841- R 95-005. Washington, DC, 1995.

Recebido: 27/05/2025

Aceito: 28/08/2025