

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS**

ROGÉRIO RODRIGUES DE BARROS

**HIDROGEOMORFOLOGIA, GEOECOLOGIA E PROTEÇÃO
DE ÁREAS ÚMIDAS NA ZONA PERIURBANA DE JUIZ DE
FORA-MG**

Juiz de Fora

2025

ROGÉRIO RODRIGUES DE BARROS

**HIDROGEOMORFOLOGIA, GEOECOLOGIA E PROTEÇÃO
DE ÁREAS ÚMIDAS NA ZONA PERIURBANA DE JUIZ DE
FORA-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas Socioambientais

Orientador: Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Barros, Rogério Rodrigues de .
HIDROGEOMORFOLOGIA, GEOECOLOGIA E PROTEÇÃO DE
ÁREAS ÚMIDAS NA ZONA PERIURBANA DE JUIZ DE FORA-MG /
Rogério Rodrigues de Barros. -- 2025.
161 p.

Orientador: Miguel Fernandes Felipe
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz
de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de
Pós-Graduação em Geografia, 2025.

1. Áreas úmidas. 2. hidrogeomorfologia. 3. geoeologia. 4.
proteção. I. Felipe, Miguel Fernandes, orient. II. Título.

Rogério Rodrigues de Barros

**HIDROGEOMORFOLOGIA, GEOECOLOGIA E PROTEÇÃO
DE ÁREAS ÚMIDAS NA ZONA PERIURBANA DE JUIZ DE
FORA-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas Socioambientais

Aprovada em 17 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Roberto Marques Neto

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Diego Rodrigues Macedo

Universidade Federal de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que estiveram comigo nessa caminhada e que contribuíram diretamente ou indiretamente para essa pesquisa.

Agradeço ao meu orientador, prof. Miguel, pela parceria, pelos ensinamentos e por toda ajuda durante minha caminhada na graduação e na pós-graduação. Agradeço também aos professores Roberto, Cezar, Diego, Gisele, Elias e Pedro pelas contribuições ao longo da pesquisa.

Agradeço ao Waltencir, que gentilmente forneceu dados valiosos para a realização dessa pesquisa.

Agradeço aos membros do grupo de pesquisa TERRA, principalmente Sara, Beatriz, Ian, Carol, Miguel, Pedro e Késia, que ajudaram na árdua batalha de desbravar os brejos do Linhares.

Agradecimentos especiais para Fernando e Mirella por me auxiliarem na execução dos procedimentos realizados no Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos - UFMG.

Agradeço também aos proprietários das residências visitadas e a Prefeitura de Juiz de Fora por permitir o acesso aos locais necessários para realização da pesquisa.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora, o Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFJF e a CAPES, que forneceram a oportunidade e as condições para a realização dessa pesquisa.

EPÍGRAFE

*“We can know only that we know nothing. And that
is the highest degree of human wisdom.”*

– Liev Tolstói

RESUMO

As áreas úmidas consistem em sistemas hidrogeomorfológicos palustres, alagados de forma periódica ou permanente, tendo sua gênese associada às inundações de cursos d'água, precipitação direta ou afloramento da água subsuperficial. Estudos envolvendo a compreensão de características hidrogeomorfológicas e geocológicas de áreas úmidas no contexto do Brasil Tropical Atlântico são escassos. As constantes transformações nas formas de uso e cobertura da terra, agravadas pela ausência de proteção para esses hidrossistemas, afetam os *inputs* de matéria e energia nesses hidrossistemas, alterando sua dinâmica e funcionamento. Por sua vez, as respostas geradas pelos hidrossistemas são incertas, tendo em vista o caráter complexo desses sistemas. Diante deste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo geral discutir o estado dinâmico-funcional de áreas úmidas a partir de seus aspectos hidrogeomorfológicos. Os objetivos específicos consistem em realizar a caracterização hidrogeomorfológica das áreas úmidas encontradas nas áreas de estudo; relacionar processos antropogeomorfológicos com parâmetros físico-químicos de água e solo e discutir as fragilidades na proteção de áreas úmidas à luz da legislação ambiental vigente. A partir de técnicas de sensoriamento remoto, foram analisadas as formas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do córrego Yung e bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta, no município de Juiz de Fora-MG. Também foram analisadas a distribuição espacial das áreas úmidas, suas características fisiográficas e hidrogeomorfológicas. Posteriormente, foram escolhidas quatro áreas úmidas para estudos verticalizados, sendo analisadas suas características geocológicas e seu estado dinâmico-funcional a partir de análises de água e de solo. Os resultados mostraram a singularidade e o caráter complexo das áreas úmidas, em um cenário onde as áreas úmidas apresentaram homogeneidade entre os pontos centrais e suas margens, mas heterogeneidade quando comparadas umas às outras. As diferentes formas de uso e cobertura da terra em conjunto com a sazonalidade hídrica atuam no transporte de materiais e processos biogeoquímicos em escala local, conferindo características singulares aos hidrossistemas analisados.

Palavras-chave: Áreas úmidas, hidrogeomorfologia, geocologia, proteção

ABSTRACT

Wetlands consist of hydrogeomorphological systems that are periodically or permanently flooded, and their genesis is associated with the flooding of watercourses, direct precipitation or the outcrop of the water table. Studies involving the understanding of hydrogeomorphological and geoecological characteristics of wetlands in the context of Atlantic Tropical Brazil are scarce. The constant transformations in the forms of land use and coverage, aggravated by the lack of protection for these hydrosystems, affect the inputs of matter and energy into these hydrosystems, altering their dynamics and functioning. In turn, the responses generated by the hydrosystems are unpredictable, given the complex nature of these systems. Given this context, the present research has the general objective of discussing the dynamic-functional state of wetlands based on their hydrogeomorphological aspects. The specific objectives consist of performing the hydrogeomorphological characterization of the wetlands found in the study areas; to relate anthropogeomorphological processes with physical-chemical parameters of water and soil and to discuss the weaknesses in the protection of wetlands in light of current environmental legislation. Using remote sensing techniques, the forms of land use and land cover in the Yung stream basin and the Poço D'Anta stream basin, in the municipality of Juiz de Fora-MG, were analyzed. The spatial distribution of the wetlands, their physiographic and hydrogeomorphological characteristics were also analyzed. Subsequently, four wetlands were chosen for verticalized studies, and their geoecological characteristics and their dynamic-functional state were analyzed based on water and soil analyses. The results showed the uniqueness and complex nature of the wetlands, in a scenario where the wetlands presented homogeneity between the central points and their margins, but heterogeneity when compared to each other. The different forms of land use and coverage, together with the water seasonality between seasons, act in the transport of materials and biogeochemical processes on a local scale, giving unique characteristics to the hydrosystems analyzed.

Keywords: Wetlands, hydrogeomorphology, geoecology, protection

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sítios Ramsar distribuídos em território brasileiro.....	20
Figura 2 - Classes hidrogeomorfológicas da classificação de Brinson (1993).....	25
Figura 3 - <i>Inputs</i> hidrológicos que embasam a classificação de Brinson (1993).....	26
Figura 4 - Fluxos tridimensionais associados à conectividade hidrológica.....	27
Figura 5 - Componentes que alteram a qualidade da água.....	34
Figura 6 - Linha do tempo com a evolução dos principais mecanismos para a proteção de áreas úmidas.....	44
Figura 7 - Médias pluviométricas para o município de Juiz de Fora.....	47
Figura 8 - Localização da bacia hidrográfica do Córrego Yung.....	48
Figura 9 - Deslizamento de terra no bairro Linhares.....	49
Figura 10 - Hortaliças em propriedade particular da pedreira Santo Cristo.....	50
Figura 11 - Planícies e encostas da bacia ocupadas por residências.....	51
Figura 12 - Propriedade residencial com açudes.....	52
Figura 13 - Morfologia da bacia hidrográfica do córrego Yung.....	53
Figura 14 - Geologia da bacia hidrográfica do córrego Yung.....	54
Figura 15 - Córrego Yung destacado em relação a rede de drenagem.....	55
Figura 16 - Solos da bacia hidrográfica do córrego Yung.....	56
Figura 17 - Localização da reserva biológica municipal Poço D’Anta.....	57
Figura 18 - Manancial na reserva biológica municipal Poço D’Anta.....	58
Figura 19 - Produção de mudas na Reserva Biológica Municipal Poço D’Anta.....	59
Figura 20 - Morfologia da bacia hidrográfica do córrego Poço D’Anta.....	60
Figura 21 - Geologia da bacia hidrográfica do córrego Poço D’Anta.....	61
Figura 22 - Solos da bacia hidrográfica do córrego Poço D’Anta.....	62
Figura 23 - Croqui demonstrando os pontos de coleta de solo.....	69
Figura 24 - Abertura de trincheiras no solo.....	69
Figura 25 - Quadro-síntese com metodologia e objetivos.....	73
Figura 26 - Uso e cobertura da terra em 1968.....	74
Figura 27 – Uso e cobertura da terra em 1983.....	76
Figura 28 - Uso e cobertura da terra em 2010.....	77
Figura 29 – Uso e cobertura da terra em 2023.....	78

Figura 30 - Córrego Yung no bairro Linhares.....	79
Figura 31 - Áreas destinadas à agricultura nas margens dos córregos e cursos d'água.....	80
Figura 32 - Córrego Yung próximo à sua nascente, recoberto por pastagem.....	81
Figura 33 - Localização das áreas úmidas na bacia hidrográfica do Córrego Yung.....	82
Figura 34 - Distribuição das classes hidrogeomorfológicas das áreas úmidas.....	83
Figura 35 - Área úmida fluvial.....	84
Figura 36 - Área úmida de depressão.....	85
Figura 37 - Área úmida lacustre ao fundo.....	86
Figura 38 - Área úmida de encosta.....	87
Figura 39 - Índice de Circularidade das áreas úmidas.....	89
Figura 40 - Hidrossistema com limites definidos por estradas.....	91
Figura 41 - Barramento realizado em lago.....	91
Figura 42 - Perfis topográficos na bacia hidrográfica do córrego Yung.....	92
Figura 43 - Perfil topográfico transversal A-A'.....	93
Figura 44 - Perfil topográfico transversal B-B'.....	94
Figura 45 - Perfil topográfico transversal C-C'.....	95
Figura 46 - Perfil topográfico transversal D-D'.....	96
Figura 47 - Perfil topográfico transversal E-E'.....	97
Figura 48 - Perfil topográfico longitudinal F-F'.....	97
Figura 49 - Perfis topográficos na bacia hidrográfica do córrego Yung.....	99
Figura 50 - Perfil topográfico transversal G-G'.....	99
Figura 51 - Perfil topográfico longitudinal H-H'.....	100
Figura 52 - Localização da área úmida na bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta.....	101
Figura 53 - Área úmida (AU1) em campo.....	102
Figura 54 - Bloco diagrama da área úmida AU1.....	103
Figura 55 - Bacia de contribuição da área úmida AU1.....	103
Figura 56 - Perfil topográfico transversal para área úmida AU1.....	104
Figura 57 - Perfil topográfico longitudinal para área úmida AU1.....	105
Figura 58 - Área úmida AU2 via imagens de satélite.....	106
Figura 59 - Área úmida (AU2) em campo.....	106
Figura 60 - Bloco diagrama para área úmida AU2.....	107
Figura 61 - Bacia de contribuição da área úmida AU2.....	108

Figura 62 – Perfil geocológico NW-SE para área úmida AU2.....	109
Figura 63 – Perfil geocológico E-W para área úmida AU2.....	109
Figura 64 – Área úmida AU3 via imagens de satélite.....	110
Figura 65 – Área úmida AU3 em campo.....	111
Figura 66 – Placa situada às margens do córrego Yung, próxima da área úmida AU3.....	111
Figura 67 – Bloco diagrama para área úmida AU3.....	112
Figura 68 – Bacia de contribuição da área úmida AU3.....	113
Figura 69 – Perfil geocológico W-E para área úmida AU3.....	114
Figura 70 – Perfil geocológico S-N para área úmida AU3.....	114
Figura 71 – Área úmida AU4 via imagens de satélite.....	115
Figura 72 – Área úmida AU4 em campo.....	116
Figura 73 – Bloco diagrama para área úmida AU4.....	117
Figura 74 – Bacia de contribuição da área úmida AU4.....	118
Figura 75 – Perfis topográficos da área úmida AU4.....	119
Figura 76 – Perfil geocológico S-N para área úmida AU4.....	119
Figura 77 – Perfil geocológico W-E para área úmida AU4.....	120
Figura 78 – Mosaico com parâmetros de água analisados nas quatro áreas úmidas.....	124
Figura 79 – PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco.....	137
Figura 80 – PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido.....	139
Figura 81 – PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas nos dois períodos.....	141
Figura 82 – Classes de uso e cobertura da terra dentro dos buffers.....	144
Figura 83 – Cobertura vegetal na área úmida AU1.....	146
Figura 84 – Formas de uso e cobertura da terra na área úmida AU2.....	147
Figura 85 – Assoreamento na área úmida AU3.....	148
Figura 86 – Alterações antrópicas na nascente do córrego Yung.....	149
Figura 87 – Depósitos tecnogênicos próximos à nascente do córrego Yung.....	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro síntese com a importância de cada parâmetro para determinar a qualidade da água.....	36
Quadro 2 - População total de Juiz de Fora.....	46
Quadro 3 - Levantamentos elaborados pela Prefeitura de Juiz de Fora.....	63
Quadro 4 - Classes morfológicas da área de estudo.....	64
Quadro 5 - Classes de uso e cobertura da terra.....	75
Quadro 6 - Frequência das classes hidrogeomorfológicas.....	83
Quadro 7 - Formato das áreas úmidas.....	88
Quadro 8 - Formato das áreas úmidas e classes hidrogeomorfológicas associadas.....	88
Quadro 9 – Análises de solo para as quatro áreas úmidas no período seco.....	121
Quadro 10 – Análises de solo para as quatro áreas úmidas no período úmido.....	121
Quadro 11 – Análises de água no período seco.....	123
Quadro 12 – Análises de água no período úmido.....	123
Quadro 13 – Limites para parâmetros de água pela Resolução Conama (2005) e COPAM-CERH/MG (2022).....	129
Quadro 14 – Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco.....	131
Quadro 15 – Teste ANOVA todas as áreas úmidas no período seco.....	132
Quadro 16 – Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido.....	133
Quadro 17 – Teste ANOVA todas as áreas úmidas no período úmido.....	133
Quadro 18 – Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas nas duas coletas.....	134
Quadro 19 – Teste ANOVA todas as áreas úmidas nas duas coletas.....	134
Quadro 20 – Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco.....	136
Quadro 21 – Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido.....	138
Quadro 22 – Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas nos dois períodos.....	140
Quadro 23 – Frequência das classes de uso e cobertura da terra dentro dos <i>buffers</i>	145

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	ÁREAS ÚMIDAS: BASES TEÓRICAS.....	17
2.1	OCORRÊNCIA DE PEQUENAS ÁREAS ÚMIDAS	19
2.2	HIDROGEOMORFOLOGIA E CONECTIVIDADE EM ÁREAS ÚMIDAS.....	23
2.3	SOLOS E NUTRIENTES DAS ÁREAS ÚMIDAS.....	30
2.4	QUALIDADE DA ÁGUA NAS ÁREAS ÚMIDAS.....	34
3	ÁREAS ÚMIDAS NA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	38
4	ÁREA DE ESTUDO	45
4.1	BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG – OCUPAÇÃO.....	47
4.2	BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS	52
4.3	RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DO POÇO D’ANTA – OCUPAÇÃO ...	56
4.4	RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DO POÇO D’ANTA – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS	59
5	METODOLOGIA.....	63
5.1	MATERIAIS E MÉTODOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG	63
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO POÇO D’ANTA.....	65
5.3	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS.....	65
5.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS.....	66
5.5	SELEÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS VISITADAS EM CAMPO.....	67
5.6	MATERIAIS E MÉTODOS PARA ELABORAÇÃO DE PERFIS TOPOGRÁFICOS, PERFIS GEOECOLÓGICOS, BLOCOS DIAGRAMA E GRÁFICOS.....	67
5.7	COLETAS DE AMOSTRAS DE SOLO.....	68
5.8	COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA.....	70
5.9	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	71
5.10	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	72
5.11	SÍNTESE METODOLÓGICA.....	73
6	RESULTADOS.....	74
6.1	BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG E USO DA TERRA.....	74
6.2	ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG	81
6.3	PERFIS TOPOGRÁFICOS	91
6.4	ÁREAS ÚMIDAS VISITADAS EM CAMPO	100
6.4.1	Área Úmida - AU1	101
6.4.2	Área Úmida - AU2	105
6.4.3	Área Úmida - AU3	109
6.4.4	Área Úmida - AU4	114
6.5	ANÁLISES DE SOLO	120
6.6	ANÁLISES DE ÁGUA.....	123
6.6.1	Área Úmida – AU1	126
6.6.2	Área Úmida – AU2	127

6.6.3	Área Úmida – AU3	128
6.6.4	Área Úmida – AU4	128
6.7	RESOLUÇÃO CONAMA E DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM-CERH/MG	129
7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	131
7.1	ANOVA: PERÍODO SECO (MAI/2024)	131
7.2	ANOVA: PERÍODO ÚMIDO (DEZ/2024).....	132
7.3	ANOVA: MÉDIA DAS DUAS COLETAS.....	134
7.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): PERÍODO SECO (MAI/2024).....	135
7.5	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): PERÍODO ÚMIDO (DEZ/2024).....	138
7.6	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): DUAS COLETAS	140
8	CONTEXTO ATUAL DE PROTEÇÃO E ESTADO DINÂMICO-FUNCIONAL DAS ÁREAS ÚMIDAS	144
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155

1 INTRODUÇÃO

As áreas úmidas apresentam-se ameaçadas e afetadas pelas atividades antrópicas ao redor do mundo, sendo estimado que cerca de 50% das áreas úmidas do planeta tenham desaparecido, enquanto grande parte das áreas úmidas remanescentes encontram-se degradadas (ZEDLER, KERCHER, 2005; TOOTH, MCCARTHY, 2007; DAVIDSON, 2014). Davidson (2014) argumenta que a perda de áreas úmidas naturais foi generalizada e constitui-se em um processo contínuo em todas as partes do mundo, sendo possível afirmar que as estatísticas de perda de áreas úmidas podem superar os 50% de perdas globais supramencionadas. Além disso, o autor afirma que ao estabelecer um recorte temporal datando do início do século XVIII, o número de perda de áreas úmidas globais pode ser ainda maior, estimando-se uma perda de 87%.

O aumento na densidade populacional, a urbanização, o aumento das temperaturas globais e as transformações nas drenagens e formas de uso da terra para o desenvolvimento de atividades econômicas são os principais fatores que vêm culminando na degradação e desaparecimento de áreas úmidas em países de todo o planeta (GIBBS, 2000; SCHUIJT, 2002; ZEDLER, KERCHER, 2005; NIU et al., 2012; SU et al., 2012; VERHOEVEN, 2013; BURGIN, FRANKLIN, HULL, 2016; FUSHITA, SANTOS, 2017).

Todavia, a pressão excessiva sobre os recursos hídricos tem ameaçado cada vez mais não só as áreas úmidas, mas os sistemas fluviais como um todo, afetando diretamente ou indiretamente esses hidrossistemas. A diminuição dos aquíferos e construção de infraestrutura viária resultam em uma redução significativa da exfiltração de água para a superfície, além de aumentarem a carga de nutrientes e sedimentos nas áreas úmidas (MAILLARD et al., 2012).

Destarte, evidencia-se que a natureza é transformada através da produção social, onde as relações materiais entre humanos e natureza são compreendidas em uma inter-relação dinâmica, em um processo histórico-geográfico onde esses agentes atuam e se constituem mutuamente (SWYNGEDOUW, 2004; SAITO, 2021).

Smith (1988) aponta que o substrato produzido no tempo e no espaço com a expansão do desenvolvimento econômico, é uma produção social, onde a paisagem material apresenta-se como um processo de produção da natureza. Saito (2021) aponta que a natureza existe apenas em relação à produção social, e a relação material fundamental entre humanos e natureza deve ser compreendida em sua inter-relação dinâmica.

Sob o ponto de vista socioambiental, as cidades são resultantes de um processo histórico-geográfico de urbanização da natureza, produzindo novas “naturezas” e novas condições socioambientais (SWYNGEDOUW, 2004). Contudo, essas novas condições por

vezes são produzidas de forma a relegar a natureza a uma entidade puramente econômica, onde sua totalidade holística é externa ao discurso racional de modernidade (ALTVATER, 2007; SAITO, 2021).

A degradação e perturbação da natureza sob o modo de produção capitalista foram intensificadas, tendo em vista que este sistema de produção busca incessantemente o lucro, de forma a não incorporar a natureza na sua criação de valor, tratando-a como uma “dádiva gratuita”. Tais processos resultaram em uma nova forma de relação com a natureza, mediadas pelo trabalho e a alienação nas relações entre sociedade e natureza (FOSTER, CLARK, 2020).

Esse processo contínuo de mudanças e transformações perpétuas são caracterizadas por Swyngedouw (1999) como uma série de relações e mecanismos de poder social através de processos heterogêneos, gerando tensões e conflitos que alteram a sociedade e o meio ambiente de maneiras cada vez mais complexas. Suas contradições são expressas na transformação da natureza e da sociedade, gerando ambientes “híbridos”, que são naturais e sociais ao mesmo tempo, incorporando uma multiplicidade de relações e processos (SWYNGEDOUW, 1999).

As novas paisagens geradas carregaram consigo o resultado dessas relações e das transformações histórico-geográficas. Os elementos que constituem tais paisagens também expressam em suas construções materiais e simbólicas as contradições dessa nova produção da natureza e o reordenamento de uma sociedade em constante mudança (SWYNGEDOUW, 1999).

Exemplo disso está no fluxo da água, que incorpora além de propriedades físicas e químicas, significados culturais e simbólicos, possuindo fundamental importância socioeconômica. O metabolismo da água torna-se estruturado e organizado por relações de poder sócio-naturais, onde relações de poder se incorporam à paisagem (SWYNGEDOUW, 2004).

Diante desse pressuposto, surge o conceito de “*waterscapes*” para caracterizar essas paisagens “híbridas”, em um contexto onde praticamente não existem bacias hidrográficas, ciclos hidrológicos ou fluxos d’água que já não tenham sido submetidos à alguma forma de modificação pelo uso humano, tendo em vista que as mudanças sociais não podem ser compreendidas sem transformações em processos hidrológicos (SWYNGEDOUW, 1999).

Tal perspectiva toma como base que natureza e sociedade não existem separadamente, e sim como elementos interligados e inseparáveis. Dessa forma, a paisagem é analisada através da inter-relação de processos dinâmicos onde seus elementos são retrabalhados e ressignificados, refletindo relações desiguais de poder (KARPOUZOGLOU, VIJ, 2017).

Calçado a partir da transformação da natureza através do trabalho humano que molda a produção do espaço, o conceito de “*waterscapes*” reflete a relação dialética do desenvolvimento capitalista e as relações desiguais na produção das sociedades, que se traduz principalmente na questão do acesso e direito à água, frente à crescentes processos de mercantilização e privatização, onde serviços e distribuições são geridos por interesses políticos e relações de poder (KARPOUZOGLOU, VIJ, 2017).

Destarte, pode-se pensar em compreender a complexidade da distribuição de água ao redor do planeta, assim como seu acesso, diante de fatores como ao aumento da demanda associada à expansão urbana e agricultura, o aumento das temperaturas globais e a crescente degradação dos recursos hídricos (KARPOUZOGLOU, VIJ, 2017). Esta perspectiva considera que a distribuição da água não pode ser explicada apenas pelo ciclo hidrológico tradicional e seus processos associados, mas sim através de processos que incorporam dialeticamente elementos materiais e sociais que resultam em novas formas de distribuições geográficas das relações entre água e sociedade (BOULEAU, 2014).

Exemplificando essa relação, Shi, Kondolf, Li (2018) mostram que canais fluviais são preservados ou retrabalhados de modo a gerar uma beleza estética para a paisagem urbanizada, através da retificação de canais e a criação de parques e lagos artificiais. Esses novos elementos criam uma identidade local, estabelecendo-se como áreas desejáveis para habitação, elevando o preço dos terrenos locais próximos a essas “*waterscapes*”, resultando assim em um processo de gentrificação.

Principalmente após a revolução industrial, rios e córregos foram degradados no mundo todo, com aumento nas cargas de poluentes e sedimentos. As alterações nas águas sempre foram voltadas para dar espaço à urbanização, aterrando, retificando e suprimindo canais fluviais. Portanto, esse fenômeno da criação de “*waterscapes*” contrasta com a relação usual da sociedade com seus cursos d’água e hidrossistemas. Tais projetos visam trabalhar com a estética e a identidade local, fornecendo novas áreas para contemplação e recreação (SHI, KONDOLF, LI, 2018).

Assim como em áreas urbanas, em zonas rurais e periurbanas processos semelhantes podem ser observados, com a criação de açudes e lagos artificiais, com as mesmas propostas supramencionadas. Usualmente, locais embrejados e áreas úmidas se tornam alvo de supressão para a criação de novas localidades mediante uma lógica utilitarista, já que as áreas úmidas constantemente são vistas como ambientes improdutivos e insalubres, supostamente consistindo em uma barreira para o desenvolvimento urbano, resultando assim em sua

drenagem e conversão para áreas destinadas à agricultura e habitação (TOOTH, MCCARTHY, 2007).

A presença de áreas úmidas na região de Mares de Morros relaciona-se à suas características físicas, com uma rede de drenagem perene durante o ano todo, padrão de relevo ondulado, vertentes declivosas e solos espessos, modeladas por um intemperismo de grande intensidade, típico de regiões do Tropical Atlântico (AB'SABER, 2003). Tais características possibilitam a formação de um grande número de hidrossistemas de menor extensão, sobretudo em suas extensas e declivosas vertentes, onde as águas exfiltram e/ou se acumulam em suas feições côncavas através de fluxos verticais, ou acumulam-se em suas pequenas planícies e fundos de vale encaixados por fluxos longitudinais e/ou laterais (BARROS, GOMES, FELIPPE, 2023; BARROS, FELIPPE, 2024).

As áreas úmidas, como sistemas abertos, complexos e auto-organizados, são compostas por diversos elementos multiescalares, que interagem entre si de formas não lineares e heterogêneas no tempo e no espaço, fazendo com que esses hidrossistemas gerem respostas imprevisíveis aos *inputs* e *outputs* de matéria e energia que se manifestam na paisagem (FARINA, 2006).

Abordagens geocológicas, cujo princípios teóricos e metodológicos se baseiam em enfoques sistêmicos, contribuem para a análise e diagnóstico das paisagens, se debruçando sobre as interações entre condições naturais e produções sociais que se manifestam em seu desenvolvimento e particularidades espaciais e temporais (RODRIGUEZ, SILVA, CAVALCANTI, 2017).

Na natureza, mudanças qualitativas só ocorrem por meio de adição ou subtração quantitativa de matéria e energia (ENGELS, 2020). Em meio às bases geocológicas, torna-se possível estudar sistemas complexos como as áreas úmidas a partir de um enfoque dinâmico-funcional, analisando seu funcionamento a partir dos balanços de entradas, saídas, absorções e transformações de matéria e energia, na forma de água, sedimentos e nutrientes, assim como suas interações com elementos invariantes da paisagem, como relevo e litologia, e variáveis associadas às características das áreas úmidas, como tipo de solo, vegetação e presença de microrganismos (CAVALCANTI, CORRÊA, 2017; MARQUES NETO et al., 2023).

Portanto, a justificativa para esta pesquisa se encontra nas crescentes pressões ambientais e ameaças em que as áreas úmidas estão sujeitas. As formas de ocupação realizadas sem planejamento adequado resultam em danos sociais, econômicos e ecológicos, ameaçando a integridade e dinâmica das áreas úmidas e dos recursos hídricos. Soma-se a isso a relevância socioambiental das áreas úmidas, inseridas em um cenário de crescente degradação frente à

fragilidade de instrumentos legais responsáveis por garantir a sua proteção. Além disso, vale destacar a escassez de estudos de semelhante temática dentro desse contexto regional.

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo geral discutir o estado dinâmico-funcional de áreas úmidas a partir de seus aspectos hidrogeomorfológicos. Os objetivos específicos consistem em: (a) realizar a caracterização hidrogeomorfológica das áreas úmidas encontradas na área de estudo; (b) relacionar processos antropogeomorfológicos com parâmetros físico-químicos de água e solo; (c) discutir as fragilidades na proteção de áreas úmidas a partir da legislação ambiental vigente e as inconformidades nas formas de uso e cobertura da terra nos arredores das áreas úmidas.

Para atingir esses objetivos, serão analisadas áreas úmidas em dois recortes espaciais distintos, ambos situados no município de Juiz de Fora – MG. Optou-se por trabalhar com diferentes recortes devido às notórias diferenças nas formas de uso e cobertura da terra. Enquanto a bacia hidrográfica do córrego Yung é densamente ocupada em seu baixo e médio curso, com predominância de pastagens em seu alto curso, a bacia hidrográfica do córrego Poço D’Anta tem em seu interior a Reserva Biológica Municipal do Poço D’Anta, que consiste em uma unidade de conservação, onde uma densa vegetação arbórea se faz dominante, contrastando com a ausência de áreas protegidas na bacia hidrográfica do córrego Yung.

Desta forma, tem-se na área úmida localizada na Reserva Biológica Municipal do Poço D’Anta uma espécie de “branco”, que pode ser considerada como uma linha base ou ponto de comparação, tendo-se como hipótese de que uma área úmida em uma área protegida, situada em mata fechada, em tese apresentaria características físico-químicas de água e solo distintas das áreas úmidas com algum grau de interferência antrópica ao seu redor.

2 ÁREAS ÚMIDAS: BASES TEÓRICAS

Para o estudo de áreas úmidas, é importante a utilização de bases teórico-metodológicas de cunho sistêmico, já que esses hidrossistemas são formados através de combinações e interações entre condições climáticas, geológicas, hidrográficas e topográficas (JACKSON, THOMPSON, KOLKA, 2014).

As áreas úmidas podem ser vistas como hidrossistemas, definidos por Piégay e Schumm (2007) como sistemas tridimensionais, onde matéria, biota e energia transitam via fluxos longitudinais (montante-jusante), laterais (canal-planície) e verticais (superfície-subsuperfície). Desta forma, interações hidrológicas, geomorfológicas e biológicas atuam nessas três dimensões de forma a garantir seu funcionamento e integridade.

Felippe e Magalhães Júnior (2020) apontam para a interesclaridade desses hidrossistemas, onde fluxos de matéria e energia atuam sobre diferentes formas de relevo, e conseqüentemente processos hidrogeomorfológicos relacionam-se à diferentes escalas espaciais e temporais. De forma correlata, Tooth (2018) destaca que as áreas úmidas são resultantes de um arranjo complexo entre canais fluviais, planícies aluviais e vertentes, cuja disponibilidade de água e sedimentos variam espacialmente e temporalmente.

Dentro da literatura nacional e internacional, existem diversas conceituações elaboradas para definir o que é uma área úmida. Essa complexa problemática justifica-se na diversidade de áreas úmidas presentes ao redor do planeta, formadas em condições climáticas, geomorfológicas e hidrográficas muito distintas entre si, resultando na formação de diferentes definições e classificações, cunhadas a partir de critérios que melhor embasam estudos de determinada localidade.

Semeniuk & Semeniuk (1995) exemplificam alguns critérios presentes dentro da literatura internacional que resultam em tal imprecisão, na qual algumas áreas úmidas já foram classificadas de acordo com a composição de sua vegetação, algumas de acordo com a combinação de solos e vegetação, e outras de acordo com o tempo de permanência da água em superfície.

Dentro da literatura nacional, Junk et al. (2014) destacam algumas dezenas de termos populares utilizados para se referir às diversas áreas úmidas presentes no território brasileiro, como: brejos, buritizais, estuários, igapós, manguezais, olho d'água, pântanos, turfeiras, várzeas, veredas, etc. Destarte, pode-se inferir que a diversidade de definições para esses

ecossistemas implica na dificuldade de se estabelecer uma conceituação precisa (IRIGARAY, 2015).

A convenção de Ramsar (1971) define as áreas úmidas como “áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa”.

Embora existam diversas definições de áreas úmidas dentro da literatura internacional, Mitsch & Gosselink (2007) ressaltam que as definições de áreas úmidas devem apresentar as seguintes características: 1. Presença de água superficial e/ou subsuperficial; 2. condições de solo que diferem das áreas adjacentes; 3. vegetação adaptada às condições úmidas (hidrófitas).

Outra definição frequentemente utilizada nos estudos de áreas úmidas refere-se à concepção de Cowardin et al. (1979), que define as áreas úmidas como “áreas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, onde a lençol freático é geralmente próximo da superfície ou a terra é coberta por águas superficiais”.

Desta forma, para este trabalho as áreas úmidas serão definidas como sistemas hidrogeomorfológicos palustres, alagados de forma periódica ou permanente, tendo sua gênese associada às inundações de cursos d’água, precipitação direta ou afloramento do lençol freático. São formadas em relevos e substratos que permitam o acúmulo de águas por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos que proporcionem a formação de espécies vegetais adaptadas a essas condições e/ou solos com características hidromórficas (TOOTH, MCCARTHY, 2007; JUNK, PIEDADE, 2015).

As áreas úmidas são um dos ecossistemas mais importantes do planeta, exercendo variados serviços, como a recarga dos aquíferos e lençol freático, possibilidade da captação de água, estocagem periódica de água em períodos de enchentes, controle de erosão, retenção de sedimentos, estabilização do microclima, regulação de ciclos biogeoquímicos e armazenamento de carbono. Além disso, possuem grande importância econômica e ecológica, servindo como base para atividades como pesca e agricultura, e desempenhando o papel de *habitat* para diversas espécies da fauna e flora, principalmente para espécies vegetais higrófilas e hidrófitas (BARBIER, 1994; SEMLITSCH & BODIE, 1998; WOODWARD, WUI, 2001; NIU et al., 2012; GUO et al., 2017; TOOTH, MCCARTHY, 2007; TOOTH, 2018).

As áreas úmidas estão em constante evolução, no qual seu processo de formação e desenvolvimento associa-se à dinâmica fluvial local. Tooth e McCarthy (2007) exemplificam que mudanças na rede de drenagem e em seus processos associados, como migração de

meandros, processos de avulsão, assoreamento e inundações, geram uma variedade de formas e processos que afetam a distribuição de água superficial e subsuperficial, assim como a distribuição de sedimentos e nutrientes para a vegetação, conseqüentemente gerando áreas úmidas com características variáveis.

Diante do contexto supramencionado, as abordagens para se compreender de áreas úmidas são complexas e variáveis, seguindo diversas metodologias e aplicadas de acordo com seus tipos, características, dimensão e distribuição. Portanto, a incorporação da visão sistêmica nos estudos sobre áreas úmidas fornece um arcabouço teórico-metodológico para entender os processos e relações espaciais que ocorrem de forma integrada na paisagem, possibilitando uma melhor compreensão desses hidrossistemas (SOTCHAVA, 1977; CASSETI, 1991; CHRISTOFOLETTI, 1999; LIMBERGER, 2006).

2.1 OCORRÊNCIA DE PEQUENAS ÁREAS ÚMIDAS

Apesar de não existir um catálogo preciso referente a distribuição de áreas úmidas dentro do país, estima-se que cerca de 20% do território nacional seja composto por áreas úmidas. No entanto, a lentidão para catalogar, formar inventários e classificar as áreas úmidas nacionais está associada à falta de interesse político, já que esses hidrossistemas não são associados a atividades com interesses econômicos. Sua abundância e dificuldade de manuseio fazem com que esses hidrossistemas sejam vistos como passíveis de supressão (JUNK et al., 2011; JUNK et al., 2014).

A falta de critérios e de definições precisas são fatores que culminam na persistência de uma dificuldade em mapear e catalogar esses hidrossistemas. Na literatura internacional é relativamente comum encontrar estudos com nomenclaturas uniformes, empregando o termo “*wetlands*” para as áreas úmidas, mesmo que abarcando diferentes tipos de hidrossistemas. Dentro do território nacional, é possível notar que existem diversas terminologias que se referem às áreas úmidas. Alguns exemplos são: veredas, buritizais, brejos, banhados, turfeiras, manguezais, nascentes difusas, olho d’água várzea, igapó e lagoas (JUNK et al., 2014).

Cerca de 90% das áreas úmidas nacionais encontram-se no interior do país. A partir disso, a distribuição heterogênea das áreas úmidas nacionais segue os padrões de precipitação, com estações secas e chuvosas bem definidas, que se distribuem de formas variadas nos diferentes biomas presentes no território brasileiro. Destaca-se que a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica recebem volumes pluviométricos bem mais acentuados do que Cerrado e Caatinga. Conseqüentemente, esses biomas abarcam áreas úmidas de maior extensão, maior cobertura vegetal e diversidade de espécies (JUNK et al., 2014).

Grande parte das áreas úmidas localizam-se em grandes planícies de inundação, associadas às grandes bacias hidrográficas brasileiras, destacando-se àquelas dos biomas Pantanal e Amazônico, resultando fundamentalmente em maiores esforços e estudos dentro da literatura nacional. (JUNK et al., 2014; BOZELLI et al., 2018).

A convenção de Ramsar foi realizada em 1971 e foi promulgada no Brasil em 1996. Os signatários assumiram o compromisso de manter as características ecológicas das áreas úmidas, seus elementos da biodiversidade e os processos que os mantêm. Assim, foram promovidas a inclusão de 27 Sítios na Lista de Ramsar (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2021) (Figura 1).

Figura 1 - Sítios Ramsar distribuídos em território brasileiro



Fonte: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Analisando a distribuição espacial dos sítios Ramsar, percebe-se como a Amazônia e Pantanal se destacam, contando com a maioria das unidades de conservação estabelecidas. Tomando como base a distribuição por estado, observa-se que quatro estão presentes no Amazonas, três no Maranhão e no Mato Grosso, dois em Pernambuco, Amapá, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, e um em Roraima, Rio Grande do Norte, Rondônia, São Paulo e Tocantins.

A delimitação de apenas dois Sítios Ramsar no estado de Minas Gerais (Parque Estadual do Rio Doce e APA Carste de Lagoa Santa/Lund-Warming) evidenciam como são pouco conhecidas as áreas úmidas locais, seja por escassez de estudos, ou pela natureza intrínseca de suas características, já que não estão associadas a grandes planícies fluviais,

mas sim à pequenos hidrossistemas vinculados à canais de primeira ordem ou cabeceiras de drenagem, que são notórios e volumosos dentro do estado.

Portanto, apesar de sua inegável relevância, é evidente que apenas a criação de Sítios Ramsar não é suficiente para garantir a proteção das áreas úmidas em âmbito nacional. Enquanto as áreas úmidas de maior destaque possuem formas de proteção e gestão mais apropriadas, por se tratarem de áreas de interesse nacional e/ou internacional, são pouco mencionadas as áreas úmidas de menor extensão, presentes em outros contextos geomorfológicos, como as cabeceiras de drenagem e porções deprimidas de encostas e vertentes, cuja formação associa-se não só à presença de águas superficiais, mas também à exfiltração do nível freático e de águas subsuperficiais.

Essas pequenas áreas úmidas frequentemente apresentam-se como mais vulneráveis à degradação, sendo ignoradas as suas funcionalidades. Além do tamanho reduzido, fatores como sua efemeridade e caráter sazonal, aliados à escassez de estudos ecológicos destinados à compreensão de seu funcionamento, também contribuem para a crescente ameaça a esses hidrossistemas (BOZELLI et al., 2018). Junk et al. (2014) destacam que as áreas úmidas presentes no sudeste, centro-oeste e no sul do Brasil são menores, devido às maiores incidências de mudanças nas formas de uso e cobertura da terra.

As áreas úmidas de menor extensão, apesar de relegadas a uma quantidade menor de destaque, também possuem relevantes funções ecológicas e ambientais. No entanto, geralmente apresentam maior sensibilidade às mudanças na paisagem, possuindo uma vida efêmera e estando interligadas a fluxos tridimensionais da paisagem.

Principalmente em épocas de secas, é comum que as áreas úmidas fiquem secas periodicamente, fazendo com que as zonas saturadas se retraiam e que o espelho d'água em superfície desapareça. Junk et al. (2014) aponta que esse fator diferencia o Brasil de países com clima frio e temperado, onde as áreas úmidas mantêm sua dinâmica relativamente estável durante todo o ano.

Outro fator relevante que resulta no descaso para a proteção desse tipo de área úmida é a sua exclusão de sua singularidade como ecossistema, sendo elas frequentemente associadas a outros ecossistemas ou *habitats* (BLACKWELL, PILGRIM, 2011).

Diante dessa problemática, esforços têm sido empregados dentro da literatura internacional para compreender as pequenas áreas úmidas e destacar sua importância. Estudos de Gibbs (1993), Semlitsch & Bodie (1998), Gallego-Fernandez et al. (1999),

Sakané et al. (2011), Mwita et al. (2013) e Bozelli et al. (2018) mostram que a temática se mostra relevante em todo o globo. Tais trabalhos destacam as importâncias biológicas e ecológicas das pequenas áreas úmidas e a dificuldade de mapeá-las e catalogá-las. Além disso, mostram como sua supressão se associa às mudanças nas paisagens, acarretadas sobretudo por fatores socioeconômicos, onde a agricultura e a urbanização se sobressaem como elementos disruptivos em sua dinâmica e gênese.

Seu mapeamento envolve, sobretudo, a utilização de levantamentos aerofotogramétricos e imagens de satélite, devido à frequente localização em áreas mais afastadas e inacessíveis. O uso de imagens aéreas multiespectrais, aliados a um conhecimento geográfico e ecológico de compreensão de áreas preferenciais ao acúmulo de água, além do reconhecimento de uma vegetação adaptada, permite o reconhecimento remoto das áreas úmidas (MWITA et al., 2013).

Uma alternativa sugerida por Cunha, Piedade e Junk (2014) seria a utilização de ferramentas complementares de geoprocessamento, como a utilização de mapeamentos de solo já existentes, onde em tese seria possível identificar a existências de solos hidromórficos.

Nas últimas décadas, houve um avanço significativo no desenvolvimento de novas técnicas de sensoriamento remoto e aerofotogrametria. O uso de sensores óticos é útil para identificar fatores como o tipo de vegetação de áreas úmidas, sua dinâmica fluvial e conectividade com a paisagem (MELACK, HESS, 2011).

No entanto, deve-se destacar a problemática referente à escala: são poucas imagens de satélite que possuem uma resolução espacial adequada para se identificar hidrossistemas em uma escala local. Desta forma, é imprescindível a escolha de materiais adequados e tratados para tal objetivo, além da validação de campo, levando-se em consideração o caráter sazonal da presença de corpo d'água em superfície, fator que dificulta o seu reconhecimento.

Além dos fatores supramencionados, problemáticas referentes às escalas temporais e espaciais são frequentes. Sahagian & Melack (1998) que os níveis de inundação e a extensão são fatores que frequentemente denotam incertezas dentro das classificações e delimitações de áreas úmidas.

O desenvolvimento de pequenas áreas úmidas em margens de córregos e canais de primeira ordem, seja em planícies ou fundos de vale, assim como a comum ocorrência de acumulação de água e exfiltração do nível freático em superfícies côncavas, sobretudo em cabeceiras de drenagem, consistem em hidrossistemas de difícil reconhecimento de

maneira remota, sobretudo ao se adotar uma escala que busque mapeamento à níveis que não sejam locais.

Além disso, a sazonalidade de algumas áreas úmidas em estações secas resulta na diminuição ou desaparecimento do espelho d'água em superfície, causando dificuldades para sua identificação e reconhecimento, seja em campo, seja por meio de imagens de satélite ou técnicas de sensoriamento remoto.

Tomando como base os estudos de Junk et al. (2010) sobre as áreas úmidas amazônicas, Cunha, Piedade e Junk (2014) indicam que a extensão de pequenas áreas úmidas pode ultrapassar consideravelmente a área total de grandes áreas úmidas. Isso se deve principalmente por não mapear as florestas sujeitas a inundações de longo prazo e alagamentos periódicos, assim como as pequenas áreas úmidas fluviais ao longo de canais de baixa ordem.

2.2 HIDROGEOMORFOLOGIA E CONECTIVIDADE EM ÁREAS ÚMIDAS

Na literatura nacional, destaca-se a proposta de um novo sistema de classificação das áreas úmidas brasileiras, proposta pelo INAU. A classificação se embasa em três níveis hierárquicos: (1) sistemas, diferenciados em áreas úmidas costeiras, interiores e antropogênicas; (2) unidades definidas por fatores hidrológicos, com ordens e subordens referentes à dinâmica hidrológica; (3) unidades definidas por plantas superiores, baseada na ocorrência de plantas superiores e na estrutura de suas comunidades (JUNK et al., 2014).

Dentro da literatura internacional, entre outras diversas classificações, destaca-se que são amplamente utilizadas classificações hidrogeomorfológicas, como as classificações elaboradas por Semeniuk, Semeniuk (1987; 1995; 2011), Brinson (1993; 2009) e Smith et al. (1995). Diante desse contexto, alguns estudos voltados ao reconhecimento e classificação de áreas úmidas realizados em contextos regionais têm seguido abordagens e classificações hidrogeomorfológicas, como Gomes (2017), Gomes & Magalhães Júnior (2018; 2020) e Guimarães & Felipe (2021).

Esse tipo de classificação tem ganhado força por trabalhar com uma ampla gama de contextos morfológicos que se apresentam na paisagem, e fundamentalmente condicionam a formação de diferentes tipos de áreas úmidas. Desta forma, permite a compreensão de processos hidrológicos e de conectividade em sua dinâmica e funcionamento (GOMES, MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

Sua utilização no presente trabalho deve-se ao padrão de relevo ondulado da região, com vertentes declivosas, solos espessos e bem desenvolvidos, modeladas por um

intemperismo de grande intensidade advindo de uma rede hidrográfica perene, com lençol freático que alimenta permanentemente a drenagem local (AB'SABER, 2003). Destarte, tal metodologia constitui-se em uma categoria de análise válida e adequada às características fisiográficas do recorte espacial para se debruçar sobre as áreas úmidas regionais.

A motivação para a elaboração deste tipo de classificação está calcada na concepção de que a geomorfologia e a topografia da paisagem influenciam em como a água circula ao longo de um fragmento da paisagem, condicionando processos de escoamento superficial e subsuperficial, exfiltração do nível freático e acúmulo de água e sedimentos em determinados locais, proporcionando a formação de solos hidromórficos. Formas de relevo planas, côncavas e convexas possuem dinâmicas hídricas, formas e processos distintos, onde um processo é predominante em relação aos outros, gerando diferentes formas de áreas úmidas (KOLPA, THOMPSON, 2006).

Em escala global, o que determina a distribuição e a abundância de áreas úmidas é o clima, resultando na ocorrência mais em regiões mais úmidas. No entanto, em escala local, a distribuição espacial associa-se às variações em solos, estratigrafia e na hidrologia, correlacionadas às formas de relevo e aos processos hidrogeomorfológicos associados (SEMENIUK, SEMENIUK, 1995).

Tooth (2007) destaca que em regiões úmidas, apesar da ocorrência de áreas úmidas em planícies e fundos de vale associados a um canal fluvial, também é comum o desenvolvimento de áreas úmidas desconexas de uma rede fluvial perene, sendo sustentadas pela exfiltração de águas subsuperficiais, por escoamento superficial e precipitações.

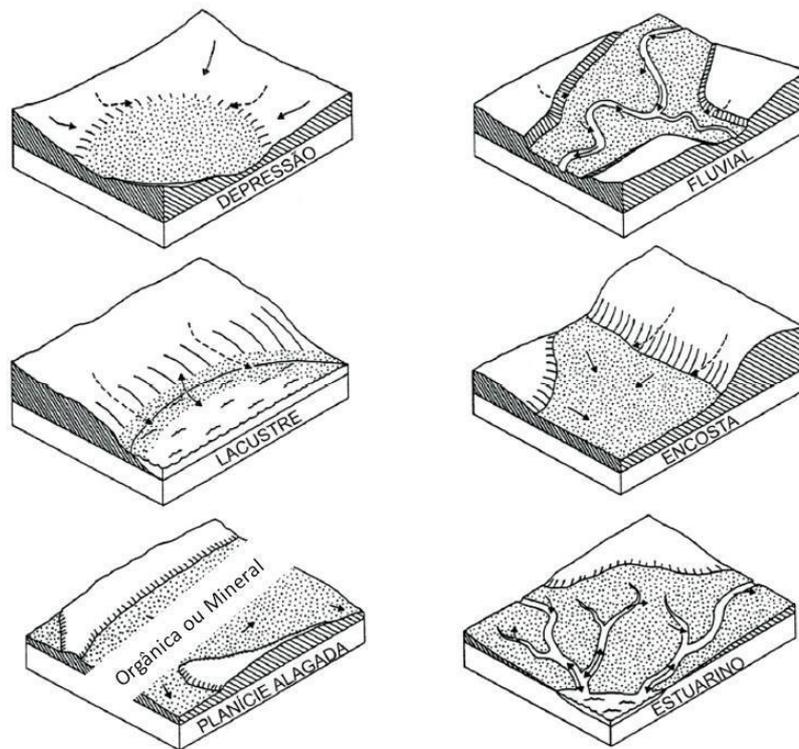
A geomorfologia da paisagem é um fator determinante na movimentação ou estagnação de água em superfície, ou sua infiltração e percolação em subsuperfície, perfazendo áreas que permitam maior acúmulo de água, como cabeceiras de drenagem, planícies de inundação e sopés de encostas. Naturalmente, superfícies côncavas proporcionam o fluxo d'água convergente e concentrado, enquanto superfícies convexas levam a um fluxo d'água divergente e difuso (GOMES, 2017).

Plenamente utilizada dentro dos estudos geomorfológicos que tangem às áreas úmidas é a classificação de Brinson (1993). Sua abordagem se embasa no contexto geomorfológico, nas fontes dominantes de entrada de água, e na hidrodinâmica local. Há enfoques em fatores abióticos, apresentando variações nos aspectos morfológicos e

hidrodinâmicos de cada categoria, sendo tal sistematização utilizada para catalogar as áreas úmidas e fornecer subsídios para instrumentos de gestão ambiental (BRINSON, 1993).

O contexto morfológico refere-se à morfologia da área úmida e sua configuração na paisagem, sendo elaboradas pelo autor sete classes: Fluvial (*Riverine*), Depressão (*Depressional*), Encosta (*Slope*), Lacustre (*Fringe Lacustrine*), Estuarino (*Fringe Estuarine*), Planície Alagada Orgânica (*Flats Organics*) e Planície Alagada Mineral (*Flats Mineral*) (BRINSON, 1993) (Figura 2).

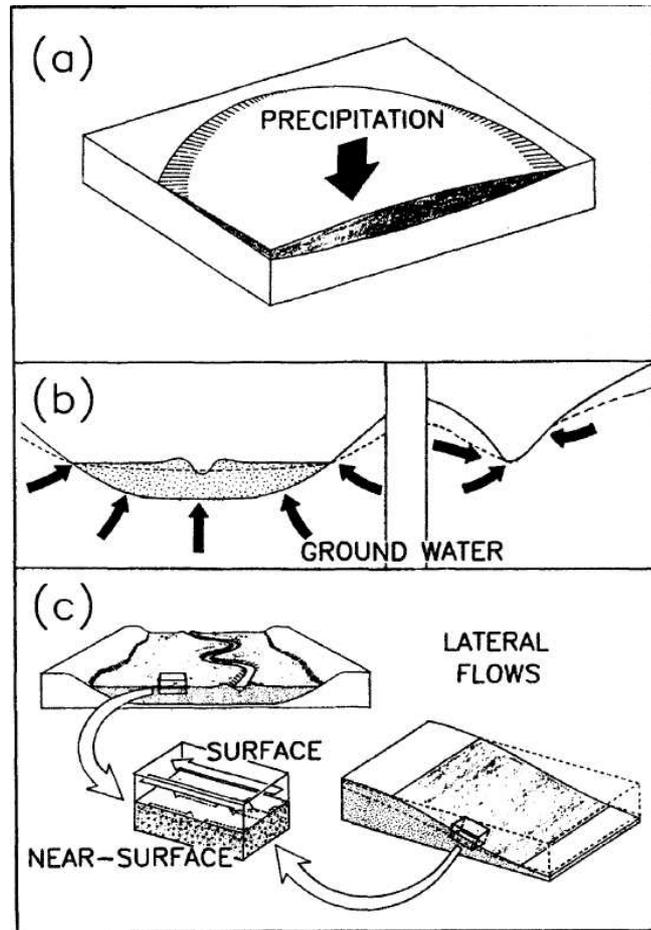
Figura 2 - Classes hidrogeomorfológicas da classificação de Brinson (1993)



Fonte: Gomes (2017).

Os principais *inputs* hidrológicos estão relacionados a três fontes de água: (i) precipitação; (ii) exfiltração de águas subsuperficiais; (iii) escoamento de águas superficiais e inundações laterais de cursos d'água. A hidrodinâmica se refere à direção do fluxo e sua intensidade, associando-se a flutuações verticais (superfície-subsuperfície), fluxos unidirecionais (canal-planície) e fluxos bidirecionais (vertente-planície) (BRINSON, 1993) (Figura 3).

Figura 3 - *Inputs* hidrológicos que embasam a classificação de Brinson (1993)



Fonte: Brinson (1993).

Portanto, a classificação hidrogeomorfológica de uma área úmida refere-se à posição geomorfológica que a área úmida ocupa na paisagem (fundos de vale, planícies de inundação ou encostas); a natureza dos fluxos hidrológicos dentro e fora dos limites da área úmida; e as formas de conectividade dos cursos de água associados adjacentes. Controles hidrológicos e geomorfológicos são amplamente responsáveis pela manutenção dos aspectos funcionais de uma área úmida (BRINSON, 1993; GRENFELL et al., 2005).

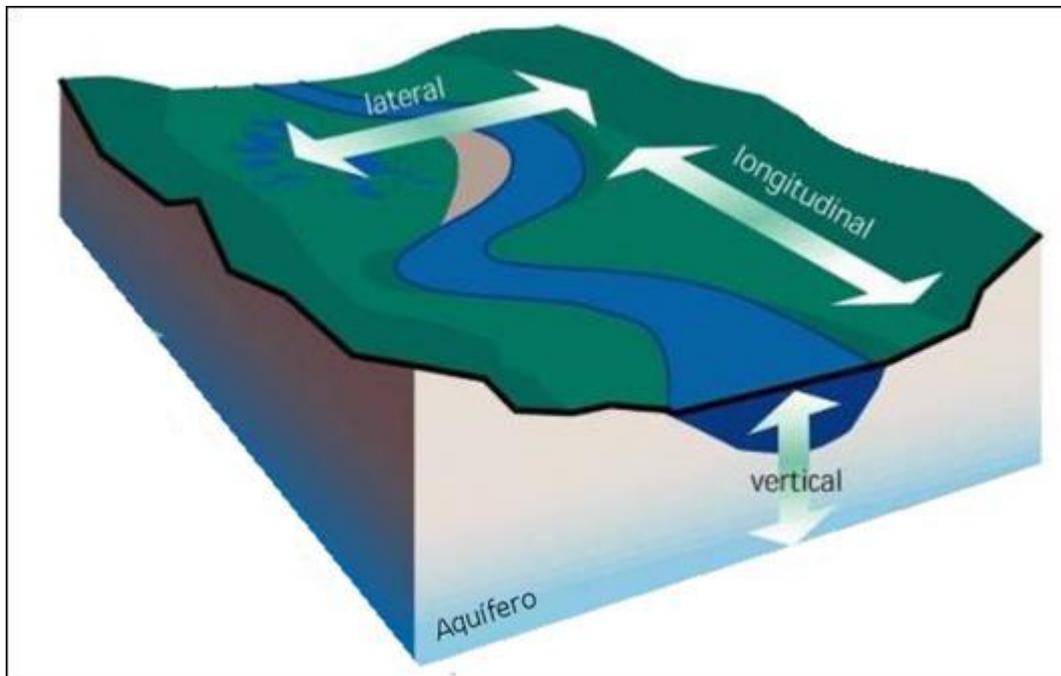
As áreas úmidas são resultantes da atuação de um conjunto de processos hidrogeomorfológicos, associados à gradientes de potencial hidráulico e a distribuição de sedimentos, que variam espacialmente e temporalmente, estão sujeitas à atuação de processos hidrogeomorfológicos e atuam ativamente nos processos longitudinais, laterais e verticais de distribuição de água e sedimentos (TOOTH, 2007; LIENBY, TOOTH, RALPH, 2019).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender a existência de uma conectividade entre os sistemas fluviais presentes em uma paisagem, que se evidenciam nos

fluxos multidimensionais de água, matéria, energia e sedimentos entre diferentes compartimentos da paisagem. Esses fluxos, que ocorrem de forma lateral, longitudinal e/ou vertical, são responsáveis por determinar a dinâmica hidrológica e sedimentológica das áreas úmidas, assim como sua resiliência (CADOL, WINE, 2017; WOHL, 2017; WOHL et al., 2017).

A conectividade hidrológica e sedimentológica lateral refere-se à interação entre vertente e canal fluvial, assim como entre canal fluvial e suas planícies. A conectividade longitudinal ocorre através das conexões montante-jusante da rede de drenagem. A conectividade vertical concerne às interações entre fluxos superficiais e subsuperficiais (FRYIRS, 2012) (Figura 4).

Figura 4 - Fluxos tridimensionais associados à conectividade hidrológica



Fonte: Simioni (2017).

O regime hidrológico de uma área úmida, através do grau de umidade e da frequência e duração da saturação dos fluxos hidrológicos, podem influenciar em suas características, como a proporção de água em superfície, a taxa de acumulação de nutrientes e sedimentos, o volume de biomassa e a quantidade de matéria orgânica (SMITH et al., 1995; GRENFELL et al., 2005).

Portanto, qualquer alteração do volume de água pode representar uma ameaça à integridade das áreas úmidas. Alterações hidrológicas, geomorfológicas e antrópicas, assim como as mudanças climáticas, são fatores responsáveis por modificar os *inputs* e *outputs* de água na paisagem, e, conseqüentemente, modificar a dinâmica hídrica das áreas úmidas. Além disso, a qualidade da água também é importante para sua manutenção e funcionamento, sendo

o aumento de nutrientes e contaminantes, a eutrofização e a invasão de espécies exóticas responsáveis por alterações a esses hidrossistemas (ZEDLER, KERCHER, 2005).

Mudanças nos processos de conectividade, geralmente provenientes de mudanças nas formas de uso e cobertura da terra, são uma consideração fundamental para a compreensão da dinâmica e sensibilidade das áreas úmidas. A sensibilidade desses hidrossistemas está intrinsecamente relacionada às mudanças nas formas de relevo e os ajustes geomorfológicos consequentes, que fundamentalmente afetam os fluxos de água e sedimentos dispostos na paisagem (LISENBY, TOOTH, RALPH, 2019).

As paisagens podem evoluir de estados iniciais semelhantes para estruturas bem diversas posteriormente, devido à sensibilidade às condições iniciais e perturbações nos sistemas geomorfológicos. Portanto, as paisagens são afetadas por características e condições pré-existentes e herdadas, onde seu desenvolvimento e evolução associam-se não apenas à energia total dentro do sistema, mas sim à sua distribuição e aos ajustes necessários para manter o seu equilíbrio (LEOPOLD, LANGBEIN, 1963; PHILIPPS, 1995).

Distúrbios de grande ou pequena escala podem ter impactos significativos na organização de um sistema, podendo atingir um ponto irrecuperável e transformar as estruturas de uma paisagem. Desta forma, a sensibilidade de uma paisagem está associada à sua resiliência, que seria sua capacidade e propensão de suportar e absorver determinadas perturbações, manter sua estrutura e produzir respostas às alterações nos seus inputs de matéria e energia (BRUNSDEN, THORNES, 1979; CHAFFIN, SCOWN, 2017).

Dentro do escopo da geomorfologia, a resiliência é tratada como a capacidade de um determinado sistema para recuperar-se de perturbações, mudando de um estado inicial em resposta às perturbações, e posteriormente retornando a esse estado anterior após um determinado intervalo de tempo (TOOTH, 2018).

A resiliência de um sistema geomorfológico está ligada à existência de limiares. Quando um sistema está sob influência de mudanças significativas, como uma inundação, seca prolongada ou incêndio, os processos associados podem dirigir o sistema para além desse limite, causando uma mudança drástica em sua estrutura e funcionamento. Todavia, se alterações subsequentes a esses processos permitam o retorno a um estado posterior à ruptura de tal limite, pode se dizer que esse sistema é resiliente. Portanto, para se estudar um sistema geomorfológico, é fundamental identificar os limiares e compreender os processos que retroalimentam tais sistemas (TOOTH, 2018).

Além da resiliência geomorfológica, deve-se atentar para sua inter-relação com as dimensões ecológicas e socioeconômicas, associadas à prestação de serviços ecossistêmicos

das áreas úmidas. O desenvolvimento desses hidrossistemas está associado à ação de água, sedimentos e atividade biótica, conduzindo a ligações estreitas entre estrutura, funcionamento e os serviços ecossistêmicos prestados (TOOTH, 2018).

Ao alterar os *inputs* e *outputs* de água e sedimentos dentro de um sistema, modificam-se as características de vegetação e solo das áreas úmidas, de forma temporária ou permanente. Respostas por parte da vegetação podem ser identificáveis em curto prazo, enquanto as características edáficas são resultantes de um longo prazo de saturação regular e prolongada (GRENFELL, ELLERY, PRESTON-WHYTE, 2005).

Portanto, reconhecer uma incompatibilidade entre essas duas características pode indicar uma possível mudança nesses sistemas, onde sua disparidade indica que a área úmida recebeu quantidades de água que não garantem a sua manutenção, tampouco permite que esse hidrossistema continue fornecendo os serviços ecossistêmicos de outrora. Sendo assim, as áreas úmidas consistem em indicadores de mudanças hidrológicas na escala de uma bacia hidrográfica (GRENFELL, ELLERY, PRESTON-WHYTE, 2005).

As mudanças acarretadas pelas variações do nível de água em superfície, assim como a saturação do solo, podem afetar a dinâmica de nutrientes presentes em uma área úmida, assim como alterar os processos biogeoquímicos associados. Processos de sedimentação, acumulação de matéria orgânica, absorção biótica e desnitrificação são potencialmente influenciados pela geomorfologia da paisagem, que atua diretamente na frequência e duração de cheias em superfície, assim como na manutenção da conectividade hidrológica. Desta forma, pode-se afirmar que processos hidrológicos orientam a determinação da ciclagem de nutrientes nas áreas úmidas, já que condições de sedimentação e concentração de nutrientes variam de acordo com a presença de água em superfície (JOHNSTON, BRIDGHAM, SCHUBAUER-BERIGAN, 2001).

Destaca-se que as estruturas da comunidade vegetal em uma área úmida estão associadas a processos físicos e químicos, onde a dinâmica fluvial e seus hidroperíodos criam mosaicos de habitats e diferentes substratos sujeitos, fornecendo nutrientes variados e promovendo assim uma elevada biodiversidade (TOOTH, 2007).

Ainda que áreas úmidas modificadas voltem a incorporar a paisagem, principalmente em meios urbanos, são comuns cenário onde esses hidrossistemas se apresentem severamente modificados, fundamentalmente buscando atender um apelo estético, onde essas áreas são transformadas em açudes ou lagos, ou para servir à uma lógica de gerenciamento de resíduos, onde essas áreas são destinadas a receber efluentes (BURGIN, FRANKLIN, HULL, 2016).

2.3 SOLOS E NUTRIENTES DAS ÁREAS ÚMIDAS

Os solos das áreas úmidas possuem propriedades físicas, químicas e morfológicas únicas, onde o acúmulo de água em determinado compartimento da paisagem proporciona o desenvolvimento, a forma e o comportamento químico dos solos, que se tornam solos hidromórficos, alterando o movimento da água e dos solutos, conseqüentemente resultando na formação de áreas úmidas (JACKSON, THOMPSON, KOLKA, 2014).

Tais solos são registros espaciais e temporais da distribuição e circulação de água na paisagem. Os fluxos de água, controlados e condicionados por condições climáticas, topográficas, e do material de origem das rochas, resultam em processos biológicos que proporcionam o desenvolvimento de uma biota adaptada (RICHARDSON, ARNDT, MONTGOMERY, 2001).

A estagnação de água proporciona o acúmulo de sedimentos e detritos orgânicos, que aliados à falta de oxigênio, proporciona condições anaeróbicas que alteram a disposição dos minerais, reduz as taxas de decomposição de matéria orgânica e modificam as condições de reações de oxidação-redução (JACKSON, THOMPSON, KOLKA, 2014; NAWAZ, BOURRIE, GUL, 2014).

Esses solos são singulares porque são anaeróbios nos seus 30 cm superiores, formados ao decorrer dos anos. As condições anaeróbicas ocorrem através de reações de oxidação-redução, que necessitam que o solo esteja saturado, tenha carbono orgânico oxidável e possua micro-organismos ativos. Esse conjunto de fatores atuam na exclusão do oxigênio atmosférico, fornecem elétrons para o processo de redução e os transferem para outros elementos (VEPRASKAS, FAULKNER, 2001).

O ar presente nos poros do solo pode ser substituído por água em condições de saturação que se prolonguem por tempo suficiente para que o oxigênio seja eliminado do solo, deixando-o sob condições de redução. Esse conjunto de fatores caracterizam-se como hidromorfismo, afetando consideravelmente características e propriedades do solo, assim como sua gênese e evolução ao longo do tempo (NAWAZ, BOURRIE, GUL, 2014).

Suas causas podem ser resultantes de condições naturais ou antrópicas, associadas principalmente à efeitos diretos e/ou indiretos de precipitações e de seus processos correlatos, como a saturação da superfície e ascensão do nível freático, que podem ser intensificados pelas formas de uso e cobertura da terra em seus arredores (NAWAZ, BOURRIE, GUL, 2014).

Kolka e Jackson (2006) acrescentam que, fundamentalmente, o movimento da água sobre o solo resulta em três processos: a adição ou remoção de nutrientes, através de processos erosivos ou deposicionais; alteração de materiais, por meio da decomposição da matéria

orgânica; a redistribuição de materiais dentro do perfil, como a acumulação de argila em camadas subsuperficiais.

As atividades biogeoquímicas ocorrem no solo, onde plantas, animais e microrganismo interagem com o ciclo hidrológico. Fatores como textura, densidade e porosidade afetam a distribuição e armazenamento de água dentro desses hidrossistemas. Os solos de áreas úmidas tipicamente contêm materiais minerais e orgânicos, assim como espaços porosos preenchidos por água e ar. As reações biogeoquímicas ocorrem nesses espaços porosos, normalmente associados à solos com maior teor de argilas, já que a porosidade menor (comparados a solos arenosos) proporcionada por seus diâmetros menores possibilitam uma compactação maior, assim como uma maior porosidade e maior retenção de água e nutrientes (KOLKA, JACKSON, 2006).

Assim como as propriedades físicas e químicas do solo influenciam nos processos de formação de áreas úmidas, o inverso também é verdadeiro, especialmente quanto à coloração do solo, onde óxidos de ferro e matéria orgânica são os principais elementos atuantes. Usualmente, os solos possuem uma coloração vermelho-amarelo devido ao acúmulo de óxidos de ferro. No entanto, em áreas úmidas, costuma-se verificar uma coloração acinzentada graças à retirada à redução dos óxidos de ferro, que se tornam solúveis a partir das condições saturadas e anaeróbicas características de solos encharcados. Soma-se a isso a presença abundante de minerais de aluminossilicatos, que variam entre cores brancas e cinzas (KOLKA, JACKSON, 2006).

Já o acúmulo de matéria orgânica em áreas encharcadas, quando presente, pode acrescentar tons mais escuros ao solo. As condições anaeróbicas e a saturação prolongada aumentam o tempo de decomposição da matéria orgânica, levando à sua acumulação no solo. Desta forma, o húmus promove agregação e estabilidade estrutural, aumentando a porosidade e densidade aparente do solo, acarretando no aumento das taxas de infiltração e percolação. Além disso, sua presença garante quantidade significativa de nutrientes para as plantas, que mesmo inicialmente de forma indisponível, podem se tornar disponíveis posteriormente durante sua decomposição (KOLKA, JACKSON, 2006).

Kingsford, Basset, Jackson (2016) salientam que os ciclos hidrológicos também possuem importância para o fornecimento de nutrientes. Fluxos subsuperficiais e escoamentos superficiais alimentam as áreas úmidas, enquanto a evaporação resulta na concentração de nutrientes e sais. Aliado a isso, o aumento das temperaturas e da luminosidade no verão proporciona condições favoráveis para o crescimento de algas e espécies vegetais.

A orientação geomorfológica da área úmida na paisagem tende a influenciar na

quantidade e qualidade dos escoamentos superficiais e subsuperficiais de água na paisagem, proporcionando níveis distintos de acidez, e conseqüentemente de nutrientes. Portanto, o equilíbrio entre a posição na paisagem e geologia local criam gradientes hidrológicos e geoquímicos que estão correlacionados à distribuição de comunidades vegetais em áreas úmidas. (CRONK, FENESSY, 2016).

Exemplificando a situação supramencionada, Jackson, Thompson, Kolka (2014) e Kolka, Jackson (2006) apontam que as áreas úmidas alimentadas por águas subsuperficiais costumam ser menos ácidas que áreas úmidas abastecidas por precipitação. Tais fontes de água são fontes de cátions não ácidos, onde processos de lixiviação e absorção pelas plantas atuam na remoção de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e concentram cátions ácidos (H^+ , Al^{3+}) nos processos de trocas catiônicas.

Da mesma forma, Dvoretz et al. (2011) destacam que áreas úmidas alimentadas pela precipitação costumam ter menores cargas de sedimentos e nutrientes do que áreas úmidas de planícies fluviais, abastecidas principalmente por fluxos laterais advindos de cursos d'água. A diferença consiste no fato de que a água proveniente de cursos d'água percorreu uma trajetória maior, conseqüentemente possuindo um maior potencial de transportar nutrientes e sedimentos.

Quanto aos nutrientes, sua disponibilidade em áreas úmidas é determinada pelas características dos sedimentos e materiais dispostos nas bacias hidrográficas, como a composição mineral das rochas e solos, que por sua vez controlam sua dinâmica hidrológica e a química das águas, proporcionando a formação de tipos específicos de áreas úmidas (CRONK, FENESSY, 2016).

Quando os solos estão saturados, os micro-organismos anaeróbicos do solo deixam de utilizar o oxigênio durante a respiração, devido à completa redução de O_2 disponível. Para sobreviverem, utilizam nitratos (NO_3^-), manganês (Mn^{4+}), ferro oxidado (Fe^{3+}), sulfatos (SO_4^{2-}) e dióxido de carbono (CO_2) (CRAFT, 2001; CRONK, FENESSY, 2016). Caso a ausência de O_2 persista durante muito tempo, existe a possibilidade de ocorrência de gases traços no solo, como gás metano (CH_4), sulfeto de hidrogênio (H_2S), óxido nitroso (N_2O), gás etileno (C_2H_4) e hidrogênio (H_2) (NAWAZ, BOURRIE, GUL, 2014).

Outro fator que afeta a disponibilidade de nutrientes são as reações de oxidação-redução, que afetam diretamente ou indiretamente nutrientes essenciais à comunidade vegetal, como Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg) e Cálcio (Ca). Tais elementos não são reduzidos, mas a redução de outros elementos pode alterar sua disponibilidade, como Nitrogênio (N), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Enxofre (S) e Carbono (C), que são encontrados de formas reduzidas em solos anaeróbicos, criando habitats “tóxicos” para o desenvolvimento de algumas

comunidades vegetais, prevalecendo assim espécies adaptadas às condições anaeróbicas e a falta de oxigênio (CRONK, FENNESSY, 2016).

Portanto, as reações de oxidação-redução em solos hidromórficos afetam amplamente a disponibilidade de nutrientes e dissolução de minerais, assim como a lixiviação de metais para a solução do solo. Seus processos são associados pela quantidade de oxigênio no solo, assim como a concentração de matéria orgânica e micro-organismos (NAWAZ, BOURRIE, GUL, 2014). Além disso, afetam também a coloração do solo, proporcionando o acúmulo de carbono orgânico e a concentração/remoção de óxidos de ferro (Fe) e Manganês (Mn) do solo (VEPRASKAS, FAULKNER, 2001).

Cabe destacar que a correlação entre mais nutrientes disponíveis no solo e maior número de espécies vegetais é inversamente proporcional. Zedler (2000), Verhoeven (2006) e Cronk & Fennessy (2016) mostram que a riqueza de espécies vegetais costuma ser mais elevada onde o fornecimento de nutrientes é baixo. A concentração elevada de íons como Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4 , HCO_3^- , Cl^- e Na^+ proporcionam condições onde apenas determinadas espécies conseguem se adaptar para sobreviver.

Tal cenário se acentuou ao longo do século passado em muitas partes do mundo, principalmente com o desenvolvimento agrícola e urbano, que resultou na destruição e modificação de diversas áreas úmidas ao redor do globo (KINGSFORD, BASSET, JACKSON, 2016). Em áreas de agricultura intensiva, com uso de fertilizantes e outros contaminantes, é comum verificar que grandes quantidades de fósforo (P) e nitrogênio (N) são transportadas por escoamento superficial ou lixiviadas para águas subsuperficiais, que posteriormente exfiltram para áreas úmidas e outros hidrossistemas (VERHOEVEN, 2006).

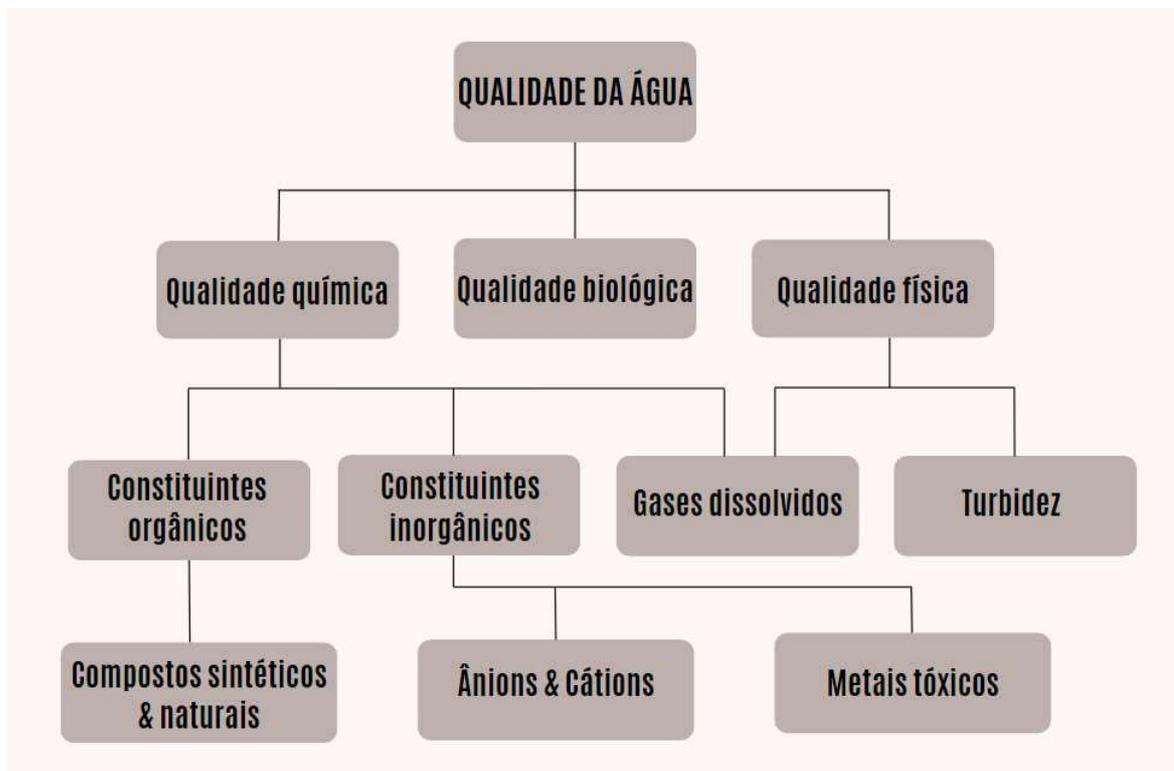
Destaca-se dentro da literatura internacional a ciclagem de nutrientes pelas áreas úmidas como um serviço ecossistêmico de enorme importância. São inúmeros estudos que descrevem as áreas úmidas como um “filtro” natural da paisagem, tratando principalmente da sua capacidade de retenção e remoção de carbono, nitrogênio e fósforo, sendo comum a construção de áreas úmidas artificiais com esse objetivo (NICHOLS, 1983; HOWARD-WILLIAMS, 1985; BEDFORD et al. 1999; VENTERINK, 2002; FISHER, ACREMAN, 2004; VERHOEVEN, 2006).

Diante dos argumentos destacados nesta subseção, percebe-se a importância desses hidrossistemas dentro da paisagem, constituindo-se em elementos vitais para a manutenção da integridade ecossistêmica local. Alterações que ultrapassem seu limiar de resiliência podem gerar consequências em âmbitos sociais e ecológicos.

2.4 QUALIDADE DA ÁGUA NAS ÁREAS ÚMIDAS

A composição química, a qualidade da água e sua distribuição, seja superficial ou subsuperficial, estão relacionadas às características climáticas, litológicas e pedológicas da paisagem, assim como condições antrópicas que alteram as formas de uso e cobertura da terra. Suas características já começam a ser moldadas quando estão trafegando pela atmosfera, absorvendo partículas sólidas e gases em sua composição. Portanto, esses fatores condicionam a profundidade de circulação, percolação, lixiviação, reações de adsorção e acúmulo de água, assim como os nutrientes presentes em sua composição (REBOUÇAS et al., 2002; RESENDE, 2002) (Figura 5).

Figura 5 - Componentes que alteram a qualidade da água



Fonte: Adaptado de Rebouças et al. (2002).

Destaca-se, portanto, que a composição da água é fortemente influenciada pelas interações com os minerais da rocha matriz. Em rochas graníticas e gnáissicas, características da região de estudo, Bertolo et al. (2007) apontam que o principal fator que influencia na composição das águas é o intemperismo de minerais aluminossilicatos dos granitos, xistos e gnáisses.

Os solos espessos e bem desenvolvidos, típicos do domínio morfoclimático de Mares de Morros (AB'SABER, 2003), são resultantes de processos de intemperismo intensos. Desta forma, os solos afetam diretamente o tempo de circulação da água subterrânea no solo, e,

consequentemente, em suas características. De forma geral, águas que ficam armazenadas em camadas mais profundas apresentam pH mais elevado, assim como maiores quantidades de sólidos dissolvidos, resultantes da dissolução de minerais, perda de acidez através das reações de intemperismo químico e da formação de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (BERTOLO et al., 2007). As águas subsuperficiais, que possuem contato mais duradouro com a rocha matriz e com o solo, geralmente possuem maior concentração de minerais, com muito dióxido de carbono e pouco oxigênio dissolvido (BOYD, 2019).

No entanto, a qualidade das águas apresenta-se cada vez mais alterada, devido à fatores como industrialização, urbanização e aumento populacional, que nos centros urbanos normalmente estão associados ao despejo de efluentes em cursos d'água e à degradação ou aterramento de hidrossistemas, como nascentes e áreas úmidas. Além disso, em zonas rurais ou periurbanas, áreas de desenvolvimento agrícola frequentemente utilizam insumos químicos e fertilizantes inorgânicos, que atuam para a degradação da qualidade das águas (RESENDE, 2002; TYAGI et al., 2013).

É comum encontrar uma diversa gama de nutrientes na composição das águas. Contudo, o excesso de alguns deles resulta na contaminação dos corpos d'água. Destaca-se principalmente que a presença excessiva de nitrogênio (N), seja na forma de amônia (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), e de fósforo (P), são as principais causas de contaminação das águas (RESENDE, 2002). A adição de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N) e/ou fósforo (P), seja pelo despejo de efluentes domésticos, como pela lixiviação de áreas agrícolas, resulta na eutrofização de corpos d'água, (BOYD, 2019).

As entradas de nitrogênio dentro de ecossistemas aquáticos são variadas, sendo possível destacar a precipitação, já que 78% da atmosfera é composta por nitrogênio, o escoamento superficial e subsuperficial de águas contendo poluentes e altas quantidades de nitrogênio em sua composição, e a adição intencional, como é feito em aquacultura (BOYD, 2019). Desta forma, a presença excessiva de nitrogênio na composição das águas, principalmente na forma de nitrato, indica a contaminação por águas servidas ou fertilizantes (BERTOLO et al., 2007; BOYD, 2019).

O fósforo (P), por sua vez, tem sua importância por ser um nutriente que limita a atividade de micro-organismos e o desenvolvimento de espécies vegetais. Estão presentes naturalmente em vários tipos de solos e rochas, e nas águas aparecem principalmente na forma de ortofosfato, mas não exclusivamente. Os fosfatos normalmente se associam aos sedimentos e à minerais de ferro, alumínio e cálcio, por meio de adsorção, que ao serem solubilizados, liberam fosfatos para as águas. Assim como o nitrogênio, são amplamente utilizados na

agricultura, e sua concentração excessiva nas águas caracteriza sua degradação (BOYD, 2019).

Destaca-se dentro da literatura internacional uma quantidade expressiva de trabalhos abordando o papel de áreas úmidas como filtro para poluentes, principalmente para remoção de nitrogênio e fósforo, sendo comum a construção de áreas úmidas artificiais para esse fim (NICHOLS, 1983; HOWARD-WILLIAMS, 1985; BEDFORD et al., 1999; VENTERINK et al., 2002; FISHER, ACREMAN, 2004; VERHOEVEN et al., 2006).

Para mensurar a qualidade da água, pode-se medir parâmetros como pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), fósforo (P), nitrogênio (N), oxigênio dissolvido, turbidez e potencial de oxi-redução. Para sintetizar a importância de cada um desses parâmetros, elaborou-se um quadro síntese (Quadro 1).

Quadro 1 - Quadro síntese com a importância de cada parâmetro para determinar a qualidade da água

Parâmetros	Importância
pH	O pH representa a concentração de íons hidrogênio na água, variando entre 0 e 14, tendo como objetivo indicar as condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Quanto menor o seu valor, mais a acidez e corrosividade da água. O pH tem efeitos sobre a fisiologia de espécies aquáticas, exercendo efeitos sobre a solubilidade de nutrientes. Sólidos e gases dissolvidos na água alteram o pH, atuando sobre a atividade fotossintética e nas concentrações de carbono e oxigênio. Sua origem pode ser natural, através da dissolução de rochas e oxidação de matéria orgânica, ou de origem antropogênica, através de despejos domésticos e industriais.
Condutividade elétrica	A condutividade elétrica está relacionada à capacidade da água conduzir corrente elétrica. Apresenta correlação com parâmetros como temperatura, pH, alcalinidade, dureza, sólidos totais dissolvidos, demanda química de oxigênio e ferro. Tais parâmetros associam-se com a composição geoquímica das rochas em que as águas correm, e conseqüentemente com os íons dissolvidos. Esse parâmetro representa uma medida indireta da concentração de poluentes.
Sólidos totais dissolvidos (STD)	Os sólidos dissolvidos correspondem aos resíduos que permanecem na água após processos de evaporação, secagem ou calcinação em uma amostra. Essas filtragens são feitas com o objetivo de identificar as formas dos sólidos: suspensos, voláteis ou dissolvidos. A concentração de TDS pode ser condicionada por fatores como a presença de fertilizantes na água, que podem adicionar uma variedade de íons ao recurso hídrico, afetando sua composição biótica.
Fósforo	O fósforo é essencial para o desenvolvimento de comunidades vegetais aquáticas. No entanto, sua presença excessiva pode resultar em processos de eutrofização.

	<p>As fontes de fósforo em corpos d'água podem ser naturais ou antrópicas, consistindo principalmente em despejos domésticos e industriais, excrementos de animais, fertilizantes e substâncias químicas em geral.</p> <p>O fósforo na água apresenta-se em diferentes formas de fosfato (PO₄), orgânico ou inorgânico, destacando-se principalmente o ortofosfato, que estão diretamente disponíveis para uso dos metabolismos biológicos.</p>
Nitrogênio	<p>O nitrogênio pode ser encontrado em corpos d'água sob as formas: (a) molecular (N₂), (b) orgânica (dissolvido e em suspensão); (c) amônia, (d) nitrito (NO₂-); (e) nitrato (NO₃-).</p> <p>A presença de amônia indica poluição recente, sendo gerada por bactérias heterotróficas após a decomposição de matéria orgânica.</p> <p>Posteriormente, processos de nitrificação resultam na formação de nitratos, indicando sua presença na água por intervalos de tempo maiores.</p> <p>A presença de nitrogênio na água está associada principalmente ao lançamento de esgotos domésticos, industriais e de fertilizantes. Em concentrações excessivas, pode-se tornar nocivo às comunidades vegetais por desencadear o processo de eutrofização.</p>
Turbidez	<p>A turbidez representa o grau de interferência na passagem de luz através da água, dando-lhe uma aparência turva. Está associada a sólidos em suspensão, advindo de partículas inorgânicas (areia, silte, argila), detritos orgânicos ou despejos industriais ou domésticos.</p>
Temperatura	<p>O uso da temperatura como um parâmetro de qualidade da água refere-se à medição da intensidade de calor. A temperatura controla taxas de reações químicas e biológicas, assim como a solubilidade de gases e a reprodução/crescimento da biota local.</p>
Oxigênio Dissolvido	<p>É necessário para manter condições de oxidação e é um elétron utilizado na respiração de organismos aeróbios. Ele é difuso em água através da atmosfera ou fotossíntese de plantas aquáticas.</p> <p>Sua concentração pode variar de acordo com a temperatura, salinidade da água e da quantidade de matéria orgânica.</p>
Potencial de oxidação-redução	<p>Indica a capacidade oxidante (capacidade de aceitar elétrons) ou redutora da solução (capacidade de doar elétrons), sendo influenciada por fatores como íons metálicos e oxigênio dissolvido em solução. Indica possível contaminação, principalmente por efluentes.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor com informações de Von Sperling (1996), Bhatia, Jain (2016), Cetesb (2017) e Boyd (2019).

3 ÁREAS ÚMIDAS NA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O tipo de proteção concedido pela convenção de Ramsar não se estende para a absoluta maioria das áreas úmidas em território nacional. Irigaray (2015) aponta que também é necessário que a legislação federal abarque medidas para assegurar a proteção desses hidrossistemas não contemplados pela convenção de Ramsar.

Diegues (1994) aponta que existem outros tratados internacionais assinados pelo país que tangenciam a proteção de áreas úmidas, seja de maneira direta ou indireta, destacando-se principalmente:

- 1974: Programa Homem e Biosfera (Man and Biosphere – MaB) da UNESCO, sendo criada nesse ano a Comissão Brasileira do Programa Homem e Biosfera – COBRAMAB;
- 1977: Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil por Danos Causados por Poluição por Petróleo;
- 1982: Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar;
- 1987: Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural;

Em relação aos corpos hídricos presentes em território brasileiro, de forma geral, um dos principais mecanismos que abordou a temática foi o Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934). No que se refere às áreas úmidas, mesmo que de forma indireta, elas poderiam estar enquadradas nos “ambientes de águas paradas e áreas pantanosas”. No entanto, em seu artigo 113, consta que: “os terrenos pantanosos, quando, declarada sua insalubridade, não forem dessecados pelos seus proprietários, ser-lo-ão pela administração, conforme a maior ou menor relevância do caso” (SERAFINI, 2007; SILVA et al., 2021).

Serafini (2007) e Silva et al. (2021) argumentam que tais condições de insalubridade supramencionadas não são destrinchadas de forma explícita. Esse fator, combinado com a visão de que as áreas úmidas consistem em ambientes insalubres e sem importância, evidenciam como a drenagem e a supressão de áreas úmidas são historicamente recorrentes. Além disso, Serafini (2007) aponta outra problemática do artigo supramencionado: sua contradição com as normas de uso e manutenção de processos ecológicos previstas pela convenção de Ramsar, assim como por outros mecanismos da legislação ambiental que viriam a ser criados futuramente, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento

de Recursos Hídricos (SNGRH).

Posteriormente, na década de 1970, foram colocados em vigência dois programas relevantes para áreas úmidas litorâneas: Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e Programa Setorial de Recursos do Mar (PSRM). Tais programas tinham como objetivo promover o uso racional de recursos hídricos em ambientes como dunas, restingas e praias. Posteriormente, esses programas foram transferidos para o IBAMA, criado em 1989.

Outro dispositivo de cunho ambiental que trata de proteção ambiental, mas sem citar áreas úmidas diretamente, é a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) (Lei Federal nº 6.938/1981), que tem como objetivo “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida [...]”, buscando a proteção dos ecossistemas e fiscalizando o uso dos recursos ambientais (BRASIL, 1981).

Dentro das políticas do PNMA, foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que decretou a necessidade de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para realização de empreendimentos potencialmente nocivos às áreas úmidas, onde a execução de obras visam barramentos, trabalhos de drenagem, aterramento e canalização de cursos d’água (DIEGUES, 1994).

Posteriormente, foi aprovada a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/1997), que ficou conhecida como Lei de Águas. Esta lei aprofundou alguns tópicos do Código de Águas (1934) e é integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Suas propostas fundamentam-se na ideia de que a água é um bem de domínio público, assim como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, tendo como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997). As bases para as propostas de manejo, com a integração e adequação de sua gestão “às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País” (BRASIL, 1997), podem ser de grande relevância para as áreas úmidas.

Um dos instrumentos abarcados por essa lei é o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que consiste em ações voltadas para gestão de recursos hídricos dentro do território nacional. Entre essas ações, destacam-se duas que se relacionam mais diretamente com a proteção de áreas úmidas: o Programa IX (Gestão de Recursos Hídricos Integrada ao Gerenciamento Costeiro) e o Programa XI (Conservação das Águas do Pantanal) (CUNHA, PIEDADE, JUNK, 2015).

Mesmo abordando as áreas úmidas de formas indiretas, vale mencionar algumas

políticas, como: Política Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC (1988), Política Nacional da Educação Ambiental – PNEA (1999), Política Nacional da Biodiversidade – PNBio (2002), Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas – PNAP (2006) (GOMES, 2017).

Outro ponto de destaque relevante para a proteção de áreas úmidas são as propostas de áreas de preservação permanente (APP), regulamentadas pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), através das resoluções CONAMA 302 e 303, convenientemente regulamentando os artigos, 2º e 3º do Código Florestal antigo (Lei nº 4.771/1965) no que concerne às Áreas de Preservação Permanente (BRASIL, 2002).

A resolução 302 tratava de áreas localizadas no entorno de reservatórios artificiais, enquanto a resolução 303 complementou o rol de proteção introduzindo medidas de proteção ao entorno de lagoas naturais, nascentes, veredas e faixas marginais de cursos d'água (SERAFINI, 2007).

Silva et al. (2021) apontam outras duas resoluções diretamente associadas às áreas úmidas. A Resolução nº 341/2003, atualmente revogada, buscava a caracterização de atividades, empreendimentos e ocupação em zonas costeiras. Já a resolução 357/05, posteriormente alterada pelas resoluções Conama nº 393/2007, nº 397/2008, nº 410/2009 e nº 430/2011, teve como objetivo dispor sobre: “a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes” (BRASIL, 2003).

Em 2003 houve a fundação de um colegiado especializado em áreas úmidas, denominado Comitê Nacional de Zonas Úmidas (CNZU), com o objetivo de tomar decisões e definir diretrizes para a implementação de sítios Ramsar no Brasil. Em 2019, esse comitê passou por mudanças, sendo extinto em 11 de abril de 2019, e posteriormente instituído novamente em 28 de novembro de 2019. Entre suas competências, destaca-se a contribuição para elaboração de plano nacional de conservação e uso sustentável de zonas úmidas, assim como a avaliação da fundação de novos sítios Ramsar (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DE CLIMA, 2021).

Em 25 de maio de 2012 foi promulgada a lei denominada popularmente como novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), revogando o Código Florestal Brasileiro de 1965. Alvo de muitas polêmicas e discussões dentro da literatura nacional especializada sobre áreas úmidas, indiscutivelmente o novo Código Florestal Brasileiro apresentou retrocessos em relação ao seu antecessor.

O primeiro ponto alvo de críticas foi a definição aplicada. Sua definição para as áreas

úmidas consiste em: “áreas de pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação”.

Percebe-se que as definições propostas pela legislação ambiental vigente não são condizentes com o que foi formulado na convenção de Ramsar, apesar de não excluir nenhum dos tópicos mencionados. Além disso, a definição é pouco clara no que consiste uma “superfície coberta de forma periódica por águas”, não discorrendo se tais superfícies seriam referentes à olhos d’água, veredas, restingas, entre outros (GOMES, 2017).

Cabe destacar que as áreas úmidas não são mencionadas de maneira individualizada na Lei 12.651/2012. As poucas diretrizes referentes à sua proteção constam no Art. 6, em que:

“Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, as áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação destinadas a uma ou mais das seguintes finalidades:

(...)

IX - Proteger áreas úmidas, especialmente as de importância internacional.”

Embora não reserve exclusivamente às áreas úmidas de importância internacional a declaração de interesse para a sua proteção por APP, esta diretriz associa-se à proteção prevista pela Convenção de Ramsar, que define as áreas úmidas de importância internacional, instituindo-as como Unidades de Conservação.

A manutenção dessas áreas úmidas apresenta-se ameaçada pela mudança nas formas de delimitação das APP de curso d’água. No Código Florestal Brasileiro de 1965, consta que: “Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural, situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto...”, enquanto que no Novo Código Florestal Brasileiro foi definido como nível do rio para efeitos de criação de APP ciliar a faixa marginal ao longo de qualquer curso d’água desde a borda da calha do leito regular (PIEDADE et al., 2012; CUNHA, PIEDADE, JUNK, 2014; IRIGARAY, 2015).

Ao tomar-se como base os grandes rios brasileiros e suas planícies, obviamente grande parte das áreas úmidas marginais ficam desprotegidas, já que em épocas de cheia os níveis d’água sobem drasticamente. Cunha, Piedade e Junk (2014) e Junk et al. (2014) destacam exemplos de três biomas: Amazônia, onde a amplitude entre altos e baixos de inundação ultrapassam dezenas de metros; o Pantanal, que possui áreas como a Ilha do Bananal, onde cerca de 90% da área periodicamente alagada ficará sem proteção legal; e o Cerrado, onde cabeceiras de drenagem e canais de primeira ordem podem desaparecer em épocas mais secas.

Outro fator que pode acarretar na diminuição da proteção de áreas úmidas é a permissividade de cultivo em seus limites, como disposto no Artigo 4º, § 5º:

“É admitido, para a pequena propriedade ou posse rural familiar, de que trata o inciso V do art. 3º desta Lei, o plantio de culturas temporárias e sazonais de vazante de ciclo curto na faixa de terra que fica exposta no período de vazante dos rios ou lagos, desde que não implique supressão de novas áreas de vegetação nativa, seja conservada a qualidade da água e do solo e seja protegida a fauna silvestre”.

Irigaray (2015) aponta que foi elaborado um dispositivo de “compensação” para o artigo disposto acima. No Artigo 10 consta que:

“Nos pantanais e planícies pantaneiras, é permitida a exploração ecologicamente sustentável, devendo-se considerar as recomendações técnicas dos órgãos oficiais de pesquisa, ficando novas supressões de vegetação nativa para uso alternativo do solo condicionadas à autorização do órgão estadual do meio ambiente, com base nessas recomendações”.

Ainda para o autor, essa norma não tem o alcance necessário para proteger as áreas úmidas, principalmente pela falta de interesse político e a ausência de recomendações técnicas e de uma sistematização de pesquisas para embasar os órgãos estaduais competentes (IRIGARAY, 2015).

A utilização de uma definição simples e genérica de áreas úmidas pelo Novo Código Florestal Brasileiro não dialoga diretamente com a definição utilizada pela convenção de Ramsar, tampouco com as definições sugeridas pelo INAU ou pela literatura nacional e internacional especializada. Segundo esse dispositivo da legislação, as áreas úmidas são definidas como: “pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação”. Fundamentalmente, fica-se pouco claro sobre o que é uma área úmida ou não, excluindo-se assim um conjunto de hidrossistemas que potencialmente poderiam ser protegidos.

Outra problemática que merece destaque é a não contemplação de nascentes intermitentes e faixas marginais de cursos d’água efêmeros como áreas de proteção ambiental (APP). A conectividade entre cabeceiras de drenagem, nascentes, canais de primeira ordem e áreas úmidas se faz presente na paisagem, onde esses hidrossistemas se retroalimentam através de fluxos longitudinais, laterais e verticais. Portanto, a ausência de proteção em nascentes e canais fluviais efêmeros podem resultar diretamente na degradação de áreas úmidas.

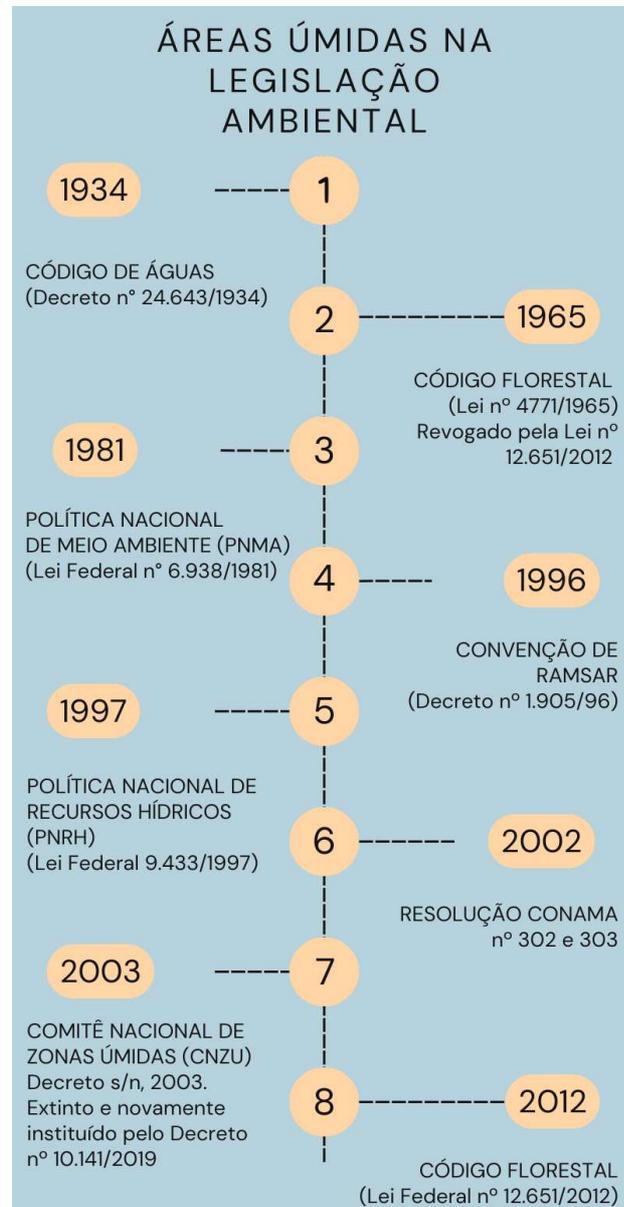
Percebe-se que o atual estado da legislação ambiental brasileira reduziu a proteção das áreas úmidas, sendo contempladas com diretrizes de proteção mais rígidas àquelas de importância internacional. Desta forma, ficam desprotegidas as áreas úmidas presentes em

outros contextos geomorfológicos, como as cabeceiras de drenagem e porções deprimidas de encostas e vertentes, cuja formação associa-se não só à presença de águas superficiais, mas também à exfiltração do nível freático e de águas subsuperficiais.

Conclui-se que grande parte da problemática consiste na ineficácia nas formas de delimitação das áreas úmidas e dos limites das APPs. Dentro da literatura nacional, é consenso que essas APPs deveriam ser demarcadas a partir do nível mais alto das cheias nas áreas úmidas, sejam elas inundadas periodicamente ou permanentemente (PIEDADE et al. 2012; CUNHA, PIEDADE, JUNK, 2014). Além disso, em situações onde não há um espelho d'água visível, deve-se adotar a sugestão de Cunha, Piedade e Junk (2014), cuja delimitação deverá se estender até onde existam solos hidromórficos ou uma vegetação higrófila/hidrófita adaptada às condições de saturação.

Em síntese, foi elaborada uma linha do tempo contemplando os principais marcos para a proteção de áreas úmidas em âmbito nacional, com medidas de proteção que, diretamente ou indiretamente, tocam em aspectos que auxiliam na proteção desses hidrossistemas (Figura 6).

Figura 6 - Linha do tempo com a evolução dos principais mecanismos para a proteção de áreas úmidas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Juiz de Fora está localizada na porção sudeste do estado de Minas Gerais. O crescimento da cidade remonta às atividades econômicas introduzidas no estado, destacando-se o ciclo do ouro, no século XVIII, e a economia cafeeira, no século XIX. Destaca-se que os lucros proporcionados pela cafeicultura proporcionaram investimentos em infraestrutura e na ampliação de rodovias e ferrovias para circulação da produção, fornecendo as bases para o desenvolvimento da estrutura urbana de Juiz de Fora (CHAVES, 2011).

A localização estratégica da cidade, entre as capitais São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, concedeu-lhe uma importância comercial e logística, transformando-a em capital regional. Pode-se afirmar que a partir da segunda metade do século XIX, Juiz de Fora consolidou-se como polo urbano-industrial, sendo uma referência na distribuição de bens e serviços para municípios próximos. Sua relevância como centro urbano e seu *status* como capital regional se mantiveram no século XXI, e a Zona da Mata tornou-se Região Geográfica Intermediária de Juiz de Fora na regionalização feita pelo IBGE, em 2017 (IBGE, 2017; BARROS, 2021).

Principalmente a partir dos anos 1970, o processo de urbanização no município de Juiz de Fora - MG se acentua drasticamente, marcando uma transformação extensa e profunda no espaço urbano, fundamentalmente reorganizando o território, assim como a relação entre campo e cidade, acarretando no aumento de grandes aglomerações, mas também de cidades médias e de suas respectivas populações (SANTOS, 2005).

De forma geral, os municípios brasileiros com população entre 200.000 e 500.000 habitantes aumentaram vertiginosamente, em um processo de urbanização concentrada que resultou na multiplicação de cidades de tamanho intermediário (SANTOS, 2005). O município de Juiz de Fora - MG também se inclui dentro desse rol, compondo um seleto grupo de cidades brasileiras que possuem mais de 500 mil habitantes (SOUZA, CASSAB, 2020) (Quadro 2).

Quadro 2 - População total de Juiz de Fora

Ano	Total	Urbana (%)	Rural (%)
1970	238.510	92,40	7,60
1980	307.525	98,10	1,90
1991	385.996	98,51	1,49
1996	424.479	98,76	1,24
2000	456.796	99,17	0,83
2002*	471.693	-	-
2005*	501.153	-	-
2006*	509.125	-	-
2010	516.247	98,90	1,13
2012*	525.225	-	-
2022	540.756	-	-

Fonte: PJJ (2021), IBGE (2023) * Estimativas, segundo PJJ (2021).

O município de Juiz de Fora insere-se no domínio morfoclimático dos Mares de Morros (AB’SABER, 2003), na região da Serra da Mantiqueira Setentrional, consolidado na unidade das Serranias da Zona da Mata Mineira. Tal unidade pode ser caracterizada pelo relevo mamelonar e de topos alongados, onde predominam cristas e linhas de cumeada. O relevo é modelado nos substratos rochosos compostos principalmente por granulitos, charnockitos e migmatitos (GATTO et al., 1983).

O clima da região é tropical úmido de altitude, consistindo como Cwb na classificação de Koppen. O município possui médias pluviométricas anuais de 1494,87 mm, com duas estações bem definidas: estações moderadamente quentes e chuvosas de outubro até março, e estações secas de abril a setembro (OLIVEIRA et al., 2020) (Figura 7).

Figura 7 - Médias pluviométricas para o município de Juiz de Fora



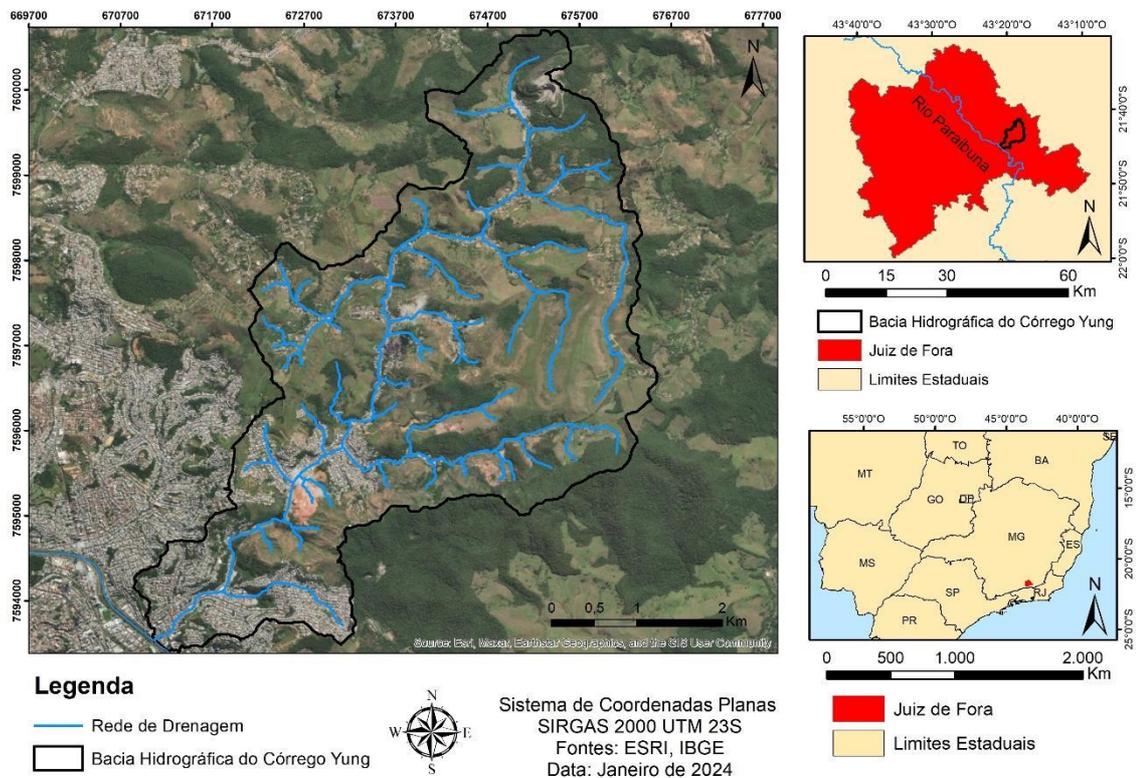
Fonte: Climate-Data (2024).

Destaca-se que os objetos de estudo estão situados em duas bacias hidrográficas distintas entre si, mas que são contíguas: a bacia hidrográfica do córrego Yung, com uma área urbana consolidada em seu baixo e médio curso, e cujo processos de expansão urbana estão se direcionando em direção ao médio-alto curso do córrego Yung; e a bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta, cuja ocupação de sua área é feita majoritariamente pela Reserva Biológica Municipal do Poço D'Anta, que consiste em uma Unidade de Proteção Integral.

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG – OCUPAÇÃO

A bacia hidrográfica do Córrego Yung está localizada no município de Juiz de Fora, sendo uma sub-bacia do Rio Paraibuna, principal rio da cidade. Essa bacia situa-se à margem esquerda do Rio Paraibuna, na porção leste do município. Fazem parte da bacia os bairros Vitorino Braga, Santos Anjos, Santa Cândida, Três Moinhos, Bom Jardim, Linhares, Grajaú, Alto Grajaú e Vila Alpina (FARIA, 2013) (Figura 8).

Figura 8 - Localização da bacia hidrográfica do córrego Yung



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Rinco e Bacellar (2007), a ocupação da bacia está associada aos primórdios da formação da cidade de Juiz de Fora, sendo o córrego Yung fundamental em seu processo de ocupação. Na margem esquerda do Paraibuna passava o Caminho Novo, construído no início do século XVIII, ligando o Rio de Janeiro até Minas Gerais, visando conectar a então capital do país até o “centro do ouro”.

Mesmo após o declínio do ciclo do ouro, e posteriormente com a ascensão da economia cafeeira, as estruturas político-administrativas e a infraestrutura herdada do ciclo minerador mantiveram-se como importantes vetores que resultaram na ocupação do território, resultando na formação de vilas e povoados, que posteriormente evoluíram para vilas e cidades, como foi o caso de Juiz de Fora (VIEITES, 2014).

Portanto, o traçado original do ‘Caminho Novo’ contribuiu para a formação da cidade, sendo um local onde se adensou núcleos de povoamento voltados às práticas de atividades econômicas. No entanto, em 1850 houve a estagnação de povoamento localizado na margem esquerda do Paraibuna, e conseqüentemente nas proximidades do córrego Yung, já que Halfeld buscou melhorias ao acesso à cidade, redirecionou os trajetos e vetores de ocupação para fora

da influência direta do rio Paraibuna, buscando evitar as constantes cheias do rio (RINCO, BACELLAR, 2007).

Essa mudança nos locais de povoamento da cidade deixou a área referente à bacia do córrego Yung à margem da cidade que viria a ser construída, sendo as consequências dessa marginalização espacial presentes ainda hoje, nas formas de parcelamento, uso e ocupação do solo da bacia. A urbanização e ocupação que se seguiu na cidade foram resultantes da verticalização do centro e arredores, e a expansão de suas áreas periféricas de forma desordenada e horizontalizada (RINCO, BACELLAR, 2007).

Tal expansão resultou na formação de ocupações precárias e inadequadas em áreas de risco, sejam próximas às áreas de planícies, quanto nas vertentes declivosas, sendo comum a ocorrência de inundações e movimentos de massa, que se intensificam diante das constantes alterações nas formas de uso e cobertura da terra, gerando inestimáveis danos socioambientais aos bairros localizados dentro desta bacia hidrográfica (MENON JÚNIOR, 2016) (Figura 9).

Figura 9 - Deslizamento de terra no bairro Linhares

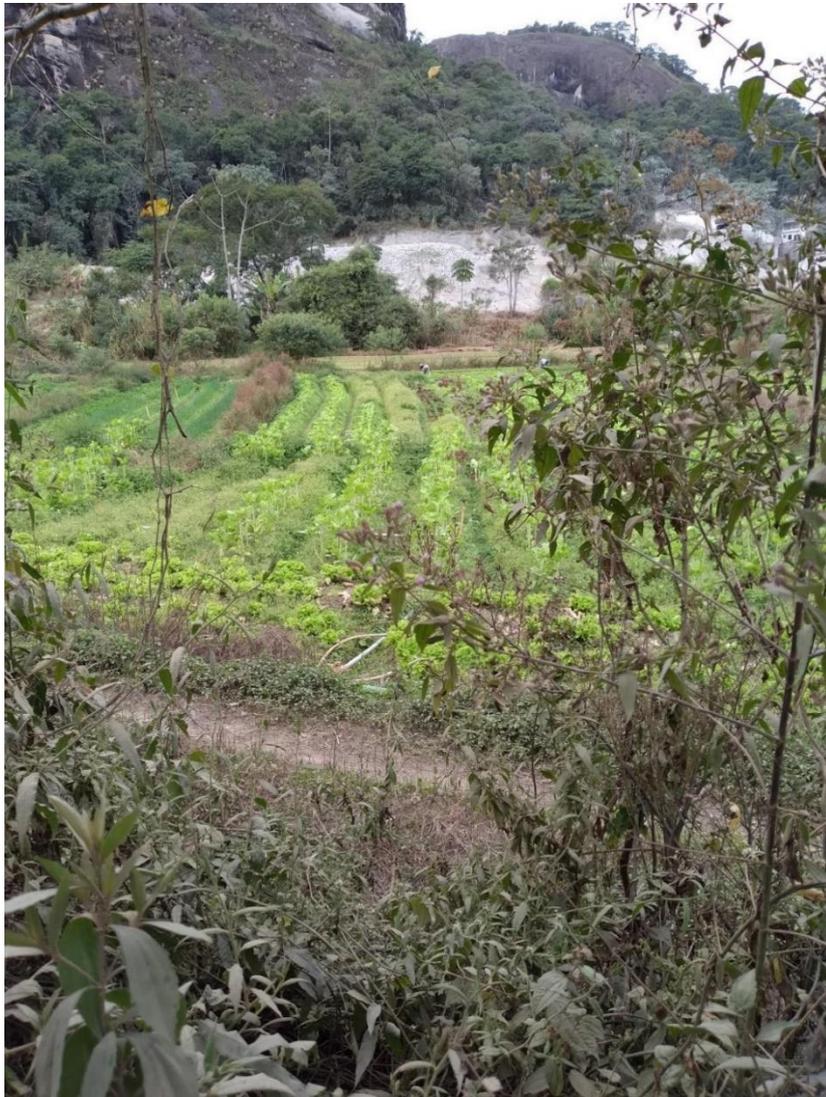


Fonte: Prefeitura de Juiz de Fora (2024).

Estima-se que entre 1966 e 2002, a área edificada da bacia expandiu aproximadamente 150%. No entanto, essa expansão urbana foi realizada sem o planejamento necessário, resultando em danos ambientais e socioespaciais, como problemas aos sistemas viários e no esgotamento sanitário. Além disso, foram instalados na região alguns empreendimentos vistos como co-responsáveis por diminuir a valorização territorial da bacia, como hospitais para tratamento de substâncias químicas e unidades de correção penal (RINCO, BACELLAR, 2007).

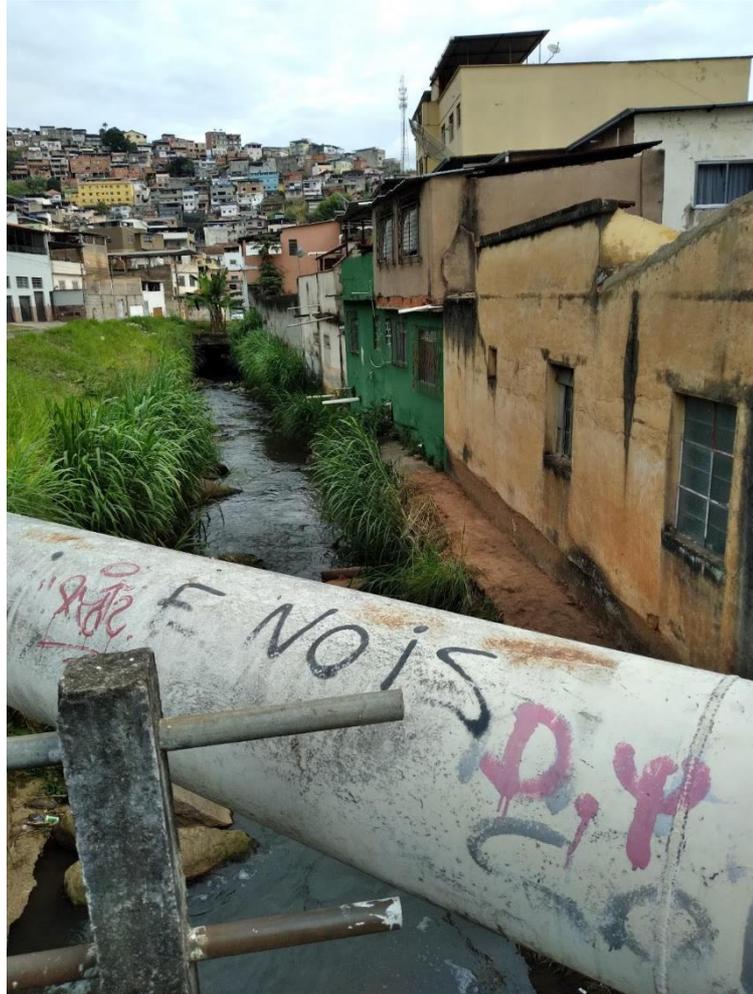
Algumas das atividades econômicas praticadas dentro do recorte espacial referente à bacia são relacionadas à agricultura familiar, com a horticultura, criação de gado e extração mineral, principalmente de saibro. No entanto, essas intervenções antrópicas buscando dar origem a áreas de pastagem ou para novas construções, resultam em danos ambientais e sociais, como alterações nas formas de cobertura da terra através do desmatamento e o corte de encostas, acentuando assim os processos erosivos e gerando instabilidade nas encostas. Tais alterações também comprometem a qualidade das águas do córrego, seja pela alta carga de sedimentos, assoreamento dos canais fluviais ou a alta carga de poluentes em suas águas (FARIA, 2013) Figuras 10 e 11).

Figura 10 - Hortaliças em propriedade particular da pedreira Santo Cristo



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 11 - Planícies e encostas da bacia ocupadas por residências



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Em pequenas propriedades localizadas à montante da bacia, em áreas periurbanas, é possível encontrar com frequência açudes e lagos artificiais, construídos com o intuito de lazer, uso recreativo, dessedentação de animais ou valorização da beleza estética do terreno. Ressalta-se que os barramentos/represamentos e escavações afetam a conectividade dos hidrossistemas locais e a dinâmica de processos hidrogeomorfológicos, fazendo com os hidrossistemas tenham que se adaptar às condições antrópicas impostas (Figura 12).

Figura 12 - Propriedade residencial com açudes



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

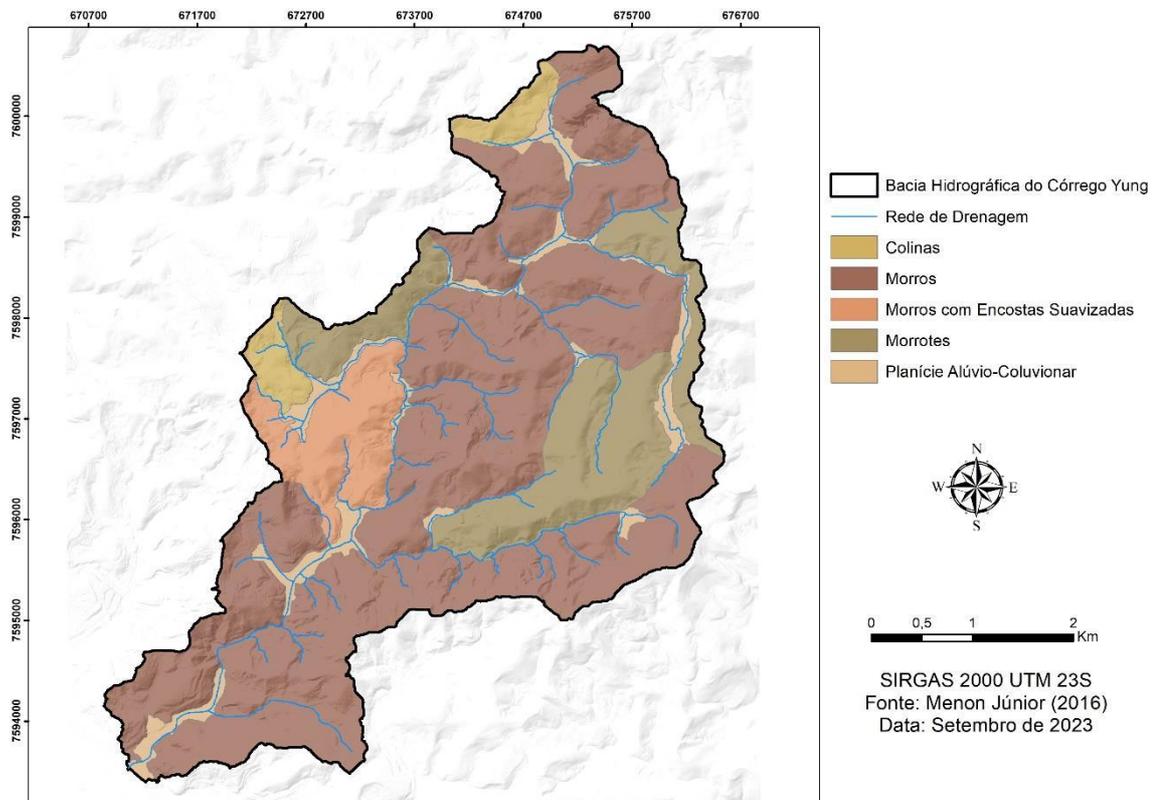
Nas porções à jusante da bacia, as planícies são mais abundantes por ser uma área de baixa energia, ocorrendo a deposição de materiais advindos dos canais fluviais e o alargamento do canal principal, resultando nos maiores adensamentos urbanos, sendo essa porção da bacia fortemente antropizada. No entanto, a expansão urbana na bacia não se estagnou nessa área, se expandindo ao longo das calhas de canais secundários, subindo em direção às declivosas vertentes no baixo-médio curso do córrego Yung.

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

A bacia hidrográfica do Córrego Yung se insere dentro do contexto geomorfológico da região da Mantiqueira Setentrional, especificamente no sistema orogênico referente à Província Mantiqueira, que se desenvolveu durante a Orogenia Neoproterozoica Brasileiro-Pan Africana. Esse sistema orogênico se estende por aproximadamente 3000 km ao longo da faixa atlântica, se estendendo de São Paulo até Espírito Santo. A área está compreendida pelo Rift Continental do Sudeste do Brasil, em um *horst* associado ao *gráben* do Paraíba do Sul (HELIBRON et al. 2004; ALMEIDA NETO et al., 2017; KAMINO et al., 2019).

A morfologia da bacia hidrográfica do Córrego Yung, em Juiz de Fora – MG é composta por morros e morrotes, encostas suavizadas e vertentes côncavo-convexas, que aliadas à rede de drenagem perene e dendrítica, típica de regiões de relevos mamelonares (CHRISTOFOLETTI, 1980), perfazem condições ideais para o acúmulo de água e exfiltração de águas subsuperficiais, resultando na ocorrência de um número significativo de áreas úmidas na área de estudo. As maiores elevações estão na cota de 1050m, enquanto as menores situam-se na faixa dos 680m, havendo um desnível de aproximadamente 370m. Os fundos de vale, por sua vez, são consideravelmente encaixados, gerando poucas áreas de planícies (MENON JÚNIOR, ZAIDAN, 2016) (Figura 13).

Figura 13 - Morfologia da bacia hidrográfica do córrego Yung



Fonte: Adaptado de Menon Júnior (2016).

O embasamento geológico da bacia é formado por rochas dos Complexos Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira e Megassequência Andrelândia. Além dos contatos litológicos, a estrutura da bacia é composta por empurrão basal dos domínios tectônicos e falha indiscriminada inferida (CODEMIG, 2013) (Figura 14).

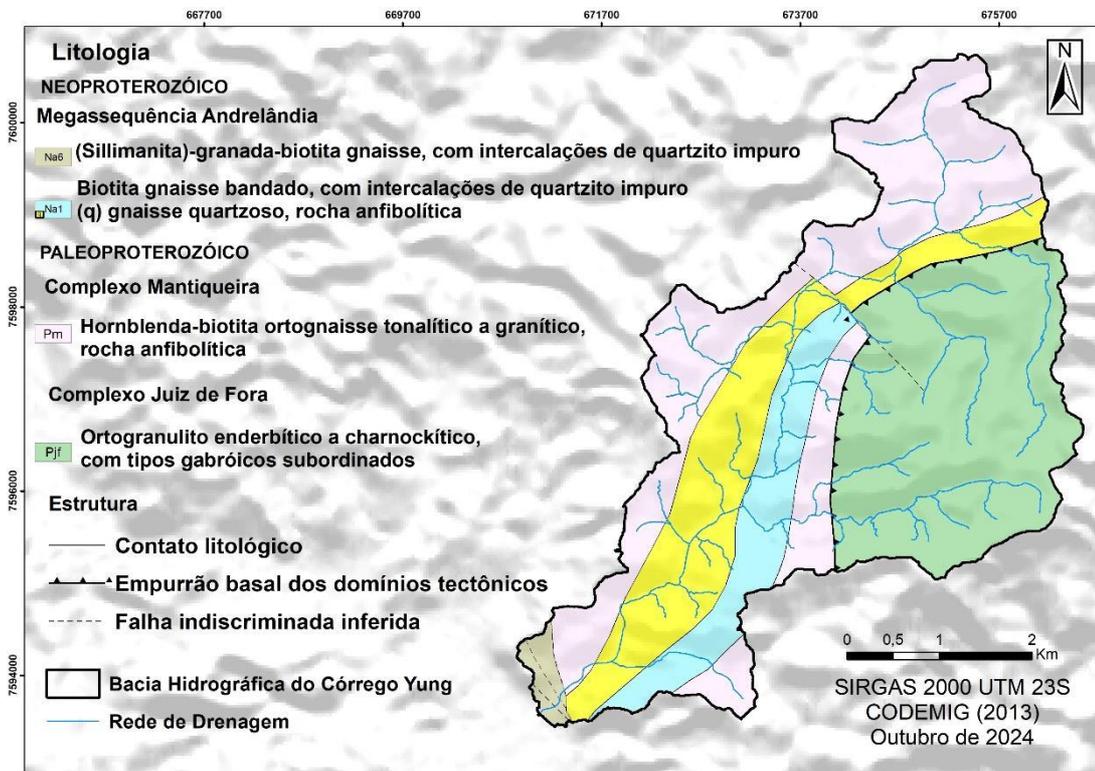
O Complexo Juiz de Fora foi formado no paleoproterozoico (pré-1,7 Ga), através de uma intercalação tectônica entre as rochas do embasamento e os metassedimentos neoproterozoicos da Megassequência Andrelândia. Este complexo compreende granulitos variando entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos, com texturas variadas (TUPINAMBÁ

et al., 2007). A área de estudo compreende ortogranulitos enderbíticos a charnockíticos (CODEMIG, 2013).

O Complexo Mantiqueira é uma composição de corpos máficos e granitóides, cujo litotipo predominante são biotitas-anfibólio ortognaisse bandado de composição tonalítica a granítica, formadas no paleoproterozoico (2180-2041 Ma) (NOCE et al., 2007). Na área de estudo ocorre uma predominância de hornblenda-biotita ortognaisse tonalítico a granítico e rochas anfibolíticas (CODEMIG, 2013),

A Megassequência Andrelândia, com biotitas gnaisse bandado e silimanita-granada-biotita gnaisse presentes na área de estudo (CODEMIG, 2013), constitui-se em uma associação de gnaisses sedimentares, com idade entre 1,0 e 0,79 Ga (TUPINAMBÁ et al., 2007).

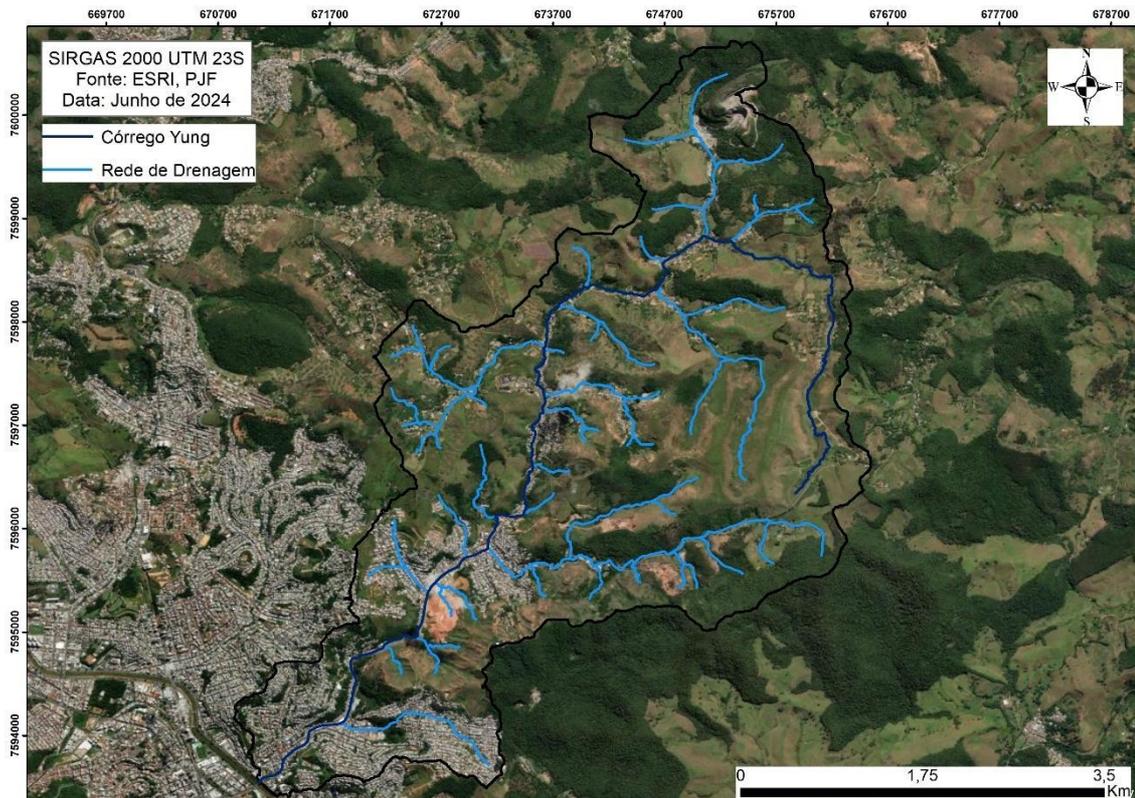
Figura 14 - Geologia da bacia hidrográfica do Córrego Yung



Fonte: Adaptado de Menon Júnior (2016).

Destaca-se que o córrego Yung (Figura 15), assim como um canal de primeira ordem em um fundo de vale paralelo, são ambos controladas por interflúvios (900-950 metros) dispostos na forma cristas alinhadas, apresentando inflexões e “cotovelos” expressivos (aproximadamente 90°) na rede de drenagem para a mesma direção: fluxos em direção sul-norte passam a correr em direção leste-oeste. Tais fatores levam a crer que houve uma reconfiguração da rede de drenagem por controle estrutural.

Figura 15 - Córrego Yung destacado em relação a rede de drenagem

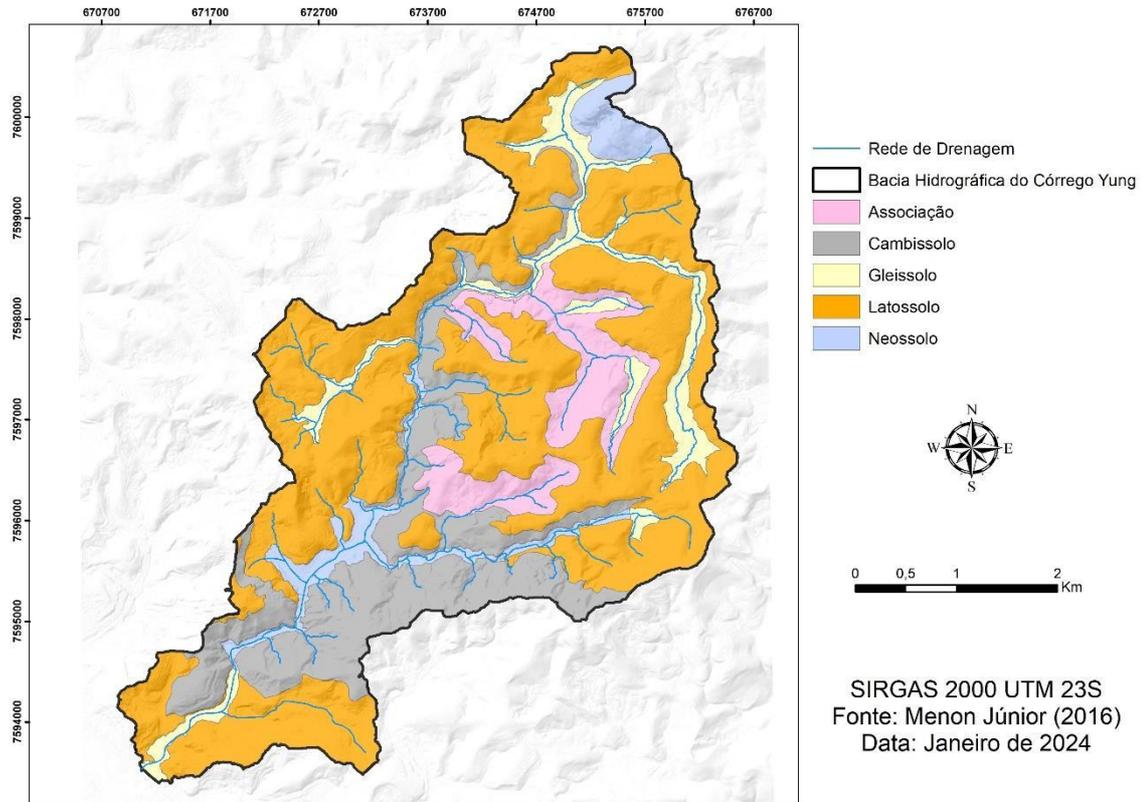


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os solos da bacia hidrográfica são predominantemente compostos por Latossolos vermelho-amarelo distrófico. Em menor número, o restante da bacia é composto por Cambissolo háplico, Associação entre latossolos e cambissolos, Gleissolo háplico e neossolos flúvicos e litólicos. Tais dados e classes foram obtidos e elaborados por pesquisas de campo de Menon Júnior (2016), complementando o mapeamento de solos feito pela UFV (2010) em uma escala de detalhe que permitiu identificar tais variações (Figura 16).

A rede de drenagem perene e a pluviosidade acentuada nas estações chuvosas resultam na formação de mantos de alteração espessos e solos bem desenvolvidos (AB'SABER, 2003). Diante das características hidrográficas e geomorfológicas da região, Eduardo et al. (2019) destacam que é possível encontrar gleissolos e neossolos flúvicos nos fundos de vale e terrenos aluviais, argissolos em vertentes de média declividade e cambissolos em áreas superficiais com erosão laminar.

Figura 16 - Solos da bacia hidrográfica do córrego Yung



Fonte: Adaptado de Menon Júnior (2016).

Diante do cenário supramencionado, as áreas úmidas dentro desse recorte espacial apresentam-se em uma situação de extrema vulnerabilidade, já que os ambientes preferenciais de exfiltração subsuperficial e acúmulo de água superficial apresentam-se ameaçados. Áreas como planícies, fundos de vales e porções côncavas de vertentes se mostram fortemente antropizadas, sendo alvos da expansão urbana desordenada e urbanização periférica.

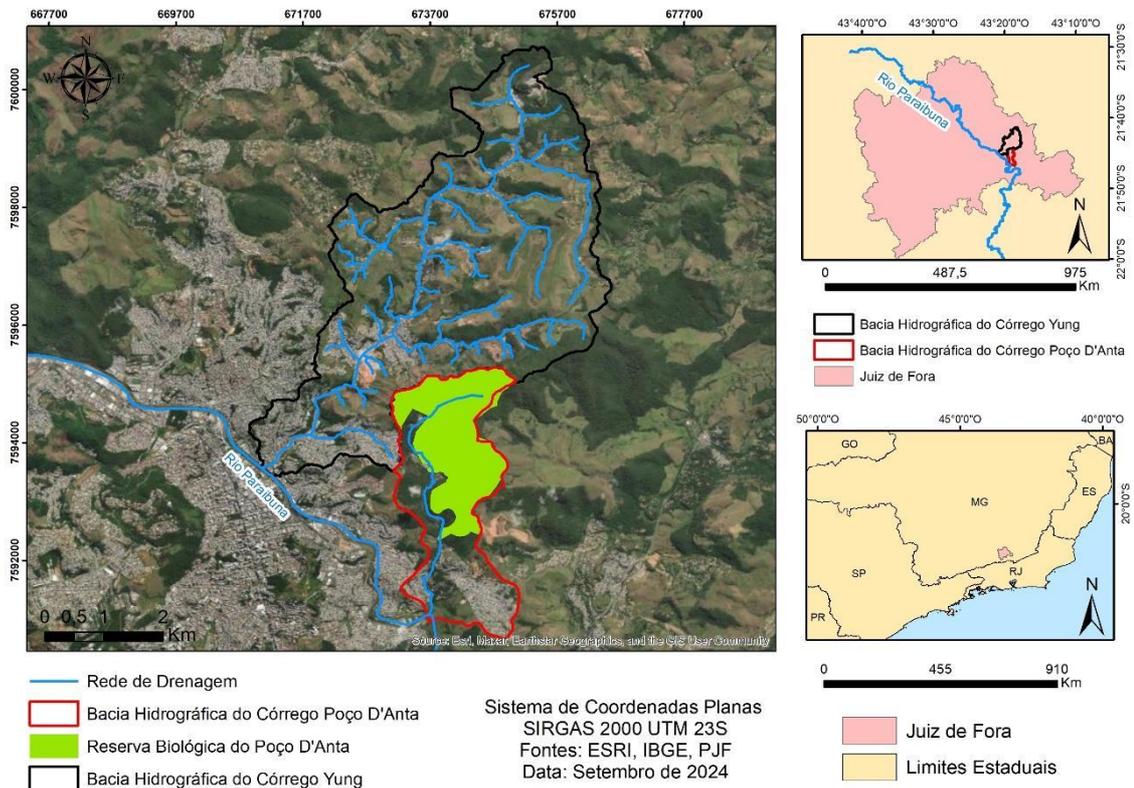
Atualmente são escassos os fragmentos remanescentes de Mata Atlântica, presentes na área de estudo na forma de Floresta Estacional Semidecidual. Tais fragmentos estão concentrados na porção sudeste da bacia, devido à proximidade com a Reserva Biológica Municipal do Poço D'Anta. À montante da bacia, existem fragmentos de vegetação arbórea, arbustiva e rasteira, mas predominam os usos por pastagens (MENON JÚNIOR, ZAIDAN, 2015).

4.3 RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DO POÇO D'ANTA – OCUPAÇÃO

A Reserva Biológica Municipal Poço D'Anta situa-se próxima da bacia hidrográfica do córrego Yung, na zona leste do município de Juiz de Fora – MG, compartilhando interflúvios e características geológicas (Complexo Juiz de Fora), morfológicas e climáticas. Sua rede de drenagem também é tributária do Rio Paraibuna (Figura 17).

A reserva tem uma área aproximada de 277 hectares, cuja vegetação é composta por fragmentos de Mata Atlântica. A vegetação local pode ser caracterizada como Mata Estacional Semidecidual em área urbana, em estágio avançado de regeneração (CRUZ, 2016; ALMEIDA NETO et al., 2017).

Figura 17 - Localização da reserva biológica municipal Poço D'Anta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A área possuía vegetação nativa no passado. No entanto, com o crescimento da atividade cafeeira entre a metade do século XIX e início do século XX, a área foi desmatada para plantio. Após o declínio dessa atividade, a área foi abandonada, permitindo o processo de regeneração natural da mata a partir de uma sucessão secundária (SANTIAGO, REZENDE, FERREIRA, 2007).

Dentro dos limites da mata, existe a presença de dois lagos artificiais que são responsabilidade da CESAMA (Companhia de Saneamento Municipal), para parte do abastecimento de água da cidade (Figura 18). Desta forma, motivou-se a preservação de sua mata circundante e a criação da Reserva Biológica Municipal Poço D'Anta através do Decreto Municipal nº 2.794, de 21 de setembro de 1982 (SANTIAGO, REZENDE, FERREIRA, 2007; MANHÃES, LOURES-RIBEIRO, 2011).

Figura 18 - Manancial na reserva biológica municipal Poço D'Anta



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Em períodos anteriores à delimitação da área como Reserva Biológica, existiam pedreiras e saibreiras atuando em seu interior, tendo sido desativadas posteriormente. No entanto, tais atividades trouxeram consequências à vegetação nativa, sendo possível observar resquícios nas paisagens, como a remoção da mata e intensificação de processos de voçorocamento, que resultaram no assoreamento de canais fluviais. Soma-se a isso a construção de vias de acesso em seu entorno, contribuindo para processos de fragmentação e efeito de borda. Destaca-se também a instalação da EMPAV (Empresa Municipal de pavimentação de ruas e vias públicas), da Prefeitura de Juiz de Fora, que atua na produção de mudas de flores e árvores para plantio em determinados locais da cidade (Figura 19) (SANTIAGO, REZENDE, FERREIRA, 2007).

Figura 19 - Produção de mudas na reserva biológica municipal Poço D'Anta

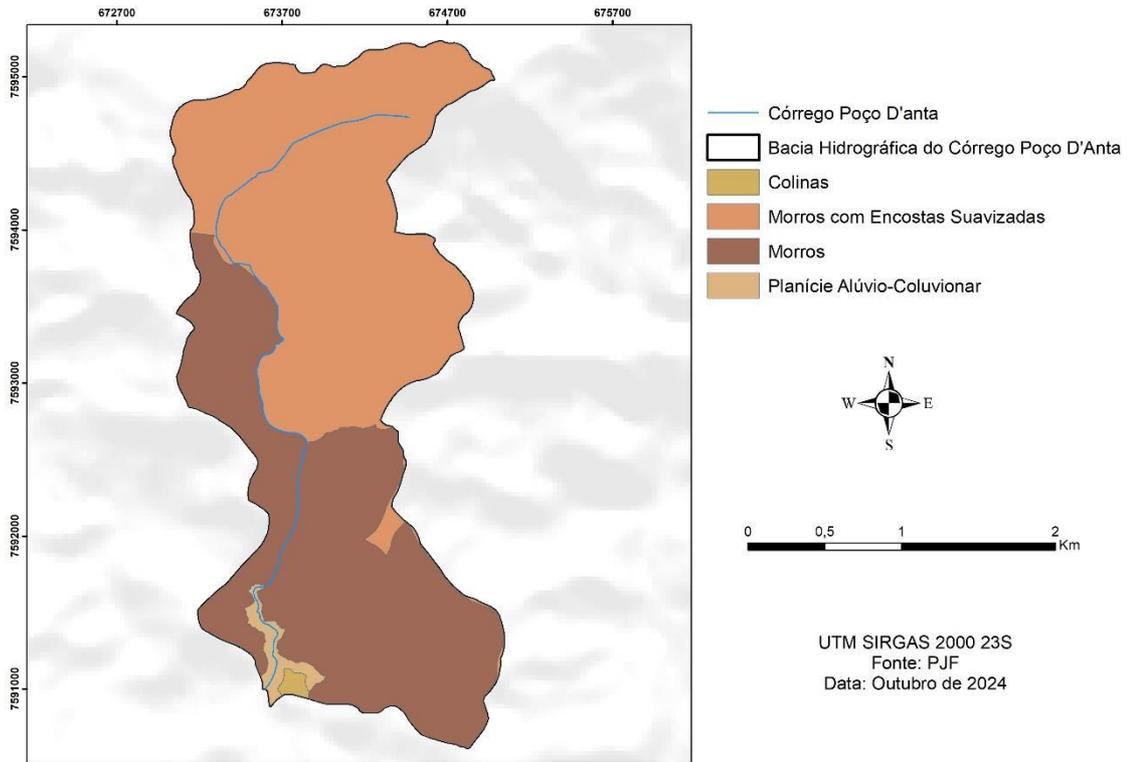


Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

4.4 RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DO POÇO D'ANTA – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

A bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta também se insere dentro do contexto geomorfológico da Mantiqueira Setentrional, compartilhando características morfológicas com a bacia hidrográfica do córrego Yung, sendo composta por morros, morros com encostas suavizadas, colinas e planícies alúvio-coluvionares (Figura 20). Destaca-se que as áreas de planícies são mínimas se comparadas aos morros e morros com encostas suavizadas, que perfazem o baixo-médio curso e alto curso da bacia, respectivamente.

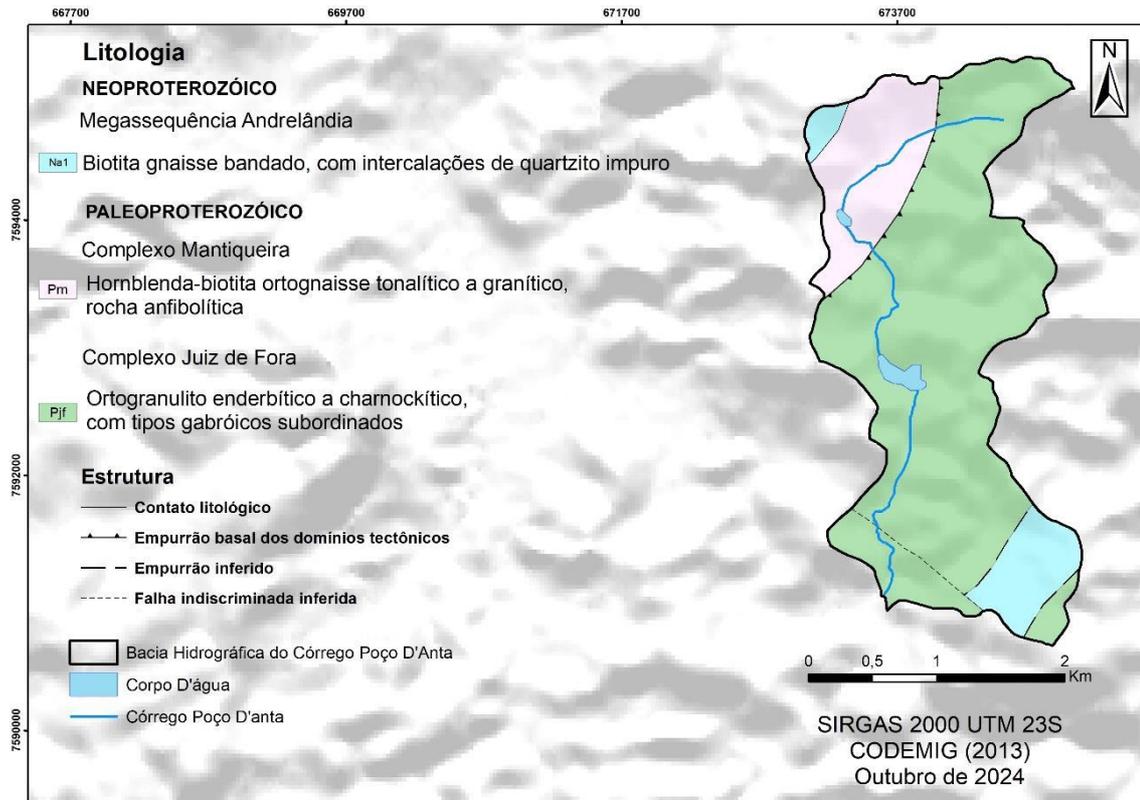
Figura 20 - Morfologia da bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No que se refere às características geológicas e estruturais, a bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta também compartilha as unidades litológicas com a bacia hidrográfica do córrego Yung, abrangendo rochas do Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira e Megassequência Andrelândia, predominando ortognaisses e ortogranulitos, com ocorrências de empurrão basal dos domínios tectônicos e falha indiscriminada inferida (CODEMIG, 2013) (Figura 21).

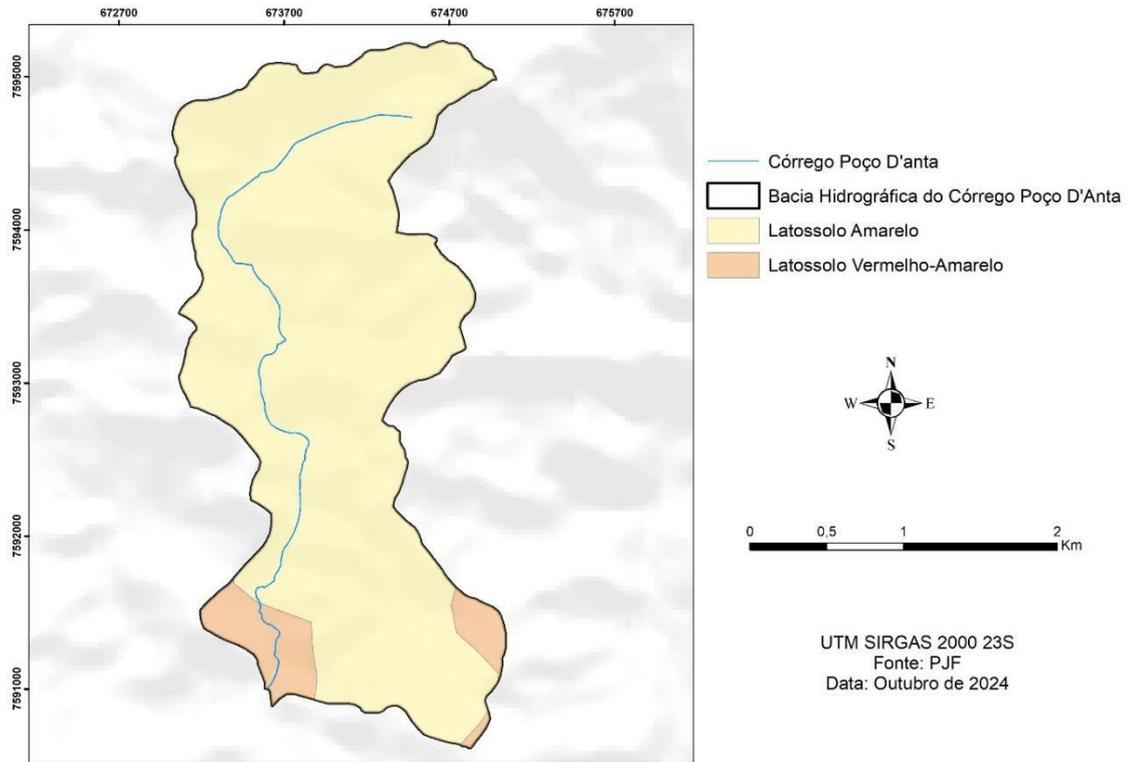
Figura 21 - Geologia da bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os solos da bacia hidrográfica são formados por Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Amarelos. Em menor número, no baixo curso da bacia, margeando o córrego Poço D'Anta, existe a ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo, associado principalmente aos fluxos laterais de água, que carregam sedimentos e proporcionam umidade suficiente para a formação de solos espessos. Os Latossolos Amarelos, predominantes na bacia, estão associados à morfologia de Morros e Morros Suavemente ondulados que perfazem a bacia, predominando texturas argilosas (Figura 22).

Figura 22 – Solos da bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5 METODOLOGIA

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG

Inicialmente, foram analisadas as evoluções temporais nas formas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do córrego Yung, tomando-se como recortes temporais os anos de 1968, 1983, 2010 e 2023. Para isso, foram obtidas imagens de satélite e de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela Prefeitura de Juiz de Fora, referentes aos anos de 1968, 1983 e 2010, (Quadro 3).

Quadro 3 - Levantamentos elaborados pela Prefeitura de Juiz de Fora

Ano da imagem	Tipo de levantamento	Escala do levantamento	Resolução do Raster
1968	Aerofotogramétrico	1:5700	1,5m
1983	Aerofotogramétrico	1:3800	1m
2010	Imageamento via satélite	1:2300	0,6m

Fonte: Menon Júnior (2016).

A partir dessas imagens, foram utilizados dados de Menon Júnior (2016) para os mapeamentos de uso e cobertura da terra. A metodologia aplicada por esse autor para a delimitação das classes foi a vetorização manual, buscando minimizar erros e problemas gerados por classificações automáticas. As classes utilizadas por Menon Júnior (2016) foram:

- Áreas Edificadas: áreas com ocupação urbana consolidada;
- Agricultura: áreas de com pequenas plantações de cultivo familiar;
- Afloramentos Rochosos: áreas com rocha exposta;
- Mineração: áreas com extração de rochas, visando o setor comercial;
- Solo Exposto: áreas de corte de encostas e/ou remoção de solo voltado a atividades comerciais (saibro)
- Pastagem: áreas que compuseram cobertura vegetal arbórea pretérita, mas que devido ao uso extensivo, deram lugar à agricultura e pecuária;
- Silvicultura: áreas com plantio de eucalipto
- Vegetação Mista: áreas compostas por vegetação de porte médio (rasteira, arbustiva e arbórea espaçada);
- Vegetação Arbórea: áreas com fragmento de Mata Atlântica e resquícios de Floresta Estacional Semidecidual.

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra referente ao ano de 2023, também foi realizada uma vetorização manual, mantendo-se as classes utilizadas previamente, assemelhando-se ao máximo da metodologia aplicada por Menon Júnior (2016). Foram

utilizadas imagens do satélite CBERS 4A, utilizando-se da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), com resolução espacial de 2 metros.

Paralelamente, também foram obtidos *shapefiles* de curvas de nível de equidistância de 1 metro, elaborados pela empresa Esteio (2007), com utilização do sensor remoto LiDAR, a serviço da Prefeitura de Juiz de Fora. As curvas de nível foram trabalhadas por Menon Júnior (2016) no software ArcGIS, interpolando-as para formato *Raster*, utilizando o *software* ArcGIS. Dessa forma, possibilitou a elaboração de modelos digitais de elevação (MDE).

Através desse modelo digital de elevação (MDE) representativo da superfície topográfica, foram selecionados seis segmentos de reta nas bacias para a realização de perfis topográficos transversais. Dois perfis longitudinais foram traçados, seguindo a extensão do córrego Yung e do córrego Poço D'Anta até as suas confluências com o rio Paraibuna. Os perfis se iniciam nos interflúvios da margem oeste e terminam nos interflúvios da porção leste, sendo desenhados de maneira a intercalar o maior número de áreas úmidas possíveis, com o objetivo de buscar correlações entre as configurações geomorfológicas e estruturais da bacia e a distribuição espacial desses hidrossistemas.

Dados referentes a aspectos morfológicos e pedológicos também foram obtidos junto à Menon Júnior (2016). A proposta de compartimentação do relevo utilizada pelo autor foi baseada em Ross (1992), identificando unidades morfológicas semelhantes. O autor propôs dois tipos genéticos de modelados: de acumulação e dissecação. A partir disso, foram utilizados critérios morfométricos de declividade e amplitude altimétrica do IPT (1981) (Quadro 4).

Quadro 4 - Classes morfológicas da área de estudo

Classes morfológicas	Declividade	Amplitudes locais
Planície Alúvio-Coluvionar	0%	0%
Colinas	0 a 15%	<100m
Morros com encostas suavizadas	0 a 15%	100m a 300m
Morrotos	>15%	<100m
Morros	>15%	100m a 300m

Fonte: Adaptado de Menon Júnior (2016).

Para os dados referentes aos solos, tomou-se como base o mapeamento de solos do estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010). No entanto, pelo mapeamento original estar em uma escala de pouco detalhe, também foram utilizadas classificações manuais a fim de minimizar distorções de escala, inserindo classes previamente ausentes, subsidiando-se em atributos do relevo, observações de campo e imagens aerofotogramétricas da área de estudo (MENON

JÚNIOR, 2016). Para os mapas de geologia e estrutura, utilizou-se a base de dados do Projeto Sul de Minas, elaborado em uma escala de 1:100.000 pela Codemig (2013).

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO POÇO D’ANTA

Para os dados referentes a geologia e estrutura, foram utilizados dados do Projeto Sul de Minas, elaborado em uma escala de 1:100.000 pela Codemig (2013). Para os dados de morfologia e solos, foram utilizadas bases de dados diferentes daquelas utilizadas para caracterizar a bacia hidrográfica do córrego Yung.

A base de dados utilizada para caracterizar a morfologia e solos da bacia hidrográfica do Poço D’Anta foram obtidas por meio de mapeamentos realizados pela Prefeitura de Juiz de Fora (2014), em escala 1:190.000. Posteriormente, esses dados foram interpolados para o recorte espacial referente à bacia.

As classes do mapa de morfologia foram adaptadas segundo a metodologia utilizada por Menon Júnior (2016), classificando as feições de acordo com declividade e amplitudes correspondentes. Para o mapeamento de solos, os dados apresentam ligeira variação, com classificações com maiores especificidades, retratadas em maiores números de classes. Para manter a coerência entre as duas bases de dados, optou-se por manter as classes apresentadas no mapeamento de Menon Júnior (2016).

5.3 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS

Através da interpretação visual das imagens, as áreas úmidas foram identificadas através da verificação de aspectos fotográficos e elementos texturais, cromáticos, morfológicos e estruturais, perceptíveis na visualização de padrões de pixels das imagens de satélite, possibilitando a obtenção de dados referentes às características superficiais, em diferentes períodos (NIU et al., 2012; SIMIONI, 2017).

Foram utilizadas imagens de satélite provenientes do *software* Google Earth Pro. O programa permite de forma acessível a comparação com imagens antigas, possibilitando ver a expansão/retração das áreas úmidas ao longo do tempo. Além disso, as imagens podem ser trabalhadas de maneira tridimensional, o que facilita sua delimitação e compreensão de processos hidrogeomorfológicos que atuam em sua formação.

Como as áreas úmidas são superfícies saturadas (periodicamente ou permanentemente), com solos hidromórficos e vegetação adaptada à presença de umidade, as diferenças de tonalidade e textura da vegetação sobressaem em imagens de satélites, com as áreas úmidas

apresentando formas irregulares e cores mais escuras comparadas aos demais tipos de vegetação, geralmente associadas à *pixels* de coloração cinza-esverdeada em contextos favoráveis à acumulação de água (GRENFELL et al., 2005; PANIZZA; FONSECA, 2011; GUO et al., 2017). Feita a sua identificação, as áreas úmidas foram delimitadas manualmente através da criação de polígonos no *software* Google Earth Pro, e posteriormente exportada para o software ArcGis 10.3.1 para serem plotadas nos mapeamentos realizados. Em seguida, foram realizadas visitas de campo para validação das áreas úmidas encontradas.

Todavia, por estar situada dentro de mata fechada, não foi possível identificar a área úmida da Reserva Biológica do Poço D'Anta via imagens de satélite, tampouco delimitar polígonos da mesma maneira como foi feita com as áreas úmidas da bacia hidrográfica do córrego Yung. Portanto, optou-se por mostrar essa área úmida via imagem de satélite, com delimitação feita através de pontos.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS

Para auxiliar nas interpretações e discutir as heterogeneidades fisiográficas encontradas, também foi utilizada a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas, baseando-se na proposta de Brinson (1993), vista como adequada à área de estudo devido ao seu enfoque hidrogeomorfológico e por abordar as fontes de alimentação de áreas úmidas e sua interação com as formas de relevo, possibilitando a caracterização e contextualização da distribuição espacial das áreas úmidas, assim como identificar os principais condicionantes que atuam em sua formação.

Em relação à caracterização do estado dinâmico-funcional das áreas úmidas visitadas em campo, foi utilizada a tipologia dinâmica proposta por Bertrand (1972). Nas palavras do autor, esta tipologia se baseia na teoria de bioresistância proposta por Erhart (1955), buscando classificar sistemas a partir de seu estágio de evolução e sua dinâmica (progressiva, regressiva, estabilidade) (BERTRAND, 1972).

Para medir a forma das áreas úmidas, foi utilizada uma adaptação do índice de circularidade (IC) utilizado para cálculos morfométricos em bacias hidrográficas, com o intuito de fazer uma correlação com as classes hidrogeomorfológicas. Tal índice é a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. Para calcular o índice de circularidade, foi utilizada a fórmula: $IC = 12,57 \times A/P^2$, sendo IC = índice de circularidade; A = área de drenagem e P = perímetro (CARDOSO et al., 2006). A partir dessa caracterização, teve-se como objetivo identificar correlações entre as classes hidrogeomorfológicas e a fisiografia das áreas úmidas da área de estudo.

As áreas úmidas foram classificadas através de quebras naturais, em cinco intervalos, com o intuito de identificar suas tendências fisiográficas. Os valores variam entre 0 e 1, indicando tendências a formas mais arredondadas ao se aproximarem de 1, e mais alongadas ao se aproximarem de 0.

5.5 SELEÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS VISITADAS EM CAMPO

Foram escolhidas três áreas úmidas dentro da bacia hidrográfica do córrego Yung e uma área úmida na bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta para interpretações e validações de campo, buscando-se realizar avaliações geocológicas das áreas úmidas escolhidas. Sua seleção seguiu critérios referentes às diferentes formas de uso e cobertura da terra.

O motivo de escolha para a realização de coletas em duas bacias hidrográficas distintas advém da diferença entre os locais e contexto de uso e cobertura da terra em que as áreas úmidas estão inseridas: na bacia hidrográfica do córrego Yung as áreas úmidas estão em zonas periurbanas, caracterizadas como áreas de transição entre zonas urbanas e zonas rurais, circundadas principalmente por pastagens, enquanto a área úmida da Reserva Biológica Municipal do Poço D'Anta está situada em mata fechada, em uma Unidade de Conservação. Desta forma, teve-se como intuito elaborar um rol contendo áreas úmidas com características geocológicas distintas entre si.

Devido a sua localização em uma Unidade de Conservação, o contexto de uso e cobertura da terra distinto das outras áreas úmidas e a menor interferência antrópica em seus arredores, teve-se como hipótese que os parâmetros de água e solo medidos para a área úmida da Reserva Biológica Municipal do Poço D'Anta apresentariam resultados destoantes das áreas úmidas situadas na bacia hidrográfica do córrego Yung.

5.6 MATERIAIS E MÉTODOS PARA ELABORAÇÃO DE PERFIS TOPOGRÁFICOS, PERFIS GEOECOLÓGICOS, BLOCOS DIAGRAMA E GRÁFICOS

No âmbito das bacias hidrográficas, foram elaborados oito perfis topográficos, sendo seis deles referentes a bacia hidrográfica do córrego Yung, e dois referentes a bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta. Os perfis foram elaborados no *software* ArcGis 10.3.1, tendo como base o modelo digital de elevação (MDE) mencionado no tópico 5.1. Em relação ao conteúdo, seis perfis topográficos são transversais, enquanto dois perfis topográficos são longitudinais.

Dentro dos perfis transversais, optou-se pela interpolação no gráfico em forma de pontos, delimitados onde o perfil passa pelo centro de áreas úmidas. Para o perfil longitudinal, foram destacados os intervalos contínuos no qual o córrego possui áreas úmidas em suas

margens. A escolha por segmentar apenas um trecho ao invés de intercalá-los deve-se ao intervalo de metros entre as áreas úmidas serem pouco relevantes na escala adotada ao trabalhar o perfil (1:30.000).

A partir da delimitação manual das bacias de contribuição que alimentam as áreas úmidas, foram traçados perfis topográficos (transversais e longitudinais) para as quatro áreas úmidas analisadas em campo. A delimitação foi realizada, inicialmente, através do *software* ArcGis 10.3.1. Os resultados obtidos foram manuseados no *software* Microsoft Excel, de modo a editar o layout dos gráficos.

No *software* Adobe Photoshop 2025, foram incorporados manualmente novos elementos aos perfis, como informações gráficas referentes ao tipo de vegetação predominantemente, assim como características, litológicas, morfológicas e pedológicas dos locais onde as áreas úmidas se inserem.

Para os blocos-diagrama, também foi utilizado o *software* Adobe Photoshop 2025, sendo elaborados desenhos manuais a partir dos perfis topográficos e imagens orbitais do *software* Google Earth Pro, com o objetivo de retratar o compartimento da paisagem onde as áreas úmidas inseridas, possibilitando a compreensão de fluxos tridimensionais que atuam na conformação das áreas úmidas.

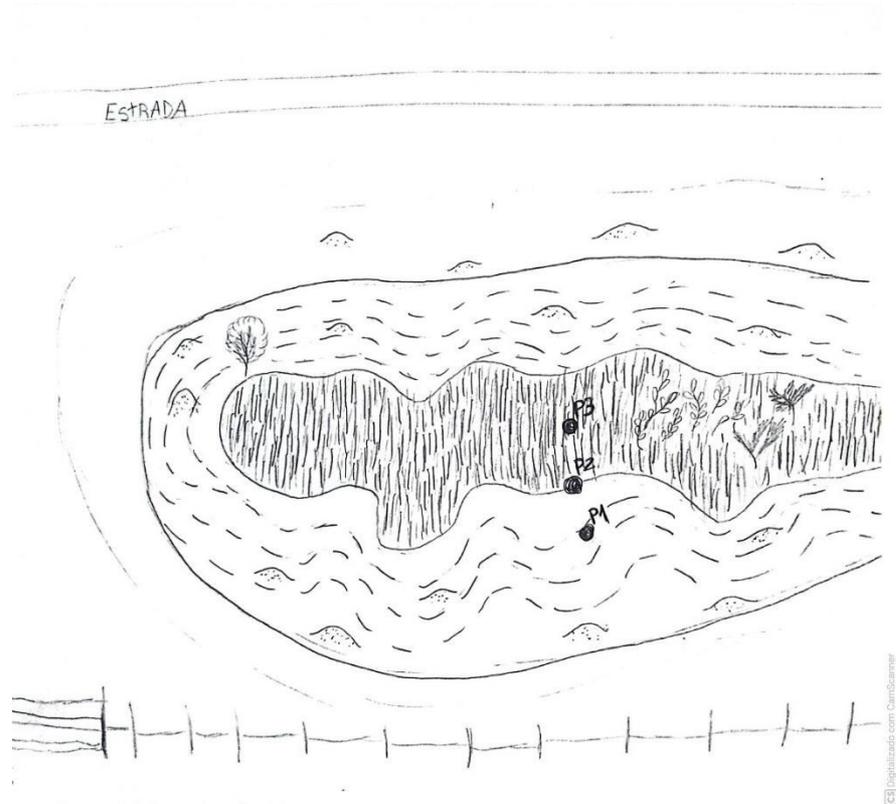
Por fim, os gráficos de radar para as análises de água foram realizados através de programação em linguagem *Python*.

5.7 COLETAS DE AMOSTRAS DE SOLO

Para a primeira análise, as amostras de solo foram coletadas no dia 10/05/2024. Na segunda visita de campo, as amostras de solo foram coletadas dia 05/12/2024. Para cada área úmida, foram selecionados três pontos para coleta de solos: um ponto seco (P1), um ponto sazonalmente encharcado (P2) e um ponto permanentemente saturado (P3). Para tais coletas, foram abertas trincheiras de aproximadamente 20 cm em cada ponto, com a utilização de uma cavadeira (Figuras 23 e 24). Posteriormente, as amostras foram secas ao ar e preparadas para as análises laboratoriais, sendo levadas para o Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos - UFMG, visando mensurar os seguintes parâmetros: carbono orgânico, matéria orgânica, densidade, pH e textura.

Tendo em vista que a densidade e textura do solo tendem a apresentar menores variações associadas a umidade, na segunda coleta (durante o período úmido) optou-se por fazer análises apenas de carbono orgânico e matéria orgânica, já que estas variáveis são mais suscetíveis a variações decorrentes da sazonalidade climática.

Figura 23 - Croqui demonstrando os pontos de coleta de solo



Fonte: Elaborado por Sara Toledo (2024).

Figura 24 - Abertura de trincheiras no solo



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

As amostras de solo foram secas ao ar, em local ventilado e seco. Posteriormente, em laboratório, foram destorroadas manualmente com um martelo. Em seguida, as amostras de solo foram filtradas em uma peneira de malha, com abertura de 2mm, conforme o método de preparo de amostra descrito pela Embrapa (1997). Os procedimentos realizados em laboratório foram medidos granulometria (dispersão total); umidade; densidade de partículas; pH do solo e matéria orgânica/carbono orgânico.

As análises granulométricas (dispersão total), foram realizadas pelo método da pipeta, que se baseia na velocidade de queda das partículas que compõem o solo, fixando-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água após a adição de dispersante químico (EMBRAPA, 1997). Após a obtenção dos teores de areia, silte e argila, as amostras foram classificadas de acordo com suas classes texturais.

A análise de umidade (fator “f”) foi feita a partir da correção dos resultados de análises de solo feitas em terra fina seca ao ar em terra fina seca em estufa a 105°C (EMBRAPA, 1997), enquanto a densidade de partículas foi feita a partir da determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (EMBRAPA, 1997).

O pH do solo foi obtido através da medição do potencial eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (água) (EMBRAPA, 1997). Já a medição da quantidade de matéria orgânica e carbono orgânico foi realizada através da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

5.8 COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA

As coletas foram realizadas próximas aos mínimos e máximos hidrológicos, nos meses de maio e dezembro, respectivamente, visando identificar mudanças significativas nos parâmetros analisados. A primeira coleta foi realizada dia 24/05/2024, enquanto a segunda foi realizada em 05/12/2024. Destaca-se que, para a primeira coleta, não houve chuva durante toda a semana que antecedeu a visita de campo. No entanto, ressalta-se que, na segunda coleta, houve ocorrência de chuva nas 24h que antecederam as coletas.

As coletas de água foram realizadas nos pontos sazonalmente encharcados (P2) e permanentemente saturados (P3). Foram coletados 500 mL de água em cada um desses pontos. Cabe destacar que para alguns parâmetros de água foram analisados imediatamente na coleta, com uso da sonda “Professional Plus YSI”, possibilitando a análise de temperatura, pressão, oxigênio dissolvido, condutividade específica, total de sólidos dissolvidos, salinidade e

potencial de oxi-redução. Em laboratório, foram medidos pH, turbidez, Nitrogênio Total e Fósforo Total.

O pH foi medido através de um equipamento pHmetro. A turbidez foi medida através de um equipamento de turbidímetro, sendo utilizado o método nefelométrico. Tal método consiste na “leitura da intensidade da luz dispersa pela amostra em ângulo de 90° em relação da luz incidente” (CORREIA et al., 2008).

O Nitrogênio Total foi através do equipamento “Espectrofotômetro Metash V-5000”, utilizando-se o método Alfakit-N total. Esse método é baseado na oxidação em meio alcalino, convertendo nitrogênio orgânico e inorgânico a nitrato (“Spectro Kit Nitrogênio Total - Alfakit”, 2024).

Para se analisar a quantidade de Fósforo Total, foi utilizado o equipamento “Espectrofotômetro Metash V-5000”, de acordo com o procedimento SMWW 4500-P B.5/E, onde a quantidade de fósforo é medida através da utilização de ácido ascórbico, pelo método colorimétrico.

5.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados das análises de água foram comparados com os valores dispostos pela Resolução CONAMA nº357 (2005) e pela deliberação normativa conjunta COPAM-CERH/MG nº8 (2022), para águas doces (salinidade < 0,5%), classe 3. A utilização dessa classe corrobora com as formas de utilização das águas advindas das áreas úmidas estudadas. Tais águas:

“podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.”

Após compilar todos os resultados obtidos nas análises de água e solo, foi realizado o teste ANOVA (Análise de Variância - fator único) através do *software* Microsoft Excel, buscando verificar a existência de diferenças significativas entre o conjunto de áreas úmidas através dos valores dos parâmetros analisados. Para o teste ANOVA, considera-se a comparação entre os valores de p. Se os valores de p foram menores que 0,05, aceita-se a hipótese de que existem diferenças significativas no conjunto. Em contrapartida, se os valores de F forem maiores do que 0.05, considera-se que existem diferenças significativas entre as amostras (QUIRK, 2012).

Os testes ANOVA foram realizados através do agrupamento por colunas, buscando identificar se as áreas úmidas possuem características significativamente diferentes. Em

seguida, os testes foram feitos através do agrupamento por linhas, buscando identificar a existência de diferenças significativas entre os pontos sazonalmente encharcados (P2) e pontos permanentemente encharcados (P3).

Posteriormente, os parâmetros de água foram trabalhados no *software* Past 4.03, com o intuito de se fazer a Análise por Componentes Principais (PCA), comumente utilizado para análise de correlação entre variáveis. O método consiste em transformações lineares ortogonais que convertem conjuntos de variáveis em coordenadas, de acordo com sua correlação e grau de variância, tendo como intuito ajudar a reduzir a dimensionalidade dos dados, destacando os eixos principais de variação e facilitando a interpretação das características mais importantes para cada local (SABIN et al., 2004).

Para as Análises de Componentes Principais (PCA), cabe ressaltar que alguns parâmetros apresentam correlações diretas com valor de $R^2 = 1$, como Condutividade (C), Condutividade Específica (SPC) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), medidas pelo mesmo equipamento, conseqüentemente adotando uma metodologia em que tais parâmetros estão relacionados entre si. Por consequência, para essas análises optou-se por trabalhar apenas com o Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), buscando reduzir o número de variáveis.

A análise por componentes principais (PCA) ajudou a reduzir a complexidade dos dados, permitindo a visualização de quais áreas úmidas são mais semelhantes entre si e quais se diferem a partir das variáveis estudadas. A projeção dos componentes principais reduz a complexidade dos dados (com muitas variáveis), permitindo que padrões entre as amostras sejam facilmente visualizados e interpretados.

5.10 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Foi realizado o resgate da legislação ambiental vigente em âmbito nacional, buscando as normas que tratam da proteção e conservação dos recursos hídricos, com enfoque nas diretrizes específicas que se referem às áreas úmidas, de forma direta ou indireta. Por conseguinte, a revisão bibliográfica pautou a discussão sobre seu “estado da arte” da legislação, permitindo a análise da efetividade das medidas de proteção que vigoram atualmente.

De forma a dialogar com os resultados obtidos, foi realizado um mapeamento de APP dos cursos d’água da área de estudo através da elaboração de *buffers* ao seu redor, com as referidas equidistâncias dispostas pelo Código Florestal (2012). Posteriormente, uniu-se a esses *buffers* as formas de uso e cobertura da terra atuais da área de estudo. O mapeamento permitiu observar as formas de uso e cobertura da terra predominantes nas faixas de proteção,

mostrando-se como um indicativo da efetividade do mecanismo legal responsável pela proteção dos hidrossistemas locais.

5.11 SÍNTESE METODOLÓGICA

Por fim, foi elaborado um quadro-síntese elencando os procedimentos adotados para realização dos objetivos delimitados (Figura 25).

Figura 25 - Quadro-síntese com metodologia e objetivos

Objetivos	a) Realizar a caracterização hidrogeomorfológica das áreas úmidas encontradas	b) Relacionar processos antropogeomorfológicos com parâmetros físico-químicos de água e solo	c) Discutir as fragilidades na proteção de áreas úmidas a partir da legislação ambiental vigente e as inconformidades nas formas de uso e cobertura da terra nos arredores das áreas úmidas.
Procedimentos metodológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterização da área de estudo; 2. Identificação e delimitação das áreas úmidas; 3. Caracterização das áreas úmidas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterização das áreas úmidas visitadas em campo; 2. Coletas de água e solo; 3. Análises estatísticas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisão bibliográfica; 2. Síntese dos resultados.
Detalhamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaboração de mapeamentos de uso e cobertura da terra, geologia/estrutura, morfologia e solos. Comparação dos mapas de uso e cobertura da terra (1968, 1983, 2010, 2023). Elaboração de perfis topográficos. 2. Identificação de áreas úmidas via sensoriamento remoto (Google Earth Pro) e delimitação por polígonos. 3. Classificação hidrogeomorfológica, índice de circularidade e verificação de campo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaboração de perfis geoecológicos (transversais e longitudinais) contendo informações referentes ao uso e cobertura da terra, geologia/estrutura, tipo de solo e morfologia de vertentes; Análise do estado dinâmico-funcional das áreas úmidas. 2. Seleção de quatro áreas úmidas para interpretações e coleta de amostras de água e solo. Análise dos resultados encontrados nas análises de água com a disposição da resolução CONAMA (2005) e COPAM-CERH/MG (2022) (águas doces, classe 3). 3. Utilização de técnicas estatísticas (PCA e ANOVA) para comparar os valores encontrados em cada área úmida e entre os seus pontos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resgate da legislação ambiental brasileira e seu estado da arte. 2. Reflexão crítica relacionando a política ambiental e as condições das áreas úmidas estudadas. 3. Comparação entre formas de uso e cobertura da terra nos arredores das áreas úmidas e nos <i>buffers</i> referentes às APPs de curso d'água.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

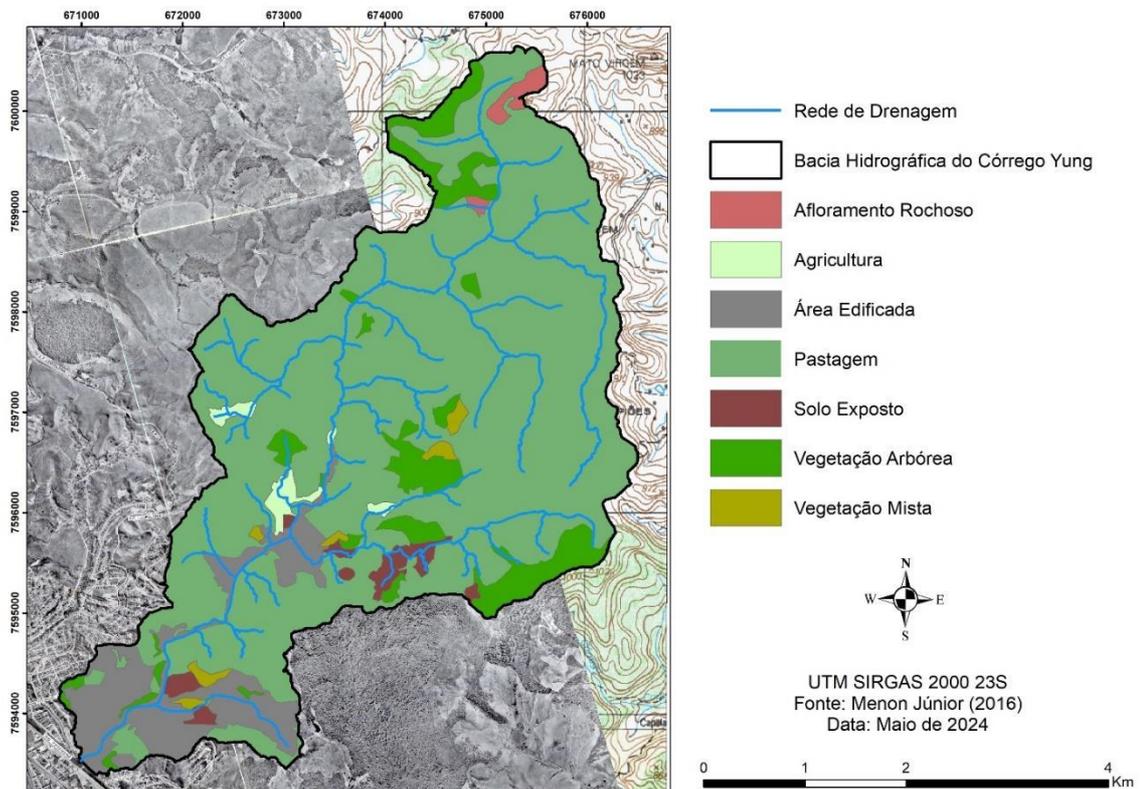
6 RESULTADOS

6.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG E USO DA TERRA

Para o uso e cobertura da terra em 1968 é possível observar o predomínio absoluto de pastagem (76,97%) dentro da bacia hidrográfica, com alguns fragmentos de vegetação arbórea (8,48%) localizados principalmente em interflúvios à montante da bacia, próximo aonde viria a se tornar propriedade da pedreira Santo Cristo; e no interflúvio da porção leste da bacia, na crista que divide a bacia hidrográfica do córrego Yung com a bacia hidrográfica do Poço D'Anta, que é uma área protegida majoritariamente recoberta por fragmentos arbóreos (Figura 26 e Quadro 5).

Percebe-se que a expansão urbana se consolidou inicialmente no baixo curso da bacia, nas margens da desembocadura do córrego Yung com o rio Paraibuna, principal curso d'água da cidade. A partir disso, a ocupação seguiu duas direções preferenciais: (i) seguindo à montante do córrego Yung, acompanhando o seu curso e indo em direção ao médio curso da bacia, através da principal via de acesso (rua Diva Garcia), que se inicia no bairro Vitorino Braga, na foz da bacia, e percorre o bairro Linhares, na parte central da bacia; (ii) ocupando as encostas situadas próximas à foz do córrego, na direção sudeste, nos bairros Bonsucesso, São Benedito e Santa Cândida, e no sentido sudoeste, no bairro Grajaú.

Figura 26 - Uso e cobertura da terra em 1968



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 5 - Classes de uso e cobertura da terra

Classe	Área em 1968 (km ² %)	Área em 1983 (km ² %)	Área em 2010 (km ² %)	Área em 2023 (km ² %)
Área Edificada	1,94 (9,85%)	2,4 (12,19%)	3,51 (17,82%)	3,56 (18,05%)
Agricultura	0,23 (1,15%)	0,61 (3,1%)	1,23 (6,22%)	1,27 (6,46%)
Afloramento Rochoso	0,15 (0,79)	0,156 (0,79%)	0,12 (0,62%)	0,14 (0,62%)
Mineração	0 (0%)	0,07 (0,35%)	0,12 (0,63%)	0,12 (0,63%)
Pastagem	15,16 (76,97%)	11,97 (60,77%)	10,15 (51,55%)	9,76 (49,54%)
Silvicultura	0 (0%)	0 (0%)	0,28 (1,45%)	0,36 (1,83%)
Solo Exposto	0,36 (1,81%)	0,8 (4,06%)	0,21 (1,05%)	0,32 (1,65%)
Vegetação Mista	0,19 (0,95%)	0,77 (3,91%)	0,67 (3,40%)	0,63 (3,18%)
Vegetação Arbórea	1,67 (8,48%)	1,92 (14,83%)	3,4 (17,26%)	3,56 (18,05%)
Total	19,7 (100%)	19,7 (100%)	19,7 (100%)	19,7 (100%)

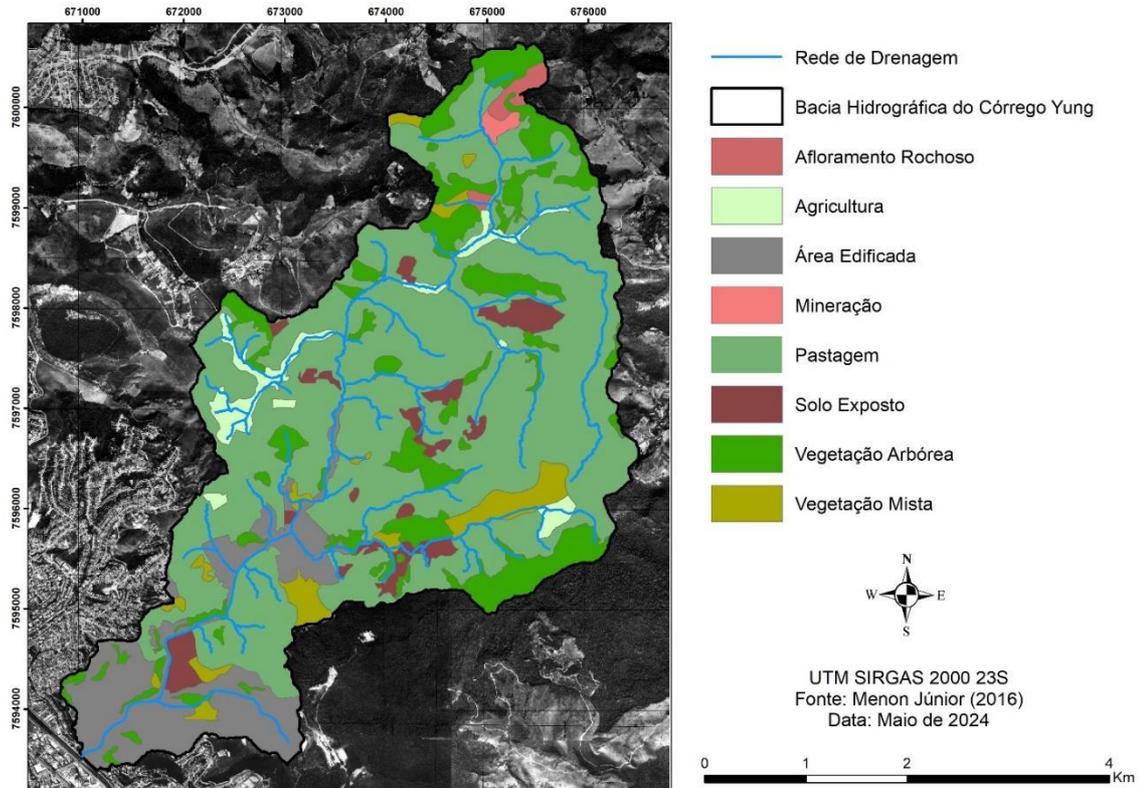
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em 1983 já é possível observar a consolidação urbana à jusante da bacia, aumentando para 12,19%. No entanto, essa expansão ocorreu de maneira concentrada nos vetores de ocupação já existentes, não se expandindo espacialmente por grandes extensões de área.

Observa-se também a redução da área de pastagem, perfazendo 60,77% da área da bacia. Concomitantemente a essa redução, consolida-se a área de mineração pertencente a Pedreira Santo Cristo e expandem-se, além das áreas urbanas, as áreas de agricultura, vegetação mista e solo exposto.

As áreas de agricultura crescem principalmente às margens de canais de primeira e segunda ordem, abundantes no médio e alto curso da bacia, notoriamente próximas aos interflúvios da porção oeste da bacia, onde a densidade de concentrações urbanas é menor e a ocupação predominante refere-se às pequenas propriedades de agricultores. A classe de solo exposto, apresentando maior número neste ano de 1983, está presente de forma esparsa ao longo da bacia, referindo-se à construção de loteamentos urbanos, chácaras e sítios (Figura 27).

Figura 27 - Uso e cobertura da terra em 1983.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em 2010 é possível observar um aumento significativo da área edificada, passando de 12,19% em 1983, para 17,82% em 2010. O vetor de crescimento continua o mesmo: seguindo em direção ao médio e alto curso da bacia, com o adensamento de ocupações no bairro Linhares.

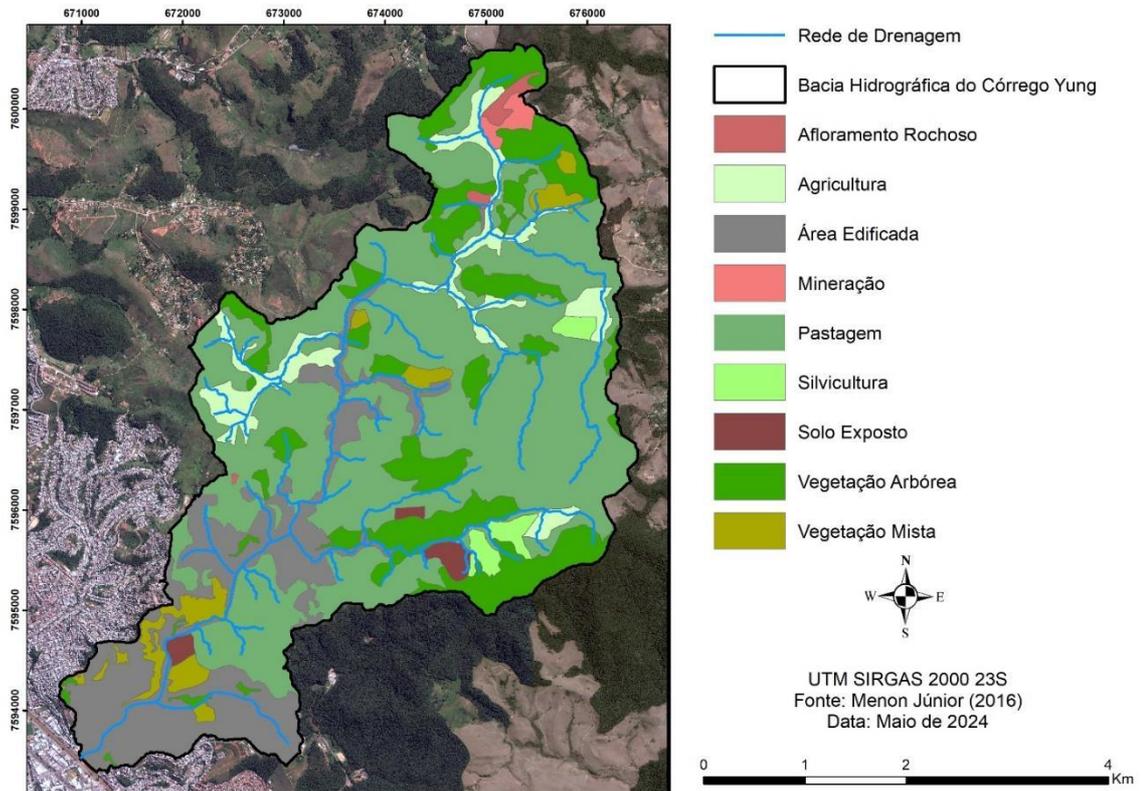
A área de mineração também apresentou um pequeno aumento, indicando a expansão das atividades da mineradora local, com ampliação da cava e dos depósitos de estéril. Concomitantemente, em sua margem, houve uma expansão significativa das áreas destinadas à agricultura. Destaca-se que grande parte dessas terras é referente a propriedades da mineradora. O aumento de vegetação arbórea em seus arredores também é notável. Portanto, pode-se supor que o crescimento dessas classes está ligado de forma direta às medidas de compensação ambiental exercidas pelo empreendimento.

O plantio de eucalipto (silvicultura) aparece pela primeira vez, constituindo-se em uma nova atividade praticada dentro dos arredores da bacia. Em contrapartida, as áreas de solo exposto diminuíram, provavelmente associado à consolidação das áreas urbanas e outras construções que estavam em curso nas áreas periurbanas durante o ano de 1983.

As áreas de vegetação mista, embora tenha apresentado pouca mudança em extensão de 1983 para 2010 (3,91% para 3,40%), apresentou mudanças na distribuição espacial. Em 1983

destacava-se a área localizada na porção sudeste da bacia. Em 2010, esse local deu lugar a fragmentos de vegetação arbórea. A concentração mais abundante agora situa-se em áreas urbanizadas, à jusante da bacia. Tais áreas estão associadas aos fragmentos de vegetação restantes das encostas densamente e desordenadamente ocupadas (Figura 28).

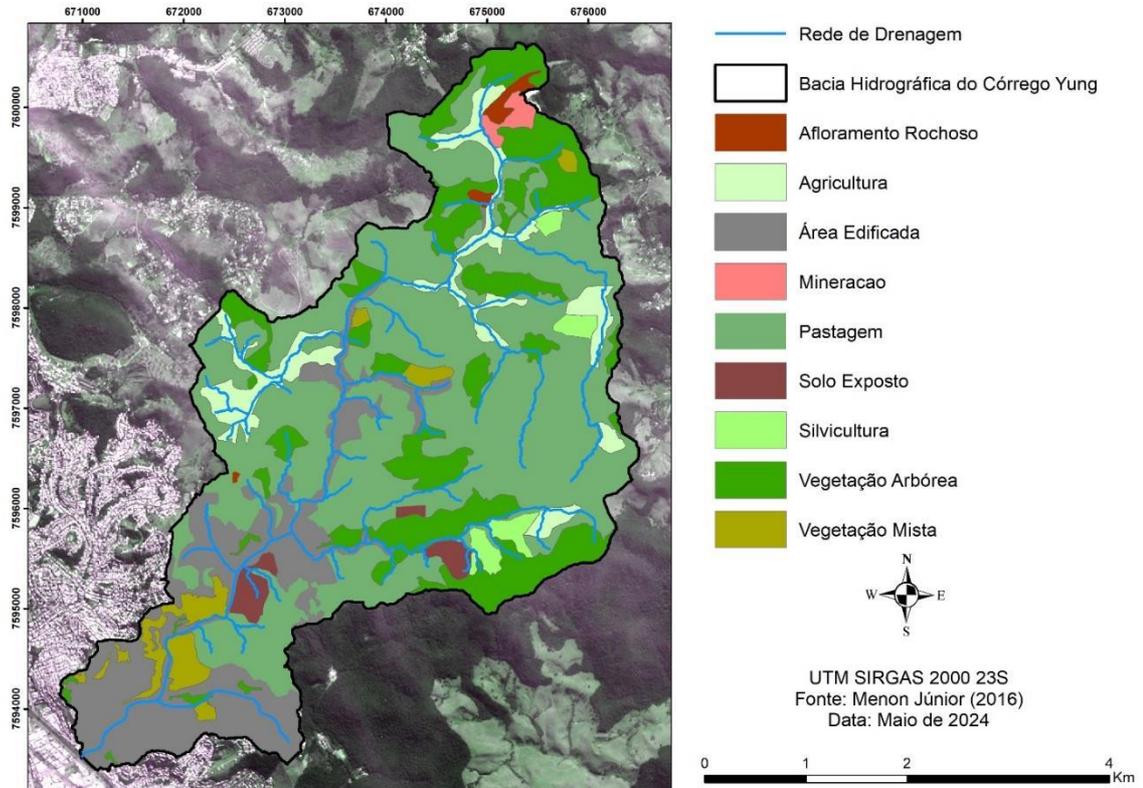
Figura 28 - Uso e cobertura da terra em 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As diferenças entre 2010 e 2023 são mínimas, evidenciando que a ocupação da bacia se estabilizou. As pequenas mudanças seguem o mesmo cenário posterior: diminuição das áreas de pastagem, com aumento nas classes de agricultura, área edificada e vegetação arbórea. A ocupação que segue em direção à montante da bacia, nas áreas periurbanas, não seguem a lógica da expansão urbana desenfreada, sendo compostas por pequenos produtores e loteamentos residenciais fechados, como sítios e chácaras (Figura 29).

Figura 29 - Uso e cobertura da terra em 2023



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A distribuição espacial das classes é bem diversa. A área de estudo mostra-se consideravelmente urbanizada em seu baixo e médio curso, predominando a classe de áreas edificadas próximas aos cursos d'água. No bairro Linhares, bairro mais populoso da bacia, o córrego Yung apresenta-se extremamente artificializado e retificado, seguindo uma lógica de ocupação ordenada pelo capital imobiliário.

As áreas de planícies e terraços estão ocupadas por estradas e residências, que chegam a entrar em contato direto com o córrego, acentuando problemáticas relativas à degradação de suas águas, já que o despejo de efluentes é feito de forma direta. Além disso, em épocas de cheias, inundações se fazem frequentes, acentuadas pela impermeabilização de superfícies. (Figura 30).

Figura 30 - Córrego Yung no bairro Linhares



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

As áreas destinadas à agricultura estão concentradas nas porções centro-oeste da bacia, fazendo o uso do córrego Yung e de seus afluentes para captação e irrigação das culturas, seja por meio manual ou através de suas cheias (Figura 31).

No entanto, embora seja um uso diretamente menos nocivo à morfologia do canal, o uso de fertilizantes na agricultura entra em contato direto com o lençol freático através da percolação das águas, e com o curso d'água adjacente por meio do escoamento superficial. Soma-se a isso os depósitos tecnogênicos advindos da outra margem e os sedimentos carregados pela estrada, degradando e assoreando os cursos d'água que são utilizados pela população.

Figura 31 - Áreas destinadas à agricultura nas margens dos córregos e cursos d'água



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

As áreas de pastagens são as mais usuais próximas aos cursos d'água, distribuídas de forma uniforme ao longo da bacia, principalmente em seu alto curso, em zonas periurbanas. Pode-se dizer que as áreas de pastagens associadas aos cursos d'água estão situadas em menor número em cabeceiras de drenagem e em vertentes, e em sua plena maioria em planícies e fundos de vale encaixados, principalmente na porção leste da bacia (Figura 32).

Conseqüentemente, consistem na classe de uso e cobertura mais predominante, já que em áreas periurbanas não são usuais alterações antrópicas nos cursos d'água ou em suas adjacências imediatas. No entanto, o uso predominante de pastagens na área, aliados à construção de estradas em toda a extensão da bacia, podem resultar em um acúmulo de sedimentos prejudicial aos cursos d'água e às áreas úmidas locais, assoreando-as e modificando sua dinâmica.

Figura 32 - Córrego Yung próximo à sua nascente, recoberto por pastagem



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Os fragmentos de cursos d'água circundados por vegetação arbórea estão situadas principalmente nas porções norte e leste da bacia, em áreas próximas aos interflúvios da bacia, que são de difícil acesso e que ainda não foram ocupadas, devido principalmente às suas características geomorfológicas. Desta forma, pode-se inferir que as nascentes destes cursos d'água estão relativamente protegidas. No entanto, o percentual da classe é baixo ao se considerar toda a extensão da rede de drenagem, indicando que sua dinâmica fluvial já foi severamente alterada por outras formas de uso e ocupação da terra.

6.2 ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO YUNG

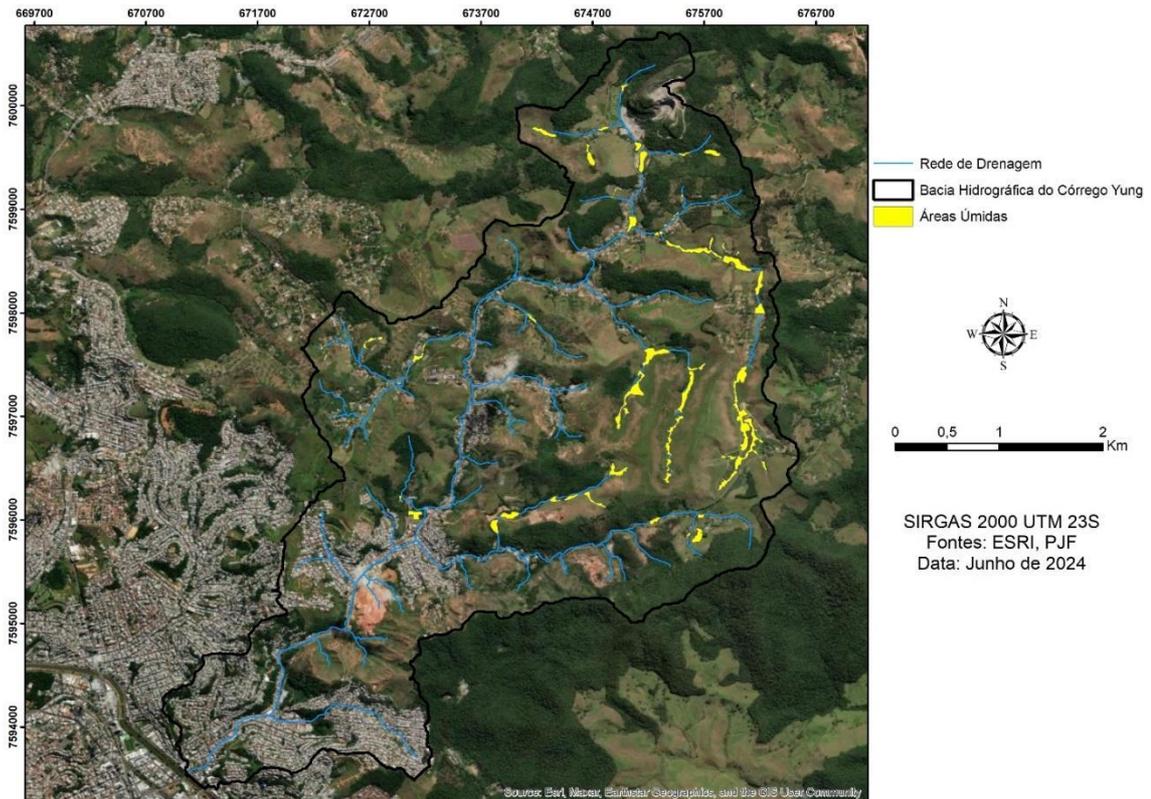
Foram identificadas 64 áreas úmidas na bacia hidrográfica do córrego Yung (Figura 33). Destaca-se que sua distribuição espacial é desigual, já que grande parte das áreas úmidas estão no alto curso da bacia, principalmente em sua margem leste. Como mencionado na subseção anterior, as formas de ocupação da bacia ocorrem de maneiras diferentes: em baixo e médio curso, as encostas e fundos de vale estão completamente antropizados, com uma consolidação urbana seguindo às lógicas do capital imobiliário, suprimindo os hidrossistemas previamente existentes.

Nas áreas periurbanas, mais afastadas, a expansão urbana perde força e as formas de ocupação são menos predatórias aos hidrossistemas, destacando-se o uso de pastagem e agricultura, que embora nocivos aos hidrossistemas, por ora não levaram à sua supressão.

Soma-se a isso as características geomorfológicas da área: na porção leste observa-se que três fundos de vale abarcam grande parte das áreas úmidas locais. Esses fundos de vale encontram-se em direção contrária à drenagem principal, o que leva a crer em uma reorganização relativamente recente da rede de drenagem.

As numerosas cabeceiras de drenagem da bacia também perfazem condições propícias para a formação de áreas úmidas, onde a água subsuperficial exfiltra e forma fluxos helocrenos nas porções côncavas, e reocrenos que drenam em direção aos fundos de vale.

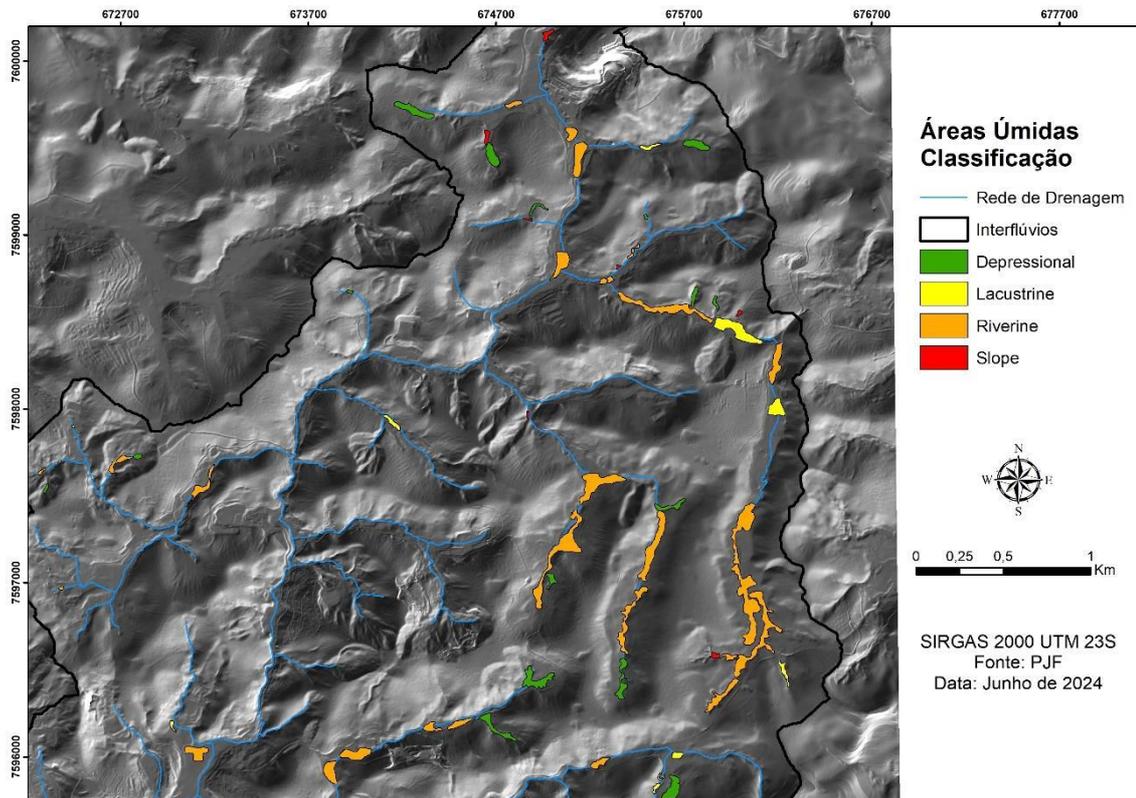
Figura 33 - Localização das áreas úmidas na bacia hidrográfica do Córrego Yung



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante dessas características, as áreas úmidas foram catalogadas de acordo com a classificação hidrogeomorfológica proposta por Brinson (1993), vista como adequada para os hidrossistemas da área de estudo (Figura 34, Quadro 6).

Figura 34 - Distribuição das classes hidrogeomorfológicas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 6 - Frequência das classes hidrogeomorfológicas

Classe Hidrogeomorfológica	Frequência
Depressão	16 (25,00%)
Lacustre	11 (17,19%)
Fluvial	30 (46,88%)
Encosta	7 (10,94%)
Total	64 (100%)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A classe mais representada são as áreas úmidas fluviais (46,88%), referentes às planícies de inundação associadas aos cursos d'água. Suas principais fontes de alimentação estão associadas a fluxos laterais advindos das cheias de cursos d'água, principalmente em canais de primeira ordem, além do contato hidráulico com o aquífero que abastece os córregos (BRINSON, 1993). Os fundos de vale e áreas de planícies são áreas de agradação fluvial, onde fluxos d'água e materiais de origem coluvial e/ou aluvial se acumulam, carregados pela ação gravitacional e por escoamento superficial, via vertente-planície, como por inundações via canal-planície (GOMI; SIDLE; RICHARDSON, 2002) (Figura 35).

Gurnell et al. (2015) apontam a importância da vegetação nativa, que em conjunto aos processos hidrogeomorfológicos de escoamento superficial e a mobilização, transporte e

deposição de sedimentos, atuam para moldar as formas, as dinâmicas e a complexidade na conectividade entre canais fluviais e as planícies de inundação associadas.

Na porção centro-leste da bacia existe uma maior incidência de áreas úmidas com essas características, margeando cursos d'água de primeira ordem encaixados em fundos de vale nessa porção da bacia. Por ser uma área periurbana, as formas de uso e cobertura da terra predominantes são de pastagens, ocupadas por proprietários rurais ou pequenos empreendimentos, como sítios e chácaras.

Figura 35 - Área úmida fluvial



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Em menor número pode-se encontrar áreas úmidas fluviais na porção norte da bacia, margeando principalmente canais de segunda ordem próximos à propriedade da pedreira Santo Cristo; na porção leste, próxima ao interflúvio, em propriedades residenciais de pequenos proprietários; e na porção central da bacia, em seu médio curso, em uma área recoberta por pastagens, fora do vetor central de expansão urbana.

As áreas úmidas de depressão (25%) constituem-se na segunda classe mais abundante (Figura 36). Kolpa e Jackson (2006) ressaltam que as áreas úmidas de depressão costumam ser relativamente pequenas, estando associadas às depressões topográficas em cabeceiras de drenagem e porções côncavas em alta e média vertentes, normalmente desassociadas de outros corpos d'água, sendo alimentadas principalmente por águas subsuperficiais e/ou precipitações e escoamento superficial das vertentes. A morfologia convergente do relevo possibilita que os fluxos d'água, que carregam materiais coluviais e/ou aluviais, sejam convergentes, direcionando-se ao centro da concavidade (*hollows*) e depositando água, sedimentos e matéria orgânica (GOMI; SIDLE; RICHARDSON, 2002).

A distribuição espacial dessas áreas úmidas não apresenta concentração específica em algum setor, já que esses hidrossistemas são formados principalmente em cabeceiras de drenagem, e elas estão presentes em toda a extensão da bacia. Evidentemente, a maior incidência de cabeceiras de drenagem com áreas úmidas está no médio e alto curso da bacia, em áreas cobertas por pastagens e vegetação arbórea.

Figura 36 - Área úmida de depressão



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Pode-se destacar que existem três áreas úmidas de depressão na porção norte da bacia: duas no sentido noroeste, e uma no sentido nordeste. As três apresentam-se próximas aos interflúvios da bacia, em áreas com nenhuma forma de ocupação antrópica em seus arredores próximos.

Assim como as áreas úmidas fluviais destacadas na porção mais central da bacia, em um fundo de vale encaixado, existem duas cabeceiras de drenagem que formam áreas úmidas de depressão, gerando fluxos helocrenos e também reocrenos, que abastecem o canal fluvial e as áreas úmidas fluviais.

A terceira classe mais representada é a Lacustre (17,19%). Essas áreas úmidas se formam às margens de lagos, predominando fluxos bidirecionais, laterais e trocas de matéria e energia entre esses dois hidrossistemas, onde a elevação do nível do lago alimenta as áreas úmidas. Na área de estudo existe uma abundância significativa de lagos, sejam eles naturais ou antrópicos, contribuindo para a formação de áreas úmidas (Figura 37).

Destaca-se que a distribuição espacial dessas áreas úmidas se concentrou próxima ao córrego Yung, seja nas suas margens ou em interflúvios próximos. Os lagos que alimentam essas áreas úmidas são significativamente antropizados, feitos através de barramentos pelos moradores locais de fazendas e conjuntos residenciais próximos. As outras áreas úmidas lacustres estão espalhadas de forma uniforme na bacia, associadas a lagos naturais, principalmente na porção norte, oeste e centro-oeste.

Figura 37 - Área úmida lacustre ao fundo



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Por fim, a classe menos representada é a de encosta (10,94%), onde as áreas úmidas se formam em sopés de vertentes, formadas através do acúmulo de escoamento superficial via fluxos unidirecionais advindos do escoamento superficial das vertentes, ou por exfiltração subsuperficial. Smith et al. (1995) destaca que áreas úmidas com essas características geralmente não armazenam muita água devido a sua morfologia, já que não possuem limites laterais definidos. Brinson et al. (1995) aponta que áreas úmidas de encosta podem desenvolver pequenos canais à jusante para transportar a água.

A distribuição espacial das áreas úmidas de encosta corrobora com as características supramencionadas. Tais áreas úmidas estão bem distribuídas pela bacia, não sendo possível identificar uma concentração em uma localização específica. No entanto, frequentemente esses hidrossistemas estão associados a outros, evidentemente próximos às vertentes e cabeceiras de drenagem, mas também de canais de primeira ordem, indicando que o fluxo superficial que alimenta essas áreas úmidas segue à jusante e também abastece os cursos d'água (Figura 38).

Figura 38 - Área úmida de encosta



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

De forma correlata, elaborou-se um mapa com a distribuição das áreas úmidas a partir do índice de circularidade, buscando correlações com as classes hidrogeomorfológicas (Figura

39, Quadros 7 e 8). A delimitação de cinco classes auxiliou na interpretação da fisiografia e morfologia das áreas úmidas locais, de forma a separar hidrossistemas de morfologias mais arredondadas/alongadas de hidrossistemas de formas mais irregulares (valores intermediários).

Quadro 7 - Formato das áreas úmidas

Índice de circularidade	Frequência
0 – 0,2 (Classe 1)	7 (10,94%)
0,2 – 0,4 (Classe 2)	20 (31,25%)
0,4 - 0,6 (Classe 3)	20 (31,25%)
0,6 – 0,8 (Classe 4)	12 (18,75%)
0,8 – 1,0 (Classe 5)	5 (7,81%)
Total	64 (100%)

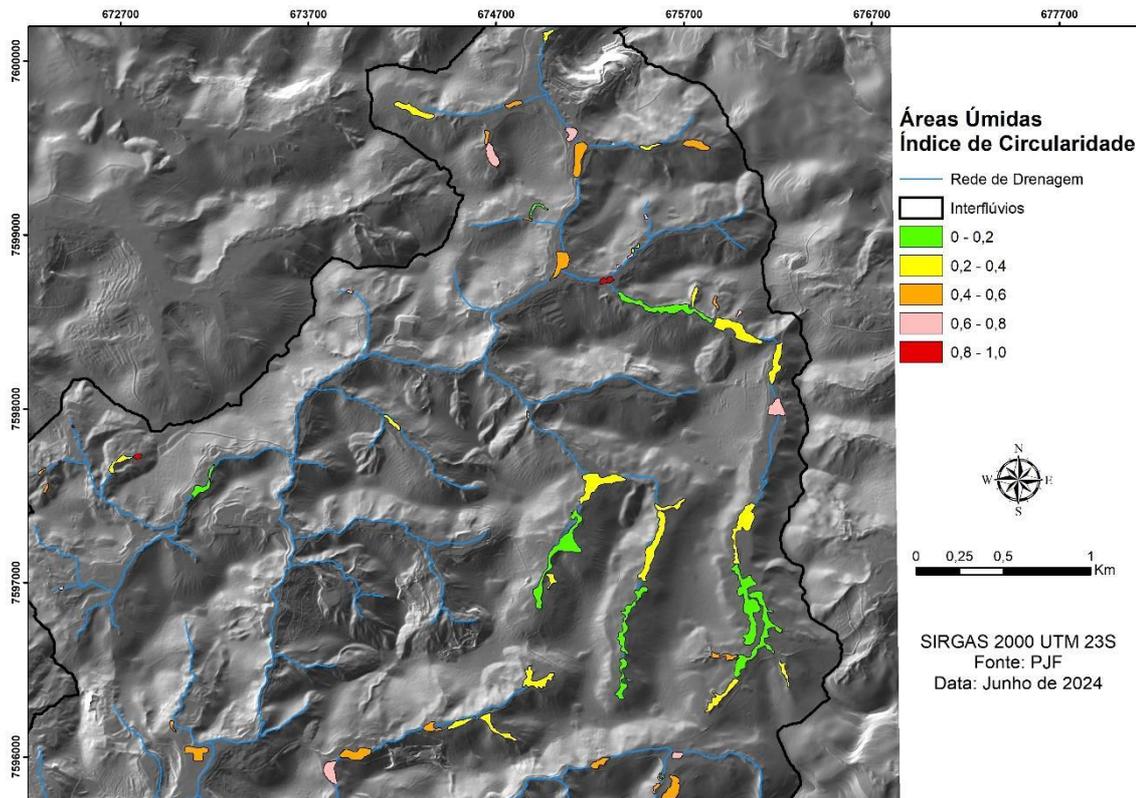
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 8 - Formato das áreas úmidas e classes hidrogeomorfológicas associadas

Classes hidrogeomorfológicas	Índices de Circularidade (Ocorrência/%)				
	0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0
	(Classe 1)	(Classe 2)	(Classe 3)	(Classe 4)	(Classe 5)
Depressão	2 (28,57%)	6 (30,00%)	4 (20,00%)	3 (27,27%)	1 (20,00%)
Lacustre	0 (00,00%)	5 (25,00%)	3 (15,00%)	2 (18,18%)	1 (20,00%)
Fluvial	5 (71,43%)	8 (40,00%)	9 (45,00%)	5 (45,45%)	3 (60,00%)
Encosta	0 (00,00%)	1 (5,00%)	4 (20,00%)	2 (18,18%)	0 (0,00%)
Total	7 (100%)	20 (100%)	20 (100%)	12 (100%)	5 (100%)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 39 - Índice de Circularidade das áreas úmidas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A classe 1 refere-se às áreas úmidas com formatos mais alongados. Pelas características morfológicas das áreas úmidas fluviais, associadas aos cursos d'água e usualmente sem limites laterais definidos por vertentes, esses hidrossistemas compõem a maioria das áreas úmidas de formato alongado (71,43%). Destaca-se que essas áreas úmidas fluviais estão associadas aos fundos de vale e planícies. Locais com planícies de maior extensão longitudinal favorecem a formação de áreas úmidas de morfologia mais alongada, já que não existem limites laterais imediatos (excetuando-se o curso d'água associado). Guimarães (2023) aponta que essas áreas úmidas acompanham a rede de drenagem e têm sua disposição morfológica associada às respostas do canal fluvial aos *inputs* de matéria e energia.

A classe 2, com áreas úmidas com formatos mais indefinidos, porém tendendo a formas levemente alongadas, apresentou um cenário equilibrado. As áreas úmidas fluviais foram maioria (40%), mas existe também um número significativo de áreas úmidas de depressão (30%). As áreas úmidas lacustres aparecem com maior frequência na Classe 2. Embora possuam distintas fontes primárias de abastecimento, essas áreas úmidas são alimentadas por fluxos bidirecionais associados aos lagos adjacentes, também não contam com limites morfológicos imediatos que impeçam a circulação da água, se aproximando assim de formas levemente alongadas.

A classe 3, com valores intermediários, apresentou maior equilíbrio. As áreas úmidas fluviais são maioria (45%), mas provavelmente por sua frequência relativa ser maior em comparação às outras classes hidrogeomorfológicas. Destaca-se a presença de áreas úmidas de encosta na Classe 3 (20%). Embora próximas às vertentes que as alimentam, o fluxo superficial se concentra nesses ambientes helocrenos, mas também se expande lateralmente e em direção aos cursos d'água, quando próximos.

Para as Classes 4 e 5, que se aproximam de formatos arredondados, as áreas úmidas fluviais também são maioria: 45,45% na Classe 4 e 60% na Classe 5, enquanto as áreas úmidas de depressão perfazem 27,27% na classe 4 e 20% na Classe 5. Por possuírem formatos côncavos e limites definidos pela sua morfologia, o cenário esperado era de morfologias mais arredondadas para as áreas úmidas de depressão. No entanto, essas áreas úmidas tendem à uma morfologia levemente alongada/intermediária, se aproximando mais das Classes 2 e 3.

De forma geral, as áreas úmidas lacustres e de depressão possuem maior frequência na classe 2, indicando que são áreas úmidas levemente alongadas. As áreas úmidas fluviais e de encosta possuem seus maiores números na classe 3. Estes resultados mostram que as áreas úmidas do rol analisado tendem a ser irregulares e levemente alongadas.

Portanto, os resultados encontrados não permitem fazer uma correlação direta entre as classes hidrogeomorfológicas e as características fisiográficas das áreas úmidas. As variações entre essas duas características podem ser resultantes de dois fatores:

- 1- Geomorfológicos: As vertentes da bacia são extensas e consideravelmente declivosas, como pode ser visto na frequência de áreas úmidas "*Depressional*". Desta forma, fluxos superficiais e subsuperficiais direcionam-se de áreas de recarga para áreas de descarga, seguindo a força gravitacional e procurando locais de menor gradiente hidráulico. Isso significa que a água não fica estagnada em um único local e os possíveis "limites" não são suficientes para conter o fluxo de água superficial estagnado, resultando em uma morfologia difusa do hidrossistema.
- 2- Antrópicos: é comum observar mudanças antrópicas nos arredores dos hidrossistemas, como áreas úmidas e lagos. É possível observar nas Figuras 40 e 41 como a criação de estradas e barramentos alteram a dinâmica fluvial e a morfologia desses hidrossistemas, atuando como elementos de desconectividade e afetando processos hidrogeomorfológicos de acúmulo de água e deposição de sedimentos.

Figura 40 - Hidrossistema com limites definidos por estradas



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Figura 41 - Barramento realizado em lago



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

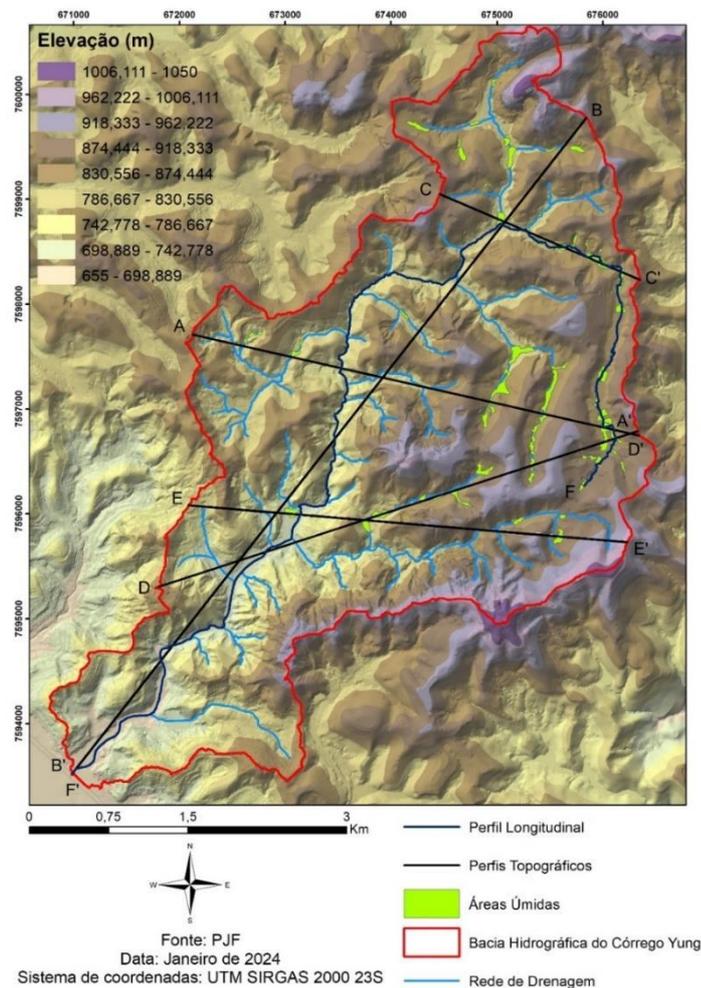
6.3 PERFIS TOPOGRÁFICOS

Foram elaborados seis perfis topográficos, sendo cinco deles transversais. Em quatro deles, o percurso atravessa a bacia de um interflúvio a outro. O perfil transversal restante (B-B') corta a bacia em sentido N-S, partindo de suas maiores elevações à montante da bacia e se

encerrando em porções menos elevadas, referentes à jusante da bacia hidrográfica e foz da rede de drenagem. O perfil longitudinal (F-F') segue a rede de drenagem principal, referente ao córrego Yung, iniciando em sua nascente e terminando em sua confluência com o rio Paraibuna (Figura 42).

Dentro dos perfis transversais, optou-se pela interpolação no gráfico em forma de pontos os intervalos onde o perfil passa pelo centro de áreas úmidas. Para o perfil longitudinal, foram destacados os intervalos contínuos no qual o córrego possui áreas úmidas em suas margens. A escolha por segmentar apenas um trecho ao invés de intercalá-los deve-se ao intervalo de metros entre as áreas úmidas serem pouco relevantes na escala adotada ao trabalhar o perfil (1:30.000).

Figura 42 - Perfis topográficos na bacia hidrográfica do córrego Yung



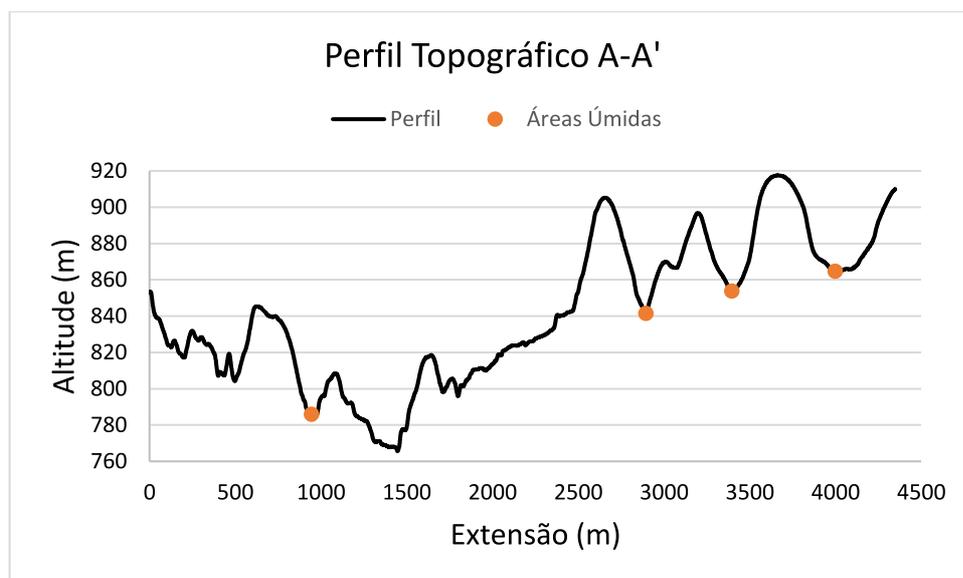
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil A-A' percorre a bacia no sentido oeste-leste, sendo traçado de maneira a passar por quatro áreas úmidas dispostas de forma relativamente paralelas entre si, consistindo em áreas úmidas de fundo de vale. Percebe-se que as “oscilações” na parte final do perfil correspondem aos interflúvios e fundos de vale que perfazem a ocorrência dessas áreas úmidas,

associadas principalmente à canais de primeira ordem, presentes em áreas menos antropizadas da bacia, recobertas por pastagens, resultando na formação de áreas úmidas mais extensas (Figura 43).

É possível identificar uma amplitude topográfica entre os interflúvios da margem oeste (aproximadamente 860 metros) e da margem leste (aproximadamente 920 metros). A rede de drenagem do córrego Yung (margem leste) apresenta-se encaixada em fundos de vale controlados por essas vertentes declivosas, perfazendo condições mais propícias para a formação de áreas úmidas fluviais. Soma-se às condições geomorfológicas o fato de que a margem leste tem o uso da terra predominante de pastagens, enquanto a margem oeste apresenta uso mais acentuado de agricultura. Além disso, a margem leste está assentada em ortogranulitos, enquanto a margem oeste está sobre ortognaisses. Destaca-se também que o fundo de vale situado na faixa dos 1500 metros não possui áreas úmidas, influenciado pela densa antropização do médio curso (porção central) da bacia.

Figura 43 - Perfil topográfico transversal A-A'



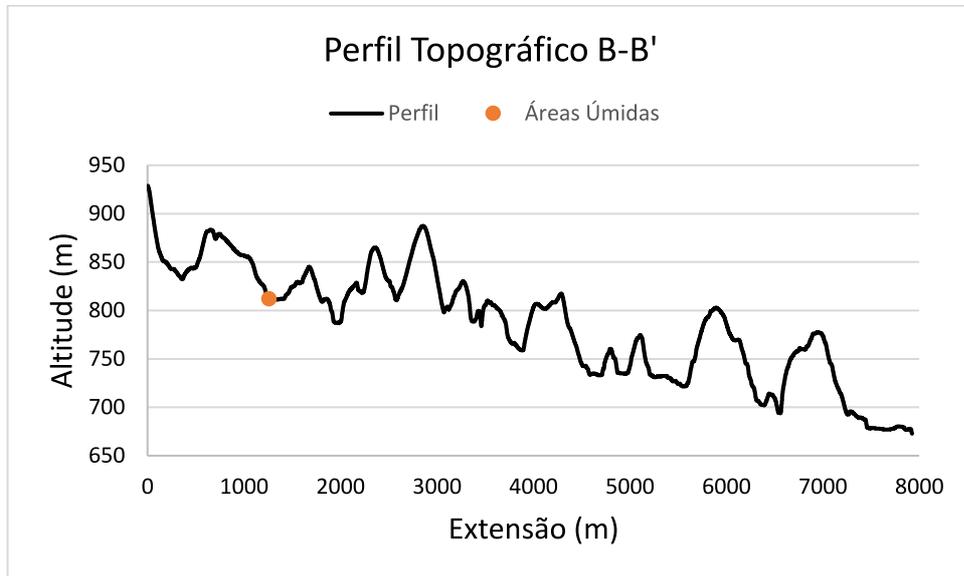
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil B-B' parte da área à montante da bacia e se encerra à jusante, na foz do córrego Yung com o rio Paraibuna. O perfil passa próximo à uma área úmida. No sentido Norte-Sul, a topografia da bacia oscila, com uma amplitude de aproximadamente 300 metros. São numerosas as vertentes e fundos de vale, consistindo em morfologias que conformam a disposição de hidrossistemas como áreas úmidas e nascentes (Figura 44).

Percebe-se que o perfil atravessa poucas áreas úmidas. Isso se justifica por dois fatores: o perfil passa de forma perpendicular aos fundos de vale associados aos afluentes do Córrego Yung. Além disso, as áreas úmidas apresentam-se em menor número, já que o fundo de vale do

córrego Yung situado nesta porção central da bacia mostra-se extremamente antropizado, sendo o vetor de expansão urbana que se inicia à jusante e segue em direção à montante.

Figura 44 - Perfil topográfico transversal B-B'



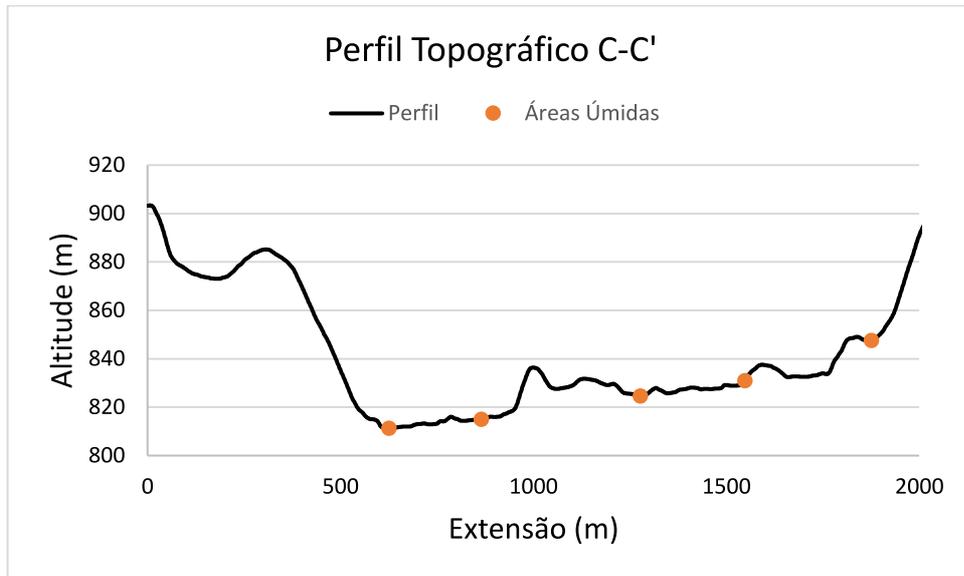
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil C-C' também está disposto no sentido oeste-leste, mas em uma porção à montante da bacia, atravessando cinco áreas úmidas formadas em planícies dispostas no fundo de vale referente ao início do córrego Yung. Destaca-se que o perfil passa por um trecho onde ocorre uma inflexão da drenagem, cujo curso d'água de primeira ordem na porção ao extremo leste da bacia (córrego Yung) passa a fluir para seu centro (Figura 45).

Até os 815 metros, o perfil passa por ortognaisses. Entre 815 e 1366 metros, predominam litologias de biotita gnaisse. Entre 1366 até 2000 metros, o perfil percorre um trajeto onde ortogranulitos se fazem presentes.

Por serem recobertas principalmente por pastagens e estarem em fundos de vale típicos, as áreas úmidas desse fundo de vale possuem maior extensão caso comparadas às duas primeiras áreas úmidas do perfil, dispostas em áreas de agricultura e associadas aos afluentes do córrego Yung.

Figura 45 - Perfil topográfico transversal C-C'

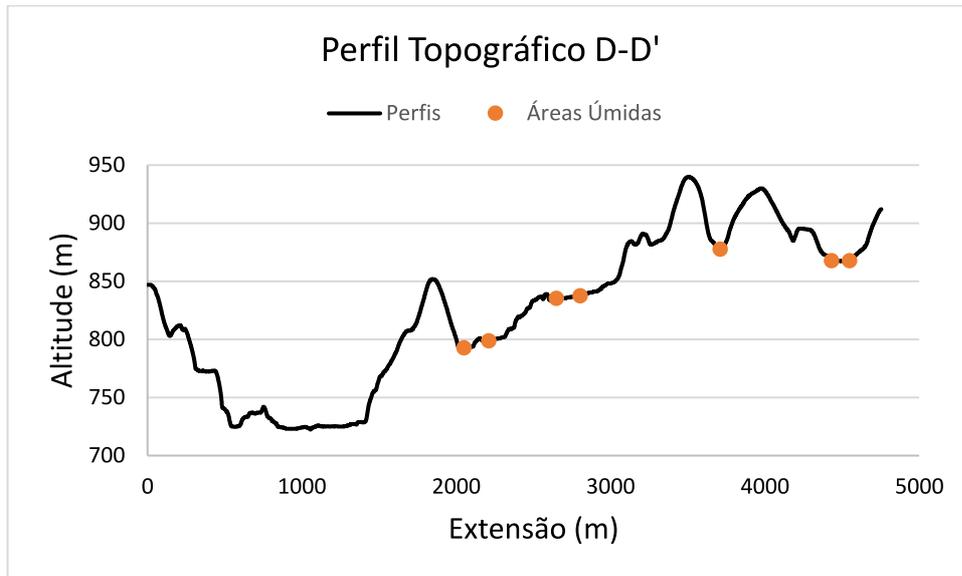


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil D-D', assim como os perfis A-A' e C-C', segue a direção oeste e leste, mas de maneira a percorrer sete áreas úmidas. Em sua porção média, o perfil passa de maneira paralela por áreas úmidas fluviais, situadas em fundos de vale, entre 2000 e 3000 metros. A relativa estabilidade vai se acentuando até ultrapassar um interflúvio local. Após isso, o perfil percorre interflúvios e fundos de vale, onde se formam duas áreas úmidas de fundo de vale na margem leste, de maneira que o perfil as corta de maneira perpendicular, evidenciada nas oscilações ao fim do gráfico (Figura 46).

A partir dos 2000 metros, onde aparecem as áreas úmidas, o uso da terra é composto por pastagens, em áreas próximas ao contato litológico referente à transição entre ortognaisses e ortogranulitos, enquanto a forma de relevo dominante é de morrotes, com exceção de onde passam as áreas úmidas (planícies alúvio-coluvionares).

Figura 46 - Perfil topográfico transversal D-D'



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

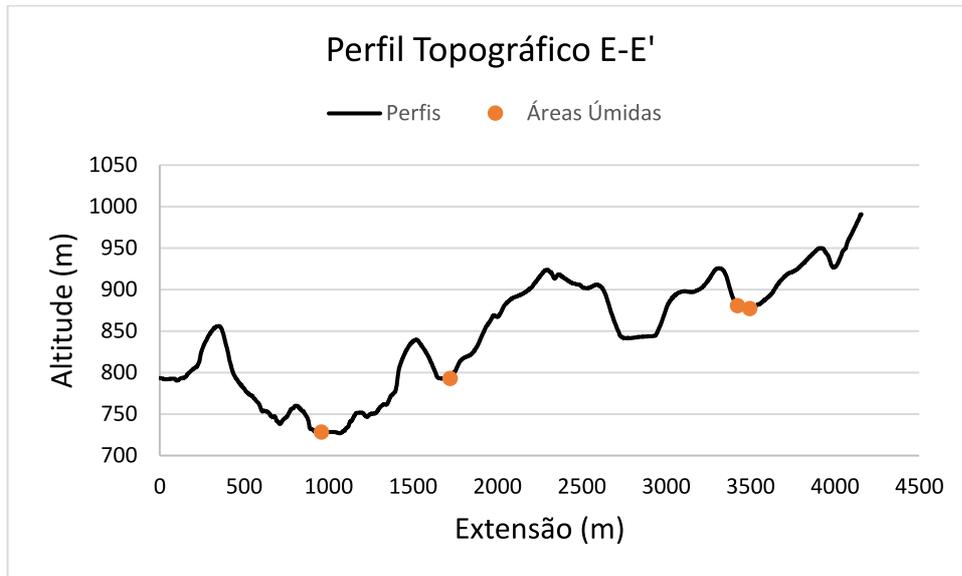
O perfil E-E' segue a mesma direção dos perfis supramencionados, mas passando quatro áreas úmidas, iniciando-se na porção oeste da bacia até alcançar um interflúvio da bacia na porção leste. As duas primeiras áreas úmidas do perfil são áreas úmidas fluviais, enquanto as duas últimas são lacustres e de depressão, respectivamente. Enquanto as três primeiras estão em planícies alúvio-coluvionares, a área úmida de depressão está situada em um morro (Figura 47).

Quanto à litologia, a primeira área úmida (1000 metros) está situada sobre biotita gnaisse, enquanto a segunda área úmida (1730 metros) localiza-se sobre ortognaisses. As duas áreas úmidas restantes (3500 metros) estão assentadas sobre ortogranulitos.

No entanto, as formas de uso e ocupação da terra são distintas: a primeira área úmida está situada em área edificada; a segunda área úmida está em áreas de pastagem; a terceira e quarta estão em áreas de agricultura.

Cabe ressaltar que as áreas úmidas da porção leste apresentam certo controle topográfico, dispostas em altitudes semelhantes. Tal fator possivelmente explica-se pelo nível potenciométrico do aquífero nessa porção da bacia.

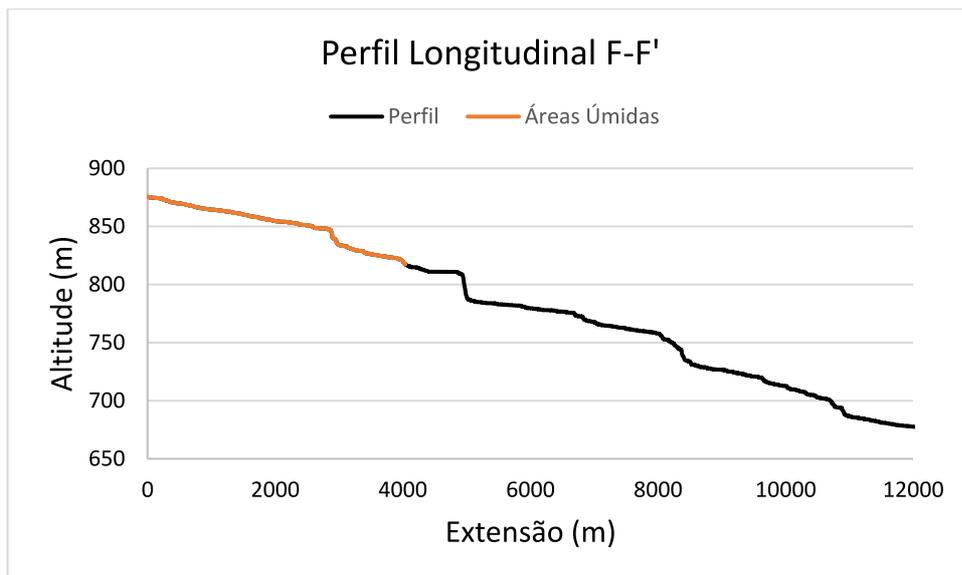
Figura 47 - Perfil topográfico transversal E-E'



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil F-F' é referente a um perfil longitudinal que percorre toda a extensão do córrego Yung, partindo de sua nascente e se encerrando em sua foz. Percebe-se a ocorrência de um *knickpoint* significativo na faixa dos 4800-5000 metros. Sua ocorrência está associada aos contatos litológicos e a falha de empurrão próximos à essa área, onde a rede de drenagem transita entre ortogranulitos (até 3000 metros) e biotita gnaiss (Figura 48).

Figura 48 - Perfil topográfico longitudinal F-F'



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Cabe destacar que até cerca de 4000 metros de extensão do perfil e do curso d'água, existem abundantes áreas úmidas no trecho selecionado. Por situar-se em uma zona periurbana,

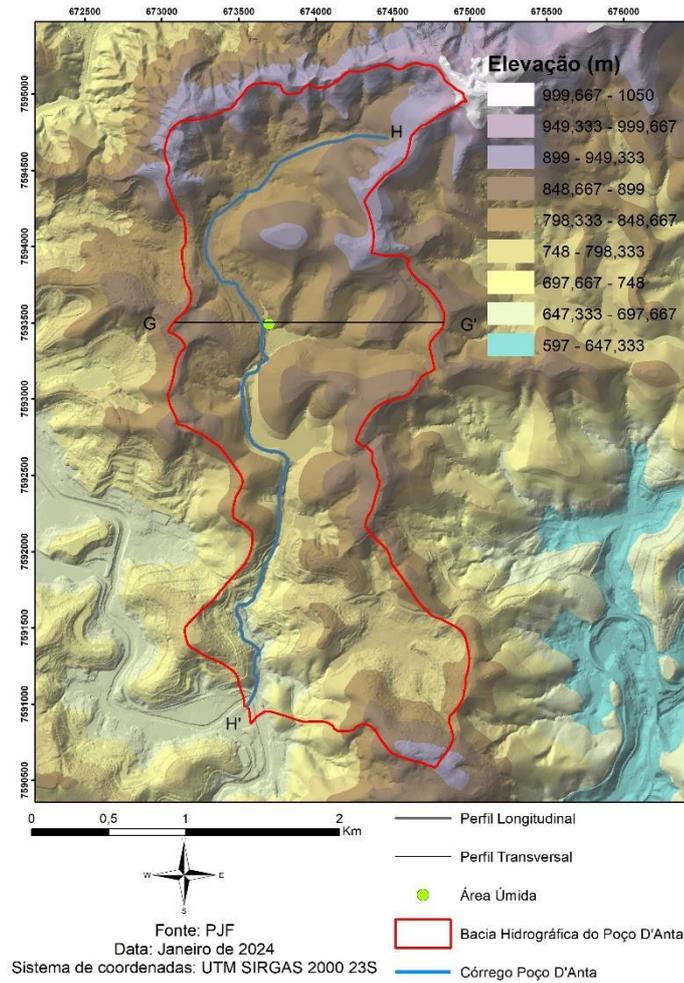
o local onde a nascente e o referido curso d'água se encontram apresenta-se pouco antropizado, sendo recoberto majoritariamente por pastagens, com alguns fragmentos de terra destinados à agricultura. A área é ocupada por pequenas residências, conjuntos habitacionais, como sítios e chácaras, com vias de acesso predominantemente de estradas de terra ao seu entorno, com poucos locais onde há a possibilidade de um acesso direto.

As vertentes declivosas e os fundos de vale relativamente encaixados dão origem à cursos d'água perene e planícies inundáveis de considerável extensão, perfazendo condições propícias para formação de áreas úmidas fluviais. O referido cenário não se estende ao médio e baixo curso da bacia hidrográfica devido às significativas alterações de cunho antrópico aplicadas ao córrego Yung e seus tributários, percorrendo um trajeto dominado por áreas edificadas a partir dos seus 4000 metros.

Para a bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta (Figura 49), o perfil transversal G-G' apresenta variações de aproximadamente 75 metros (875m-800m) (Figura 50). A área úmida está inserida em um dos fundos de vale presentes na bacia, margeando um canal fluvial que passa no nível de base local. Em seus arredores, existem morros de encostas suavizadas, em formatos côncavos, associados às cabeceiras de drenagem das vertentes cobertas por uma densa vegetação arbórea.

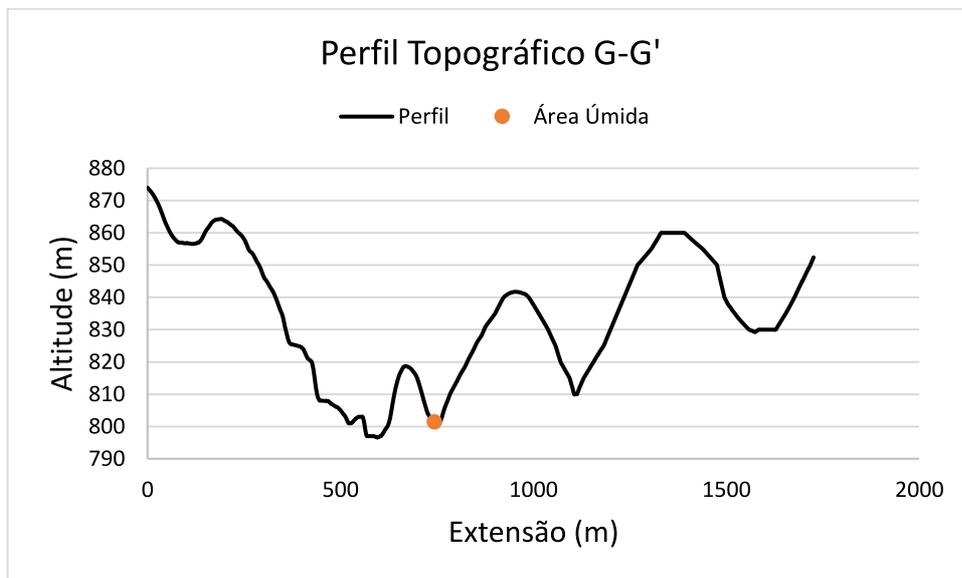
O perfil longitudinal H-H' apresenta variações de aproximadamente 200 metros (875m-675m) (Figura 51). A área úmida se forma no médio curso do Córrego Poço D'Anta, em uma zona de baixa energia, tendo em vista que esse canal fluvial possui fluxos difusos. A transição do alto para o médio curso do canal fluvial é suave, enquanto em seu baixo curso, é possível identificar um *knickpoint* extenso, onde o canal fluvial ganha energia.

Figura 49 - Perfis topográficos na bacia hidrográfica do córrego Yung



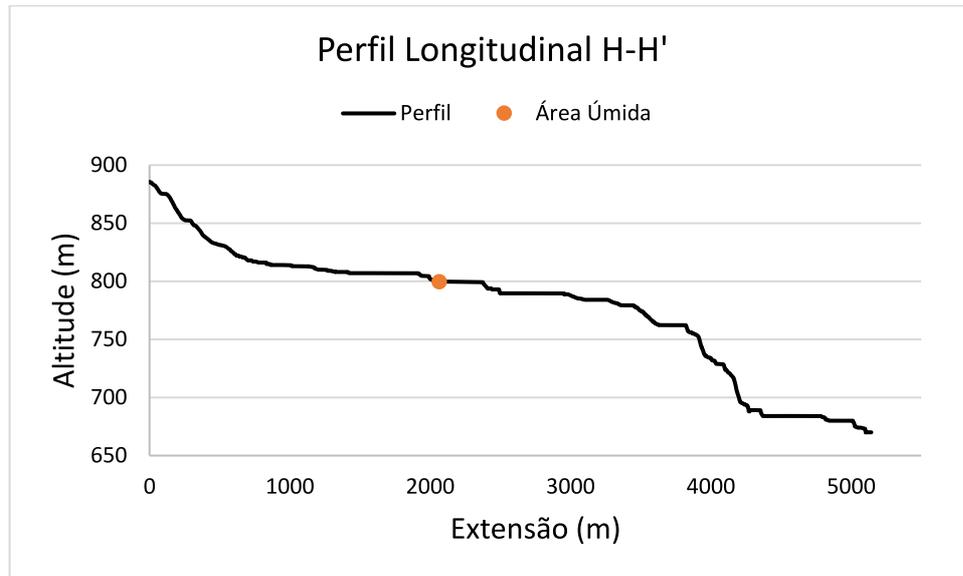
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 50 - Perfil topográfico transversal G-G'



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 51 - Perfil topográfico longitudinal H-H'



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Portanto, os perfis topográficos indicam que a distribuição espacial das áreas úmidas está condicionada pelas características hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas, onde existem formas de relevo que possuem condições propícias para a formação de áreas úmidas, associadas principalmente aos fundos de vale e às vertentes mais declivosas, onde fluxos de matéria e energia, na forma de água e sedimentos, se acumulam e depositam.

Para os perfis topográficos da bacia hidrográfica do córrego Yung, acrescenta-se que alterações nas formas de uso e cobertura da terra também influenciam na distribuição espacial das áreas úmidas. No baixo e médio curso da bacia predominam áreas densamente edificadas, enquanto no alto curso, em zonas periurbanas, predominam-se áreas destinadas à agricultura em meio ao uso de pastagens ainda hegemônico, mantendo-se assim a estrutura de algumas áreas úmidas nas planícies fluviais e cabeceiras de drenagem. Exemplificando esta relação, é possível observar que existem fundos de vale em que não há a presença de áreas úmidas, embora as características hidrogeomorfológicas locais sejam propícias para sua formação. Tal fator se deve à impermeabilização de superfície e canalização/supressão de canais fluviais, impedindo a formação de hidrossistemas.

6.4 ÁREAS ÚMIDAS VISITADAS EM CAMPO

Foram selecionadas quatro áreas úmidas *in loco*, escolhidas através das formas de uso e cobertura da terra predominantes. Buscou-se identificar quatro contextos de uso e cobertura da terra distintos entre si:

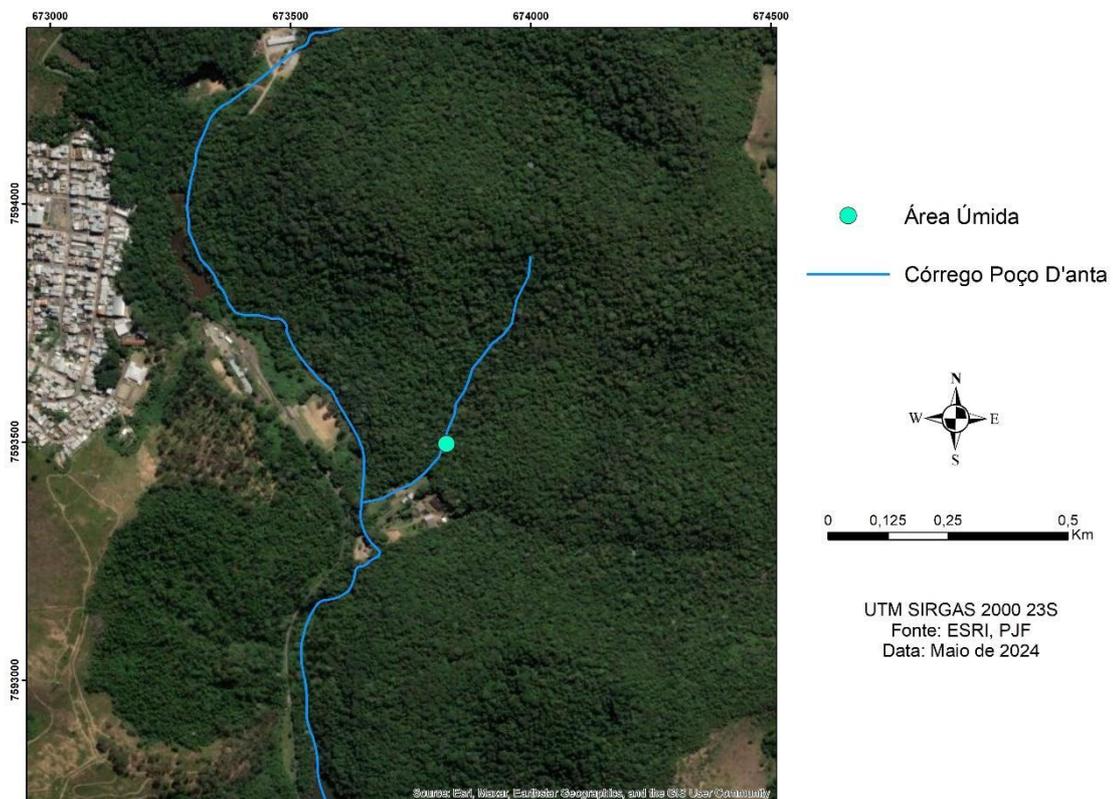
- AU1: Vegetação arbórea fechada, em unidade de conservação;

- AU2: Predominância de pastagem com fragmentos de vegetação arbórea;
- AU3: Pastagem com uso de agricultura;
- AU4: Arredores totalmente recoberto por pastagens.

6.4.1 ÁREA ÚMIDA - AU1

A área úmida AU1 está localizada na reserva biológica municipal do Poço D'Anta, inserida na bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta. Esta área úmida está situada em um contexto de uso e cobertura da terra de vegetação arbórea densa, em mata fechada, podendo ser classificada como uma área úmida fluvial, situada às margens de um afluente do córrego Poço D'Anta (Figuras 52 e 53).

Figura 52 - Localização da área úmida situada na bacia hidrográfica do córrego Poço D'Anta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 53 - Área úmida (AU1) em campo

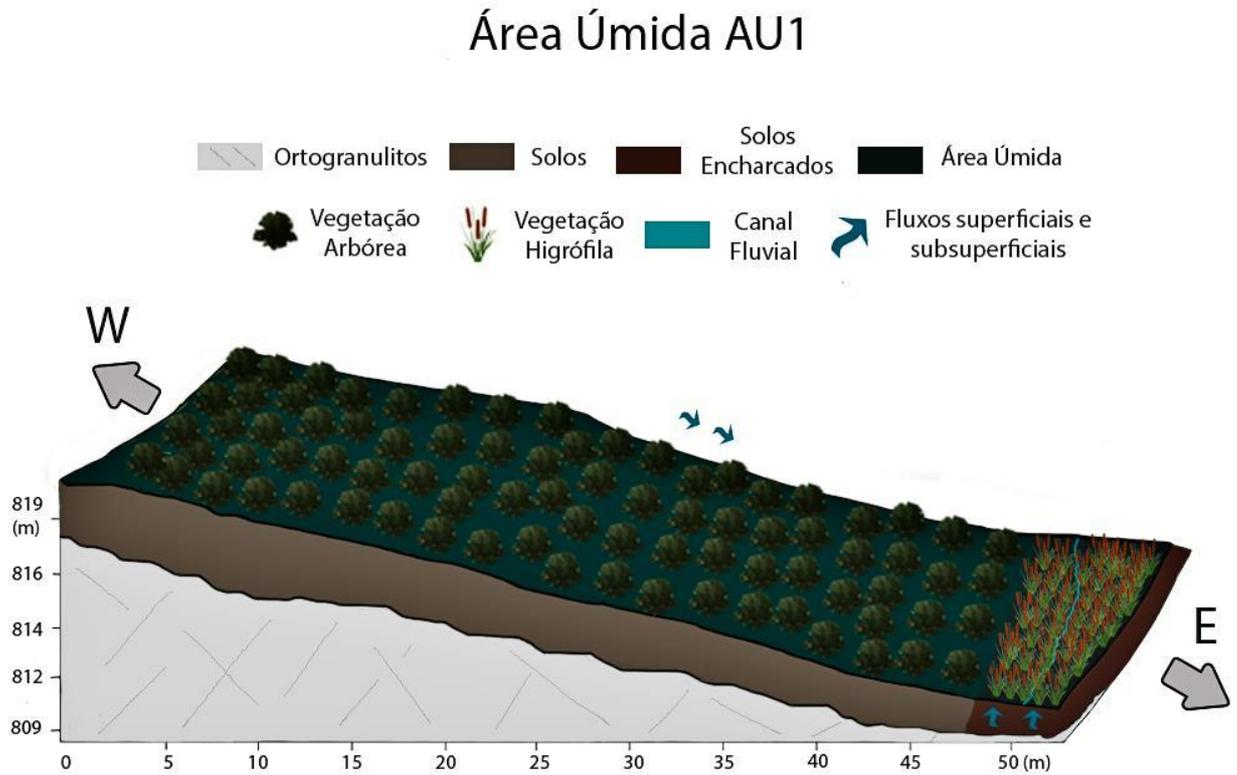


Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

A área úmida está situada em um contexto geomorfológico típico de fundo de vale, sendo alimentada por fluxos longitudinais (montante-jusante) e fluxos laterais (canal-planície). Os fundos de vale da bacia se mostram propícios para a formação de áreas úmidas, já que os fluxos dos canais fluviais são difusos e de baixa energia, proporcionando o acúmulo de água e sedimentos no leito dos canais fluviais (Figura 54).

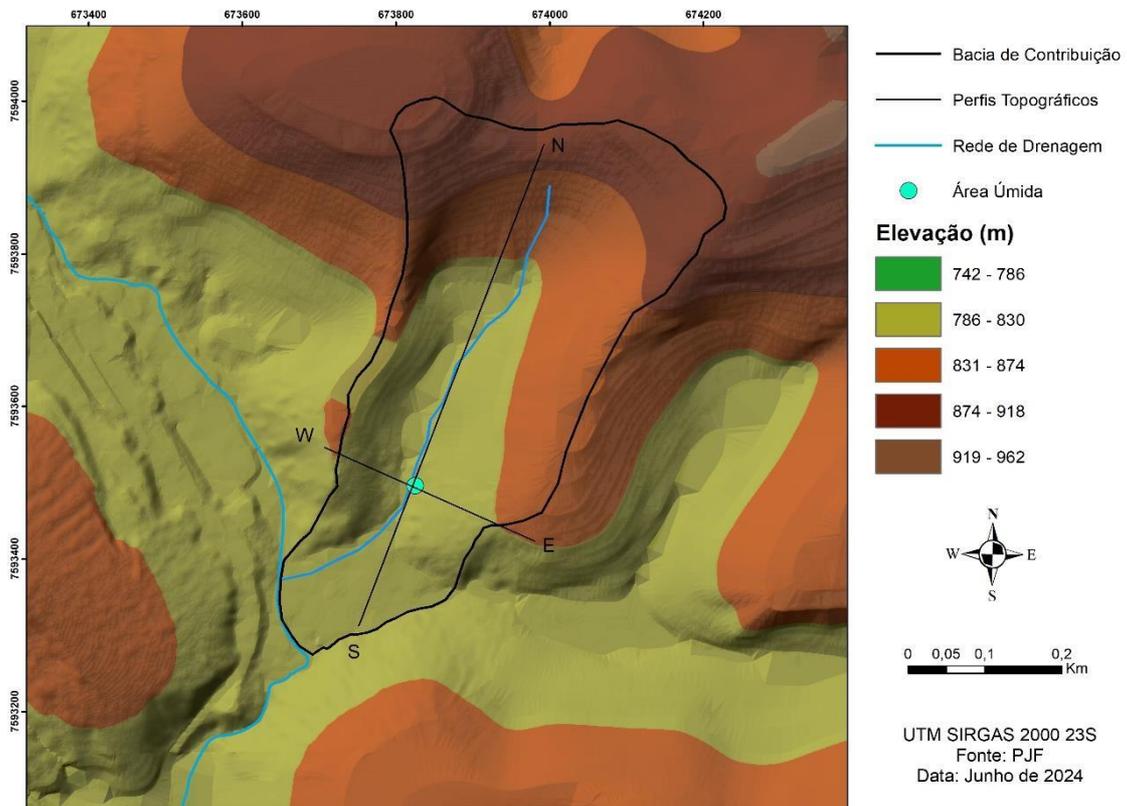
A bacia de contribuição desta área úmida está associada às vertentes que circundam o fundo de vale encaixado em seu alto e médio curso, onde a rede de drenagem perfaz condições morfológicas para deposição de sedimentos nas áreas de planície, com formação de solos pouco espessos, já que estão situadas em áreas encharcadas (Figura 55).

Figura 54 - Bloco diagrama da área úmida AU1



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

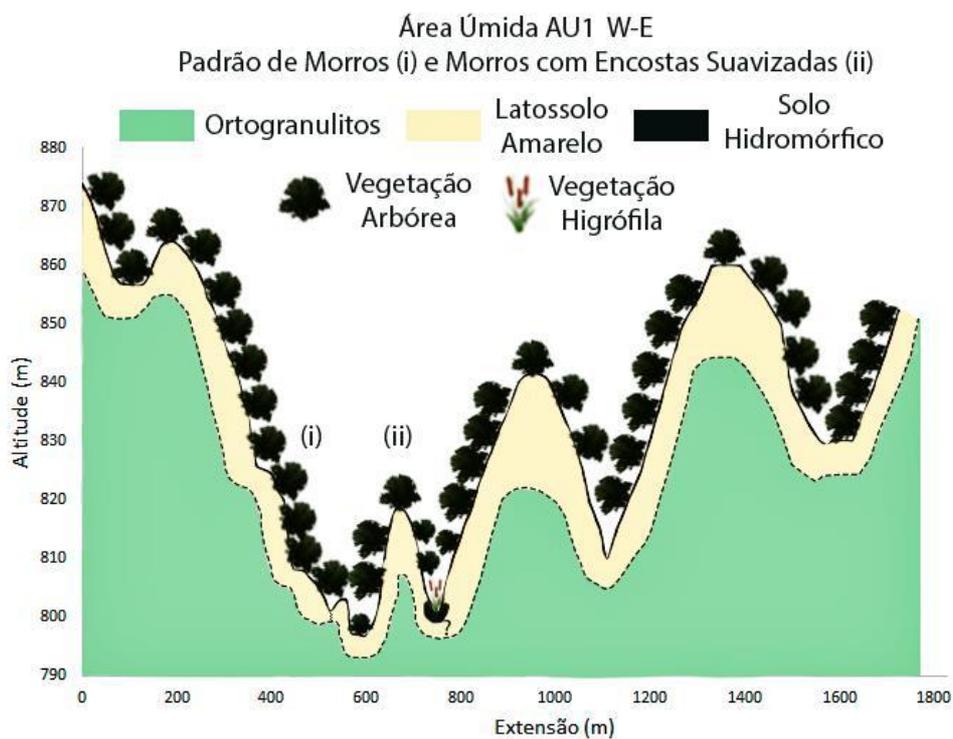
Figura 55 - Bacia de contribuição da área úmida AU1



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

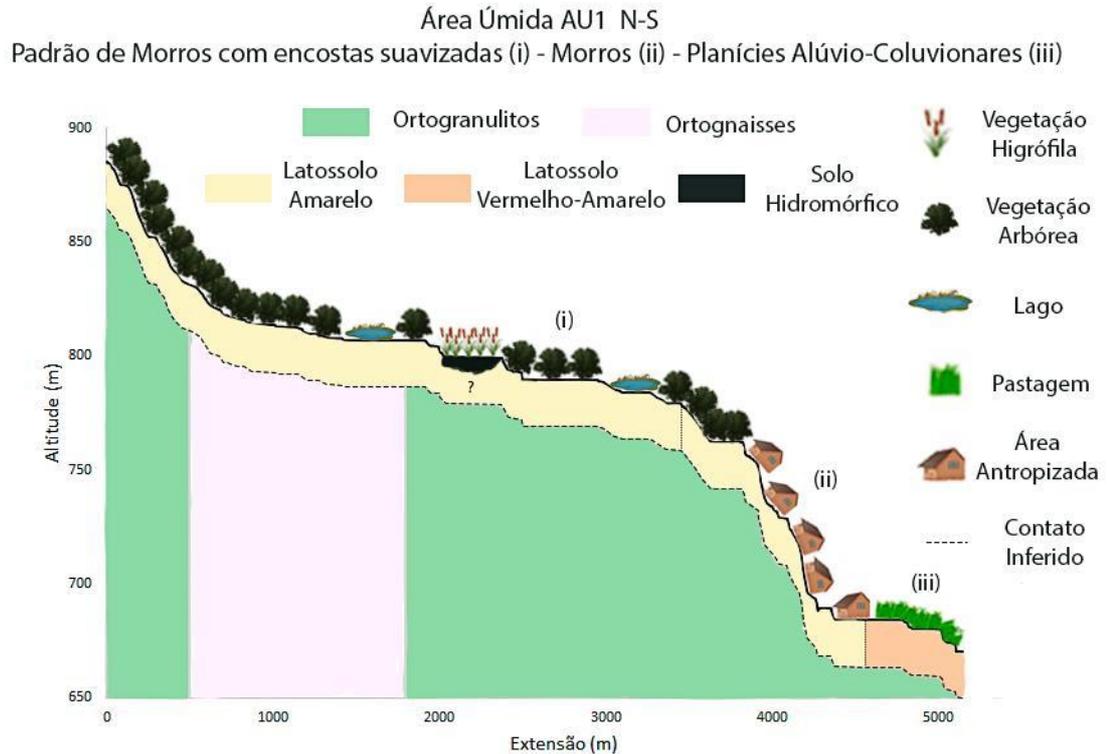
O perfil N-S indica um desnível topográfico de aproximadamente 80m entre alto curso e médio curso do canal fluvial, enquanto o perfil W-E indica desníveis de aproximadamente 30m entre vertentes (830m) e fundo de vale (800m), em meio à padrões de morros com encostas suavizadas e fundos de vale encaixados no médio curso da bacia, onde predominam canais de baixa energia, com formação de solos mal drenados, onde diversas espécies vegetais hidrófilas e higrófilas se assentam. (Figuras 56, 57).

Figura 56 - Perfil topográfico transversal para área úmida AU1



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 57 - Perfil topográfico longitudinal para área úmida AU1

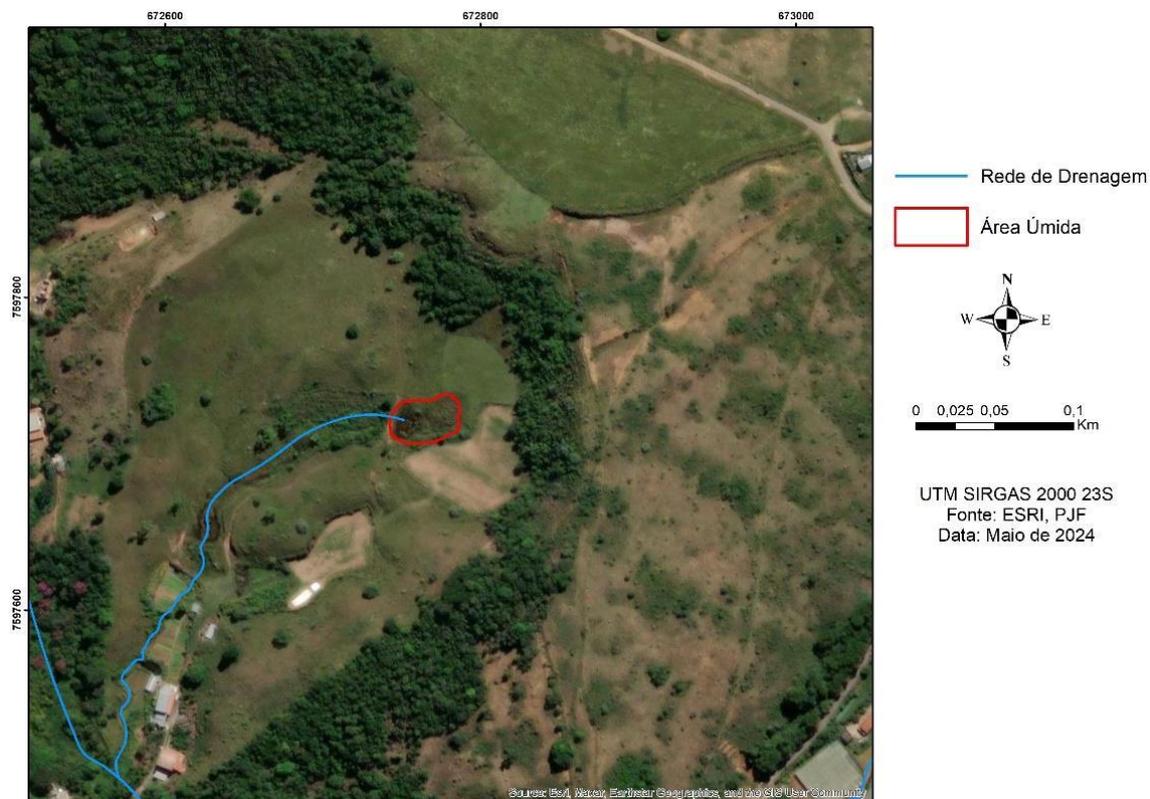


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.4.2 ÁREA ÚMIDA - AU2

A área úmida (AU2) é uma área úmida de depressão, localizada em uma porção côncava de uma cabeceira de drenagem, constituindo-se em uma nascente com exfiltração difusa. Nos arredores e no interior da área úmida, o uso predominante é de pastagem, com presença de lírios do brejo e juncos no interior da área úmida. À montante desses hidrossistemas, existem fragmentos de vegetação arbórea nos interflúvios das vertentes (Figura 58 e 59).

Figura 58 - Área úmida AU2 via imagens de satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

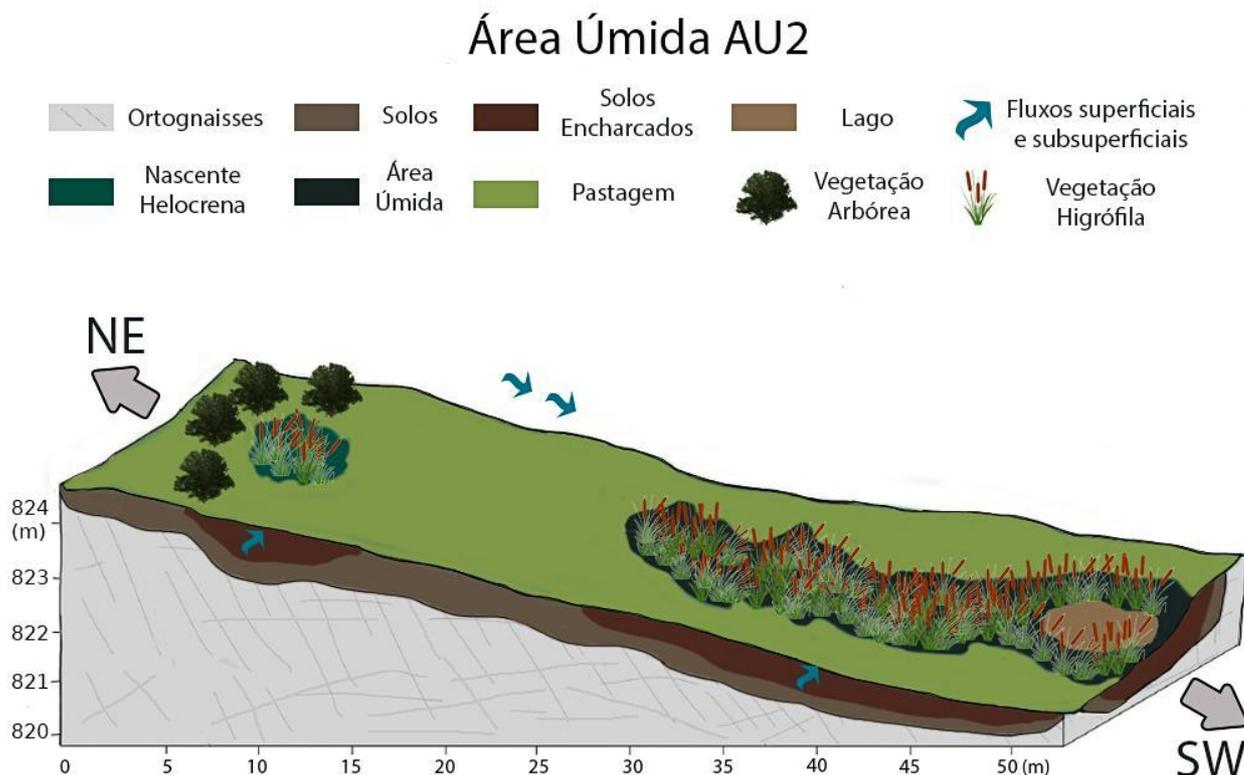
Figura 59 - Área úmida (AU2) em campo



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

A configuração geomorfológica desta área úmida, formada em concavidade, perfaz condições propícias para a exfiltração de águas subsuperficiais, que alimentam as nascentes e áreas úmidas desta cabeceira de drenagem. Além dos fluxos verticais (superficiais-subsuperficiais), o escoamento superficial advindo de precipitações também alimenta essa área úmida em estações chuvosas (Figura 60).

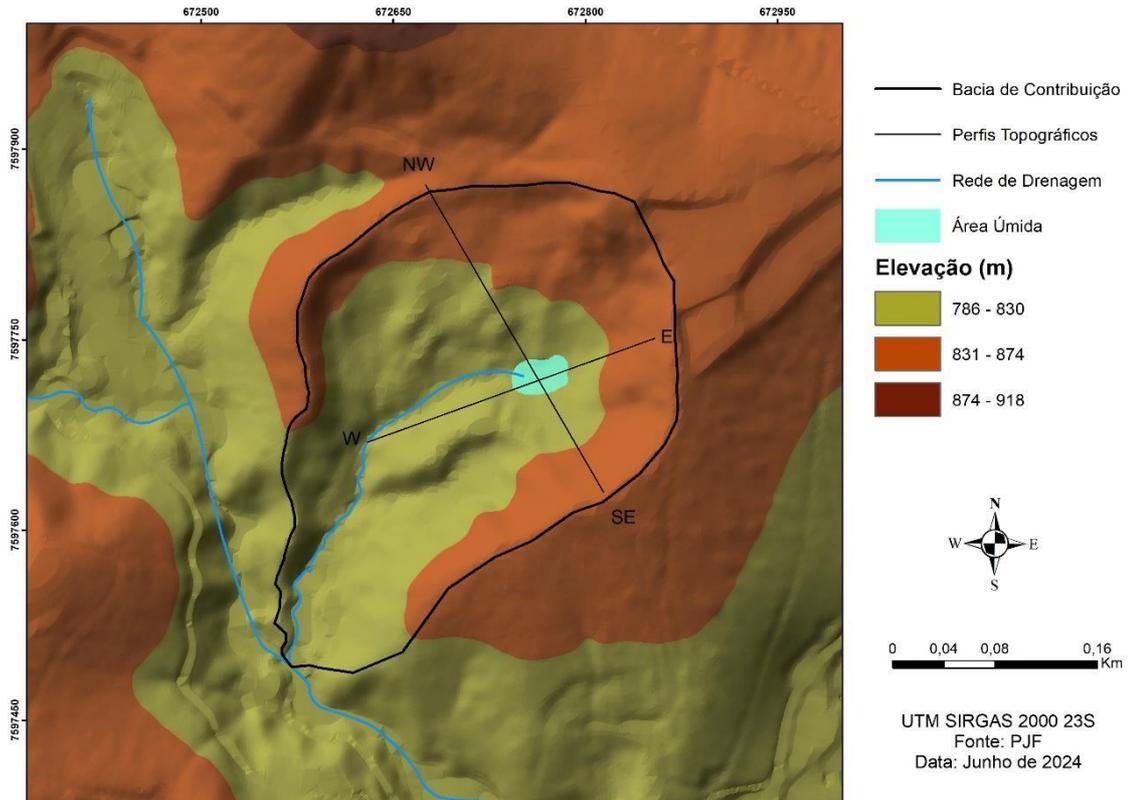
Figura 60 - Bloco diagrama para área úmida AU2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A bacia de contribuição dessa área úmida refere-se à típica cabeceira de drenagem, onde a área úmida se dispõe em sua porção nordeste (NE), onde existe uma conectividade aparente entre nascentes, áreas úmidas, lagos e cursos d'água, que seguem à jusante (Figura 61).

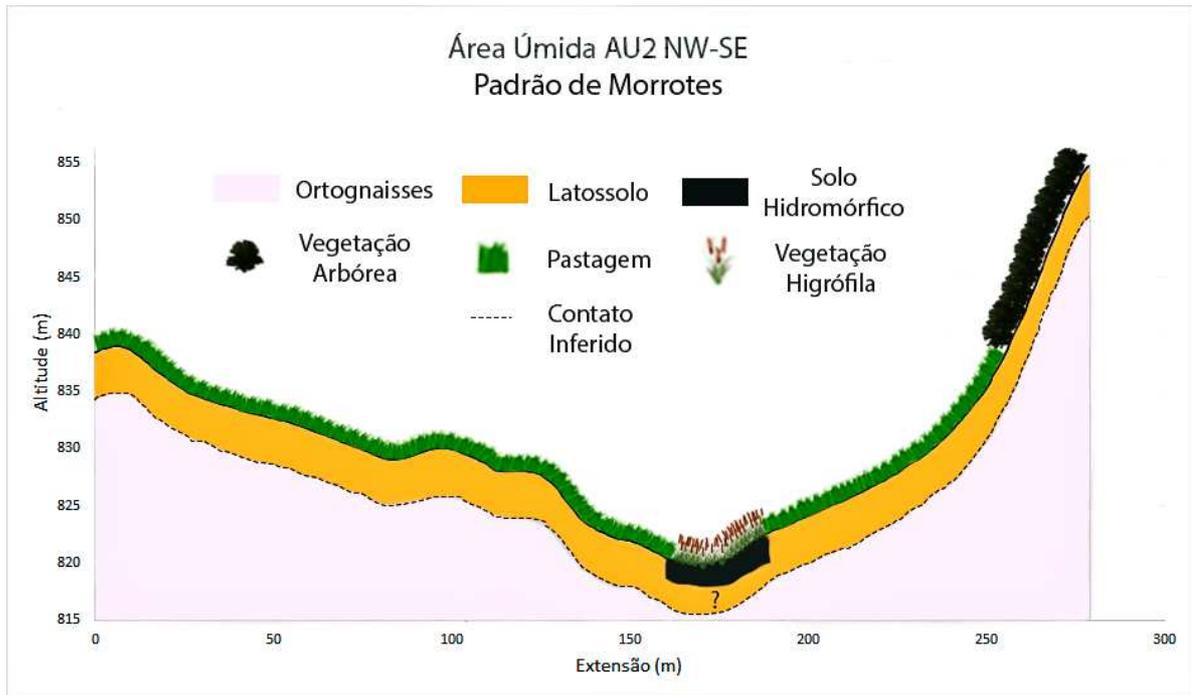
Figura 61 - Bacia de contribuição da área úmida AU2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

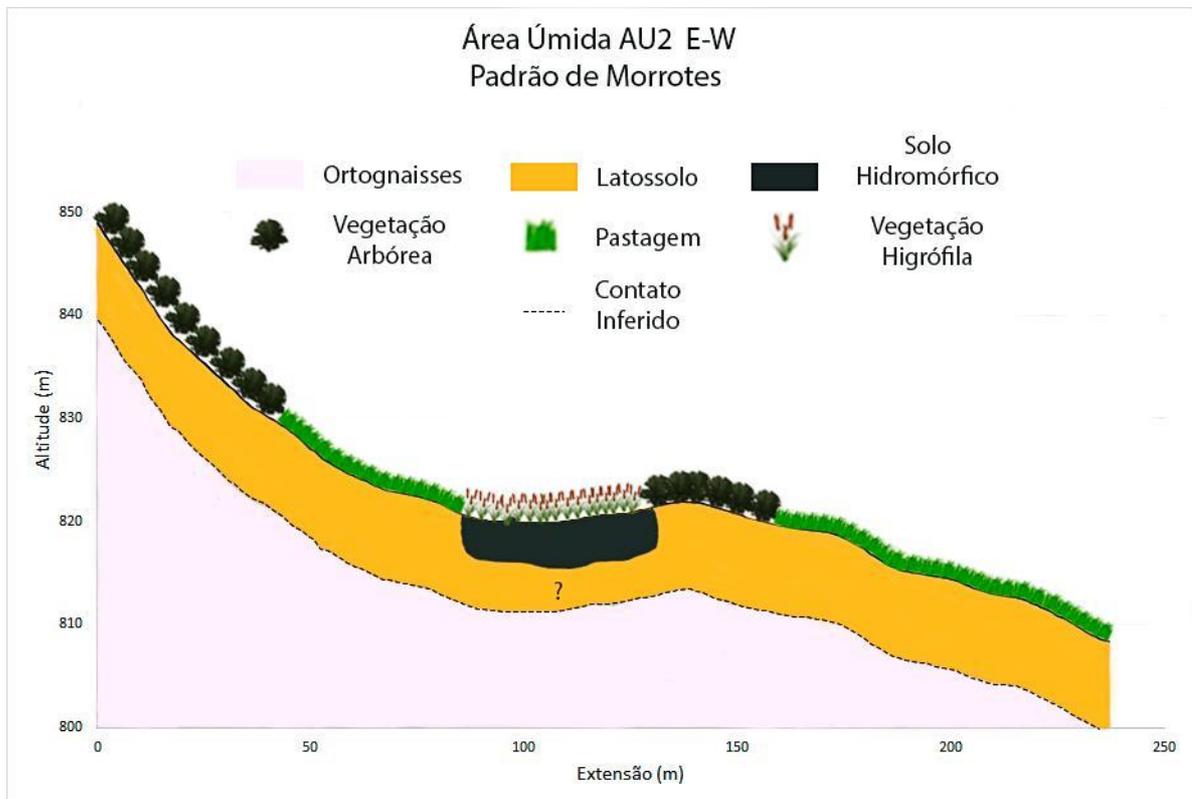
O perfil NW-SE mostra que as vertentes em padrões de morrotes, em direção SE, são mais elevadas e declivosas, explicando assim a distribuição espacial da área úmida mais próxima à essa vertente, já que a intensidade dos processos de escoamento superficial e escoamento subsuperficial são maiores deste lado da cabeceira, seguindo a ação gravitacional. Desta forma, água e sedimentos se acumulam na concavidade presente nas áreas de menor elevação do perfil, resultando na formação desta área úmida. O perfil E-W, indo de montante à jusante, indica que a área úmida está disposta na porção côncava da vertente. Assim como no perfil NW-SE, mostra-se evidente que este modelado de relevo mais suavizado se apresenta como propício para o acúmulo de água e sedimentos na superfície (Figuras 62 e 63).

Figura 62 - Perfil geocológico NW-SE para área úmida AU2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 63 - Perfil geocológico E-W para área úmida AU2

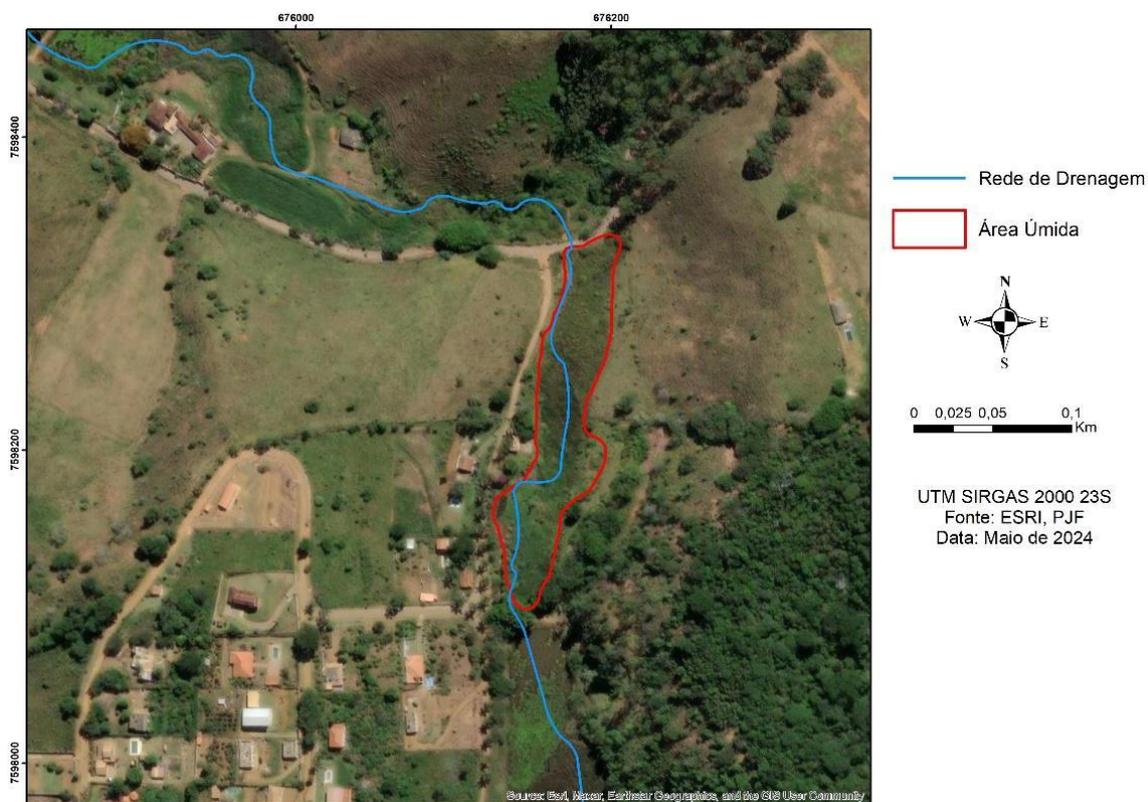


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.4.3 ÁREA ÚMIDA - AU3

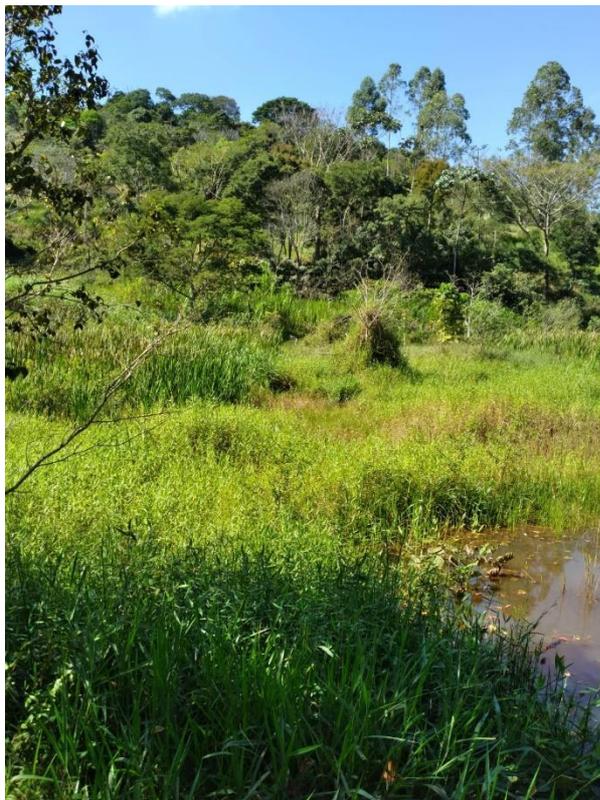
A área úmida AU3 também pode ser classificada como uma área úmida fluvial, situada às margens do córrego Yung, em uma planície recoberta com pastagens, localizada próxima a um conjunto residencial. À montante, se faz o uso de agricultura, com a presença de um lago com barramento que alimenta os hidrossistemas a sua jusante (Figuras 64 e 65). Destaca-se que apesar de estar situada em áreas antropizadas, existe um cuidado aparente para manter a mata ciliar próxima ao córrego (Figura 66).

Figura 64 - Área úmida AU3 via imagens de satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 65 - Área úmida AU3 em campo



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Figura 66 - Placa situada às margens do córrego Yung, próxima da área úmida AU3.

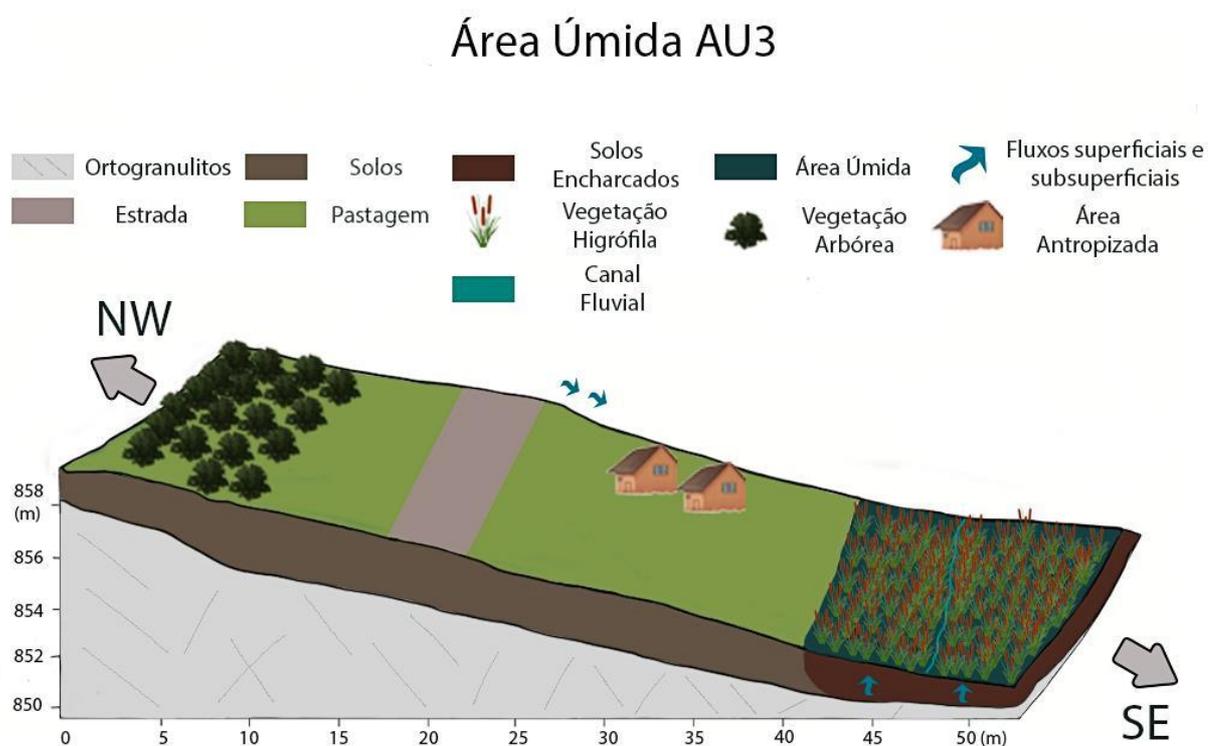


Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

No entanto, em meio à predominância de pastagens, a área úmida está situada a poucos metros de uma estrada de terra, inserida dentro de um conjunto residencial (Figura 67). As residências estão dispostas na margem oposta à área úmida, porém existem também construções ao seu redor. Portanto, mesmo diante do suposto cuidado para a manutenção da vegetação local, a área úmida se apresenta exposta às ações antrópicas que ocorrem ao seu redor.

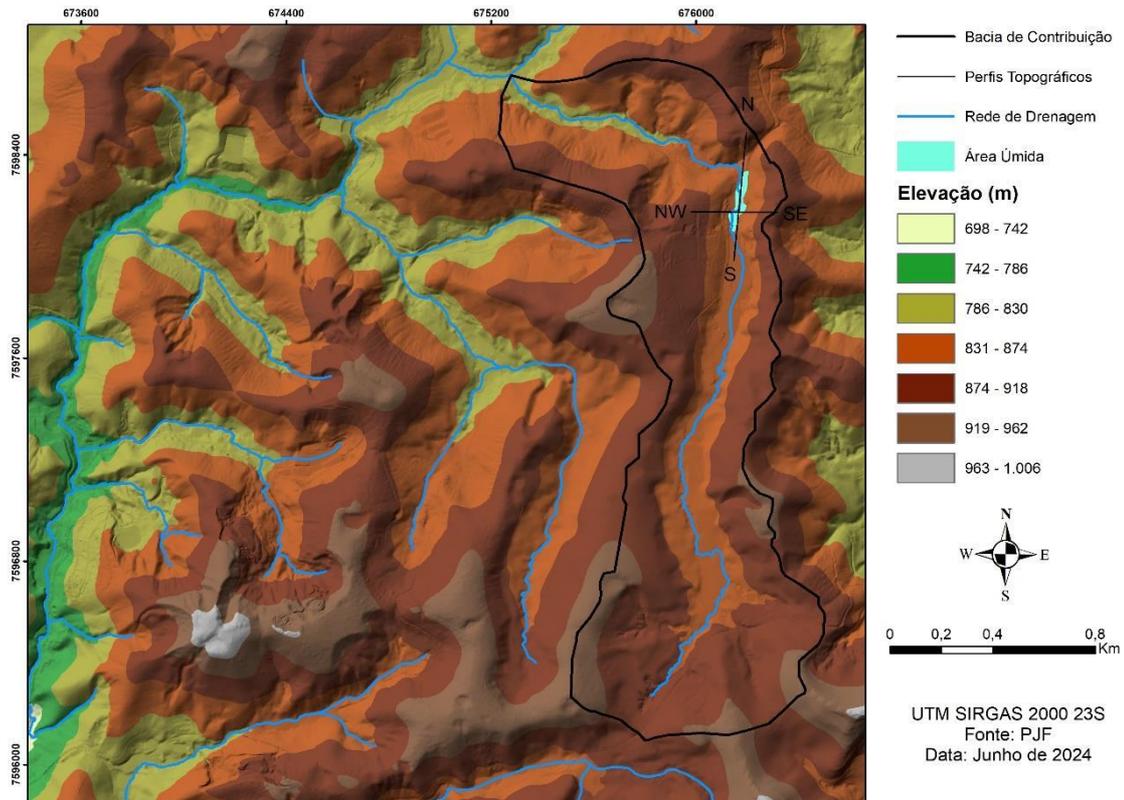
A bacia de contribuição desta área úmida está associada à um fundo de vale extenso e alongado, que se inicia próxima à AU4 (próxima à nascente do córrego Yung) e segue até uma inflexão da rede de drenagem em direção à porção central da bacia hidrográfica do córrego Yung (Figura 68).

Figura 67 - Bloco diagrama para área úmida AU3



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 68 - Bacia de contribuição da área úmida AU3

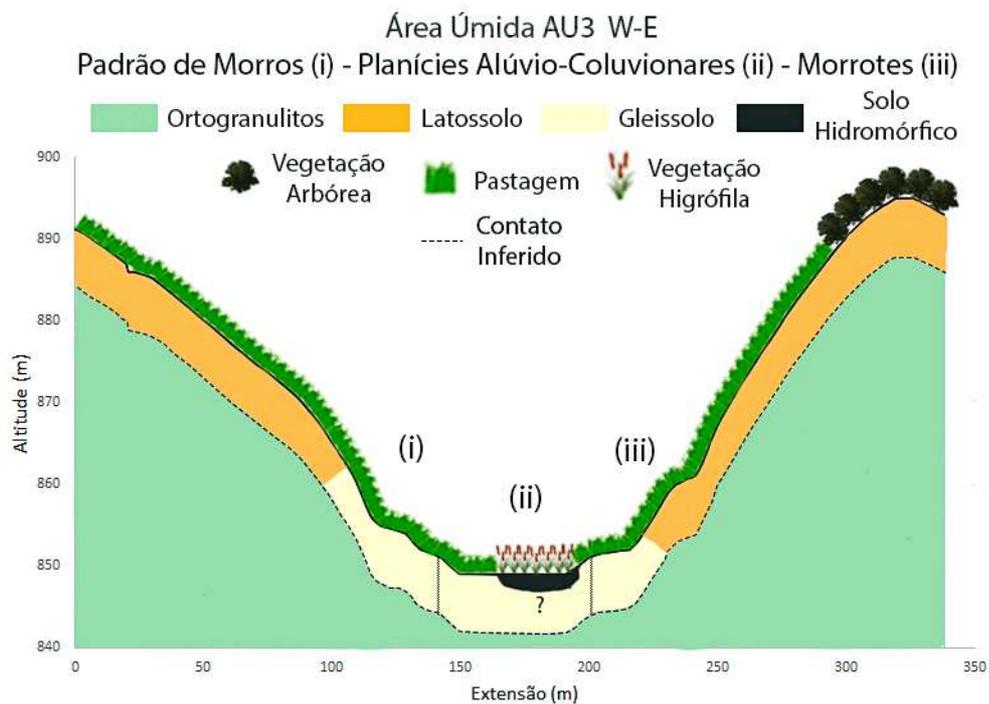


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O perfil W-E evidencia a formação da área úmida em uma planície alúvio-coluvionar típica, com margens alongadas e extensas, em meio a morros (margem esquerda) e morrotes (margem direita). A área úmida está assentada sobre gleissolos, onde predominam solos hidromórficos e vegetação higrófila adaptada em meio aos arredores predominantemente ocupados por pastagens (Figura 69).

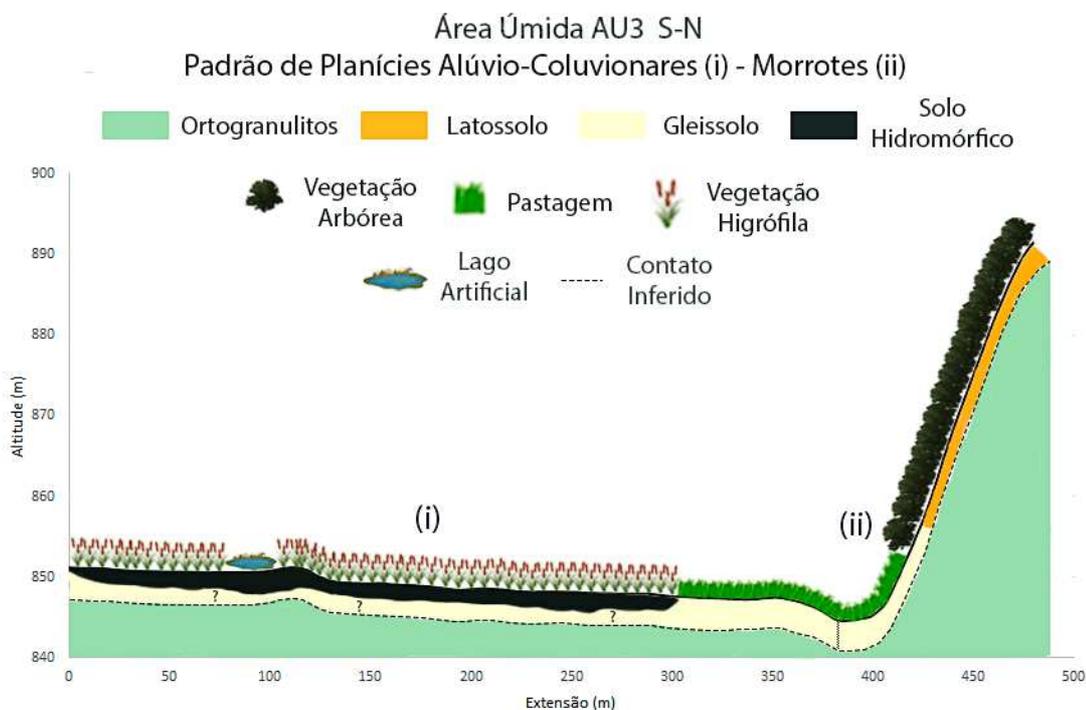
O perfil S-N denota as porções planas na qual a rede de drenagem percorre, até a ocorrência de uma inflexão da rede de drenagem em direção a oeste. Existe um lago artificial à montante desta área úmida, formado por barramentos, alterando os fluxos de matéria e energia que seguem à sua jusante, consequentemente alterando os fluxos de água e sedimentos. Este exemplo evidencia como as áreas úmidas, que ainda estão dispostas na paisagem, estão à mercê de atividades antrópicas, que, mesmo indiretamente, alteram processos hidrogeomorfológicos de escoamento superficial/subsuperficial e de deposição de sedimentos (Figura 70).

Figura 69 - Perfil geocológico W-E para área úmida AU3



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 70 - Perfil geocológico S-N para área úmida AU3

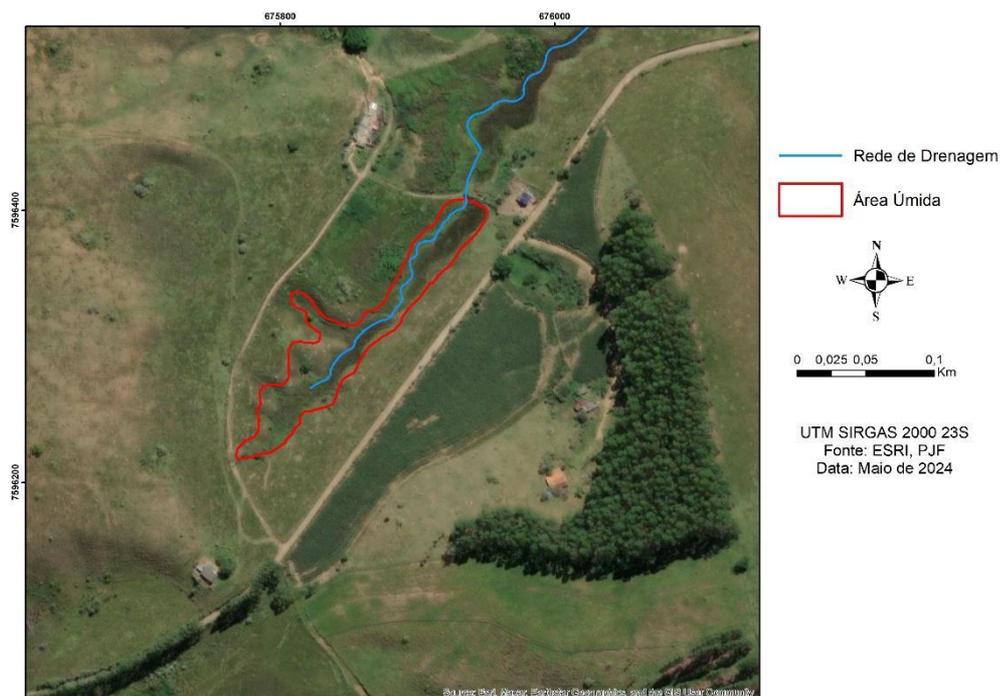


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.4.4 ÁREA ÚMIDA - AU4

A AU4 está inserida em fundo de vale encaixado, próximo à uma nascente helocrena, em uma concavidade alongada. Essa área úmida segue o córrego Yung até ser interrompida por uma estrada próxima. A vegetação é herbácea-graminosa, com taboas e juncos, em um contexto de uso e cobertura da terra totalmente composto por pastagens (Figuras 71 e 72).

Figura 71 - Área úmida AU4 via imagens de satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 72 - Área úmida AU4 em campo

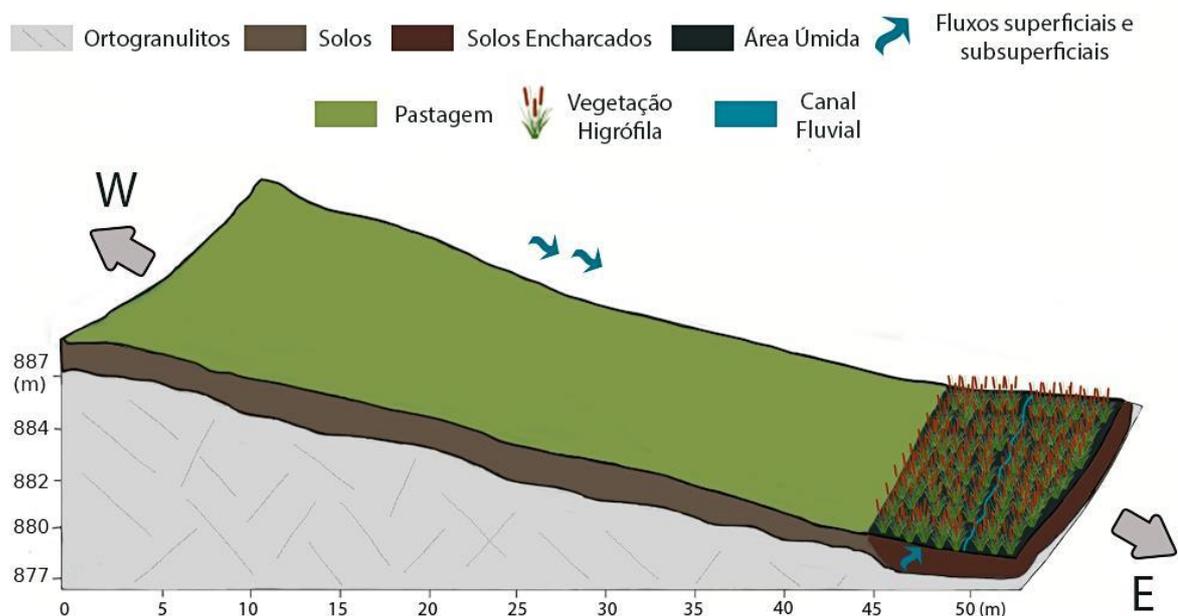


Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Enquanto o fundo de vale é recoberto por taboas e juncos, as vertentes próximas são totalmente dominadas por pastagens. Destaca-se que a área úmida está situada em uma propriedade particular, cuja nascente é utilizada para abastecimento dos moradores locais e para dessedentação de gado. Destaca-se que há a presença de estradas de terra e de depósitos tecnogênicos que estão situados no topo das vertentes, o que afeta diretamente as características hidrogeoquímicas das águas locais (Figura 73).

Figura 73 - Bloco diagrama para área úmida AU4

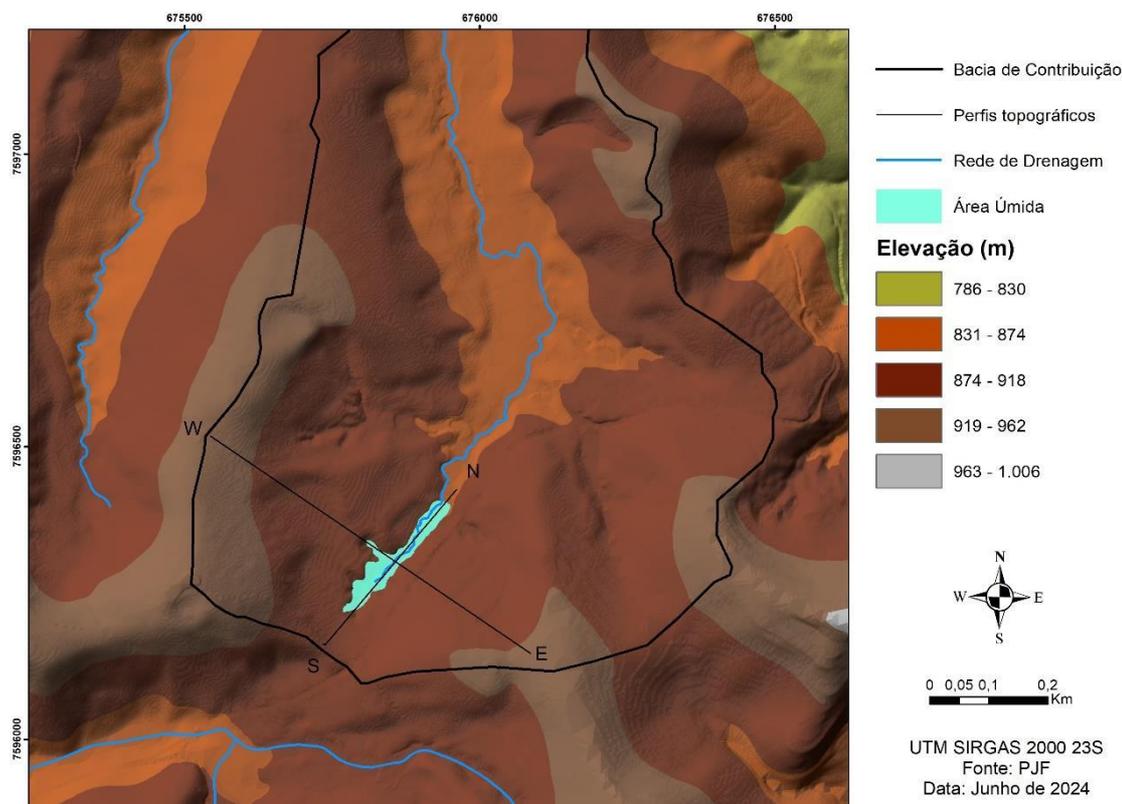
Área Úmida AU4



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Esta área úmida, por estar situada à montante da área úmida AU3, tem a mesma bacia de contribuição, associada às vertentes localizadas à sua montante, com presença de uma nascente em uma concavidade alongada em vale, assim como as vertentes nas porções leste e oeste. Suas características morfológicas denotam que a alimentação dessa área também é advinda de fluxos longitudinais (nascente-canal) e laterais (vertentes-fundo de vale) (Figura 74).

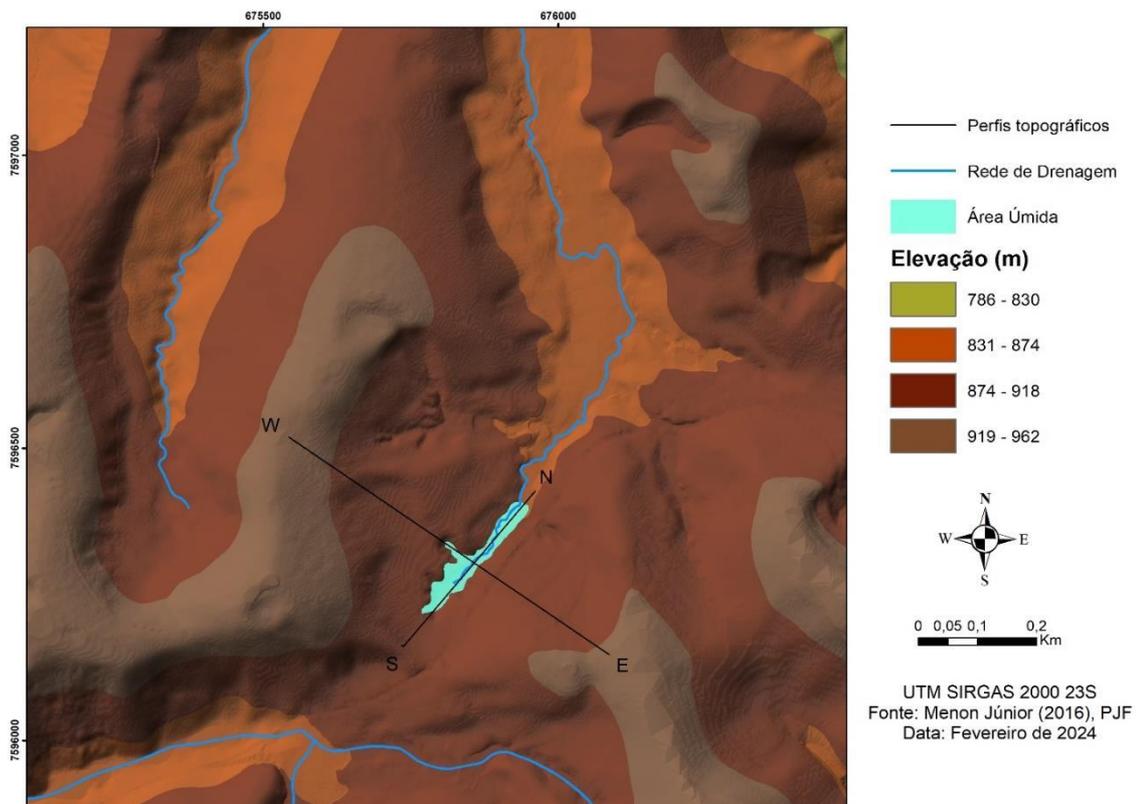
Figura 74 - Bacia de contribuição da área úmida AU4



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

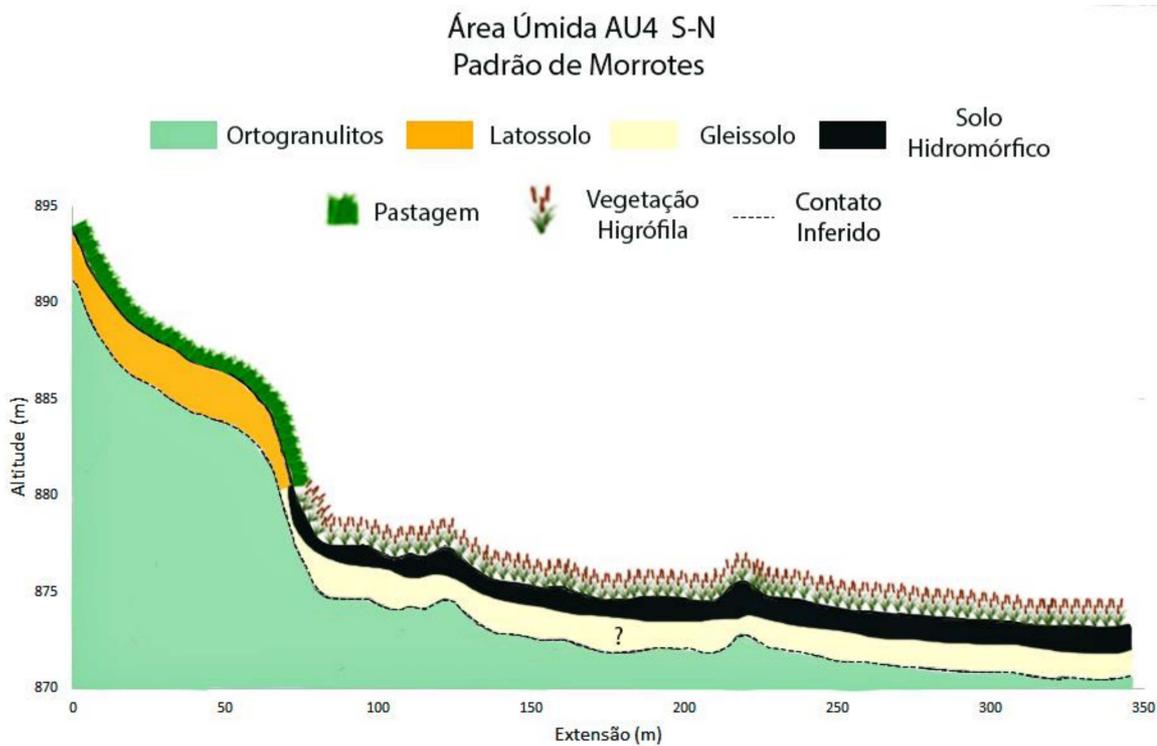
O perfil topográfico W-E indica que a área úmida está em um fundo de vale encaixado, com amplitudes topográficas de aproximadamente 40 metros, entre vertentes e fundo de vale. O perfil S-N, seguindo de montante à jusante, indica a existência de vertentes com características convexas. Soma-se a isso o fato de que está situada nesta vertente uma propriedade residencial, denotando alterações na vertente e no relevo. A área úmida situa-se na porção plana, referente ao fundo de vale, onde predominam taboas e juncos ao longo de todo o canal fluvial e sua planície (Figuras 75, 76, 77).

Figura 75 - Perfis topográficos da área úmida AU4



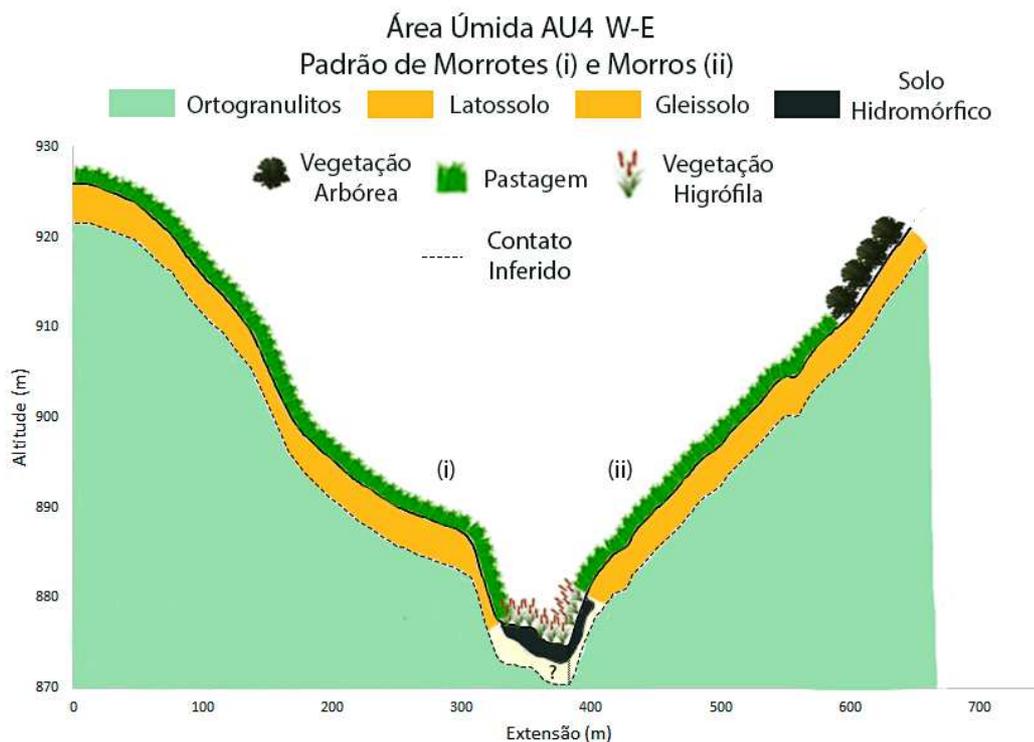
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 76 - Perfil geocológico S-N para área úmida AU4



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 77 - Perfil geocológico W-E para área úmida AU4



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.5 ANÁLISES DE SOLO

Para a primeira coleta, realizada no mês de maio, durante o período seco, foram analisados os seguintes parâmetros: carbono orgânico, matéria orgânica, densidade, pH e textura dos solos. Na segunda coleta, realizada em dezembro, durante o período úmido, foram analisados os teores de carbono orgânico e matéria orgânica, tendo em vista que estes parâmetros são mais suscetíveis a mudanças acarretadas pela sazonalidade hídrica (Quadros 9 e 10).

Quadro 9 - Análises de solo para as quatro áreas úmidas no período seco

Áreas Úmidas	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)	Densidade (g/cm ³)	pH (H ₂ O)	Textura
AU1 - P1	12,948	22,322	2,46	4,43	Franco argilo arenosa
AU1 - P2	-	-	2,15	4,99	Franco argilo arenosa
AU1 - P3	-	-	1,24	5,39	Franco argilosa
AU2 - P1	13,142	22,658	2,30	5,15	Franco argilo arenosa
AU2 - P2	12,042	20,761	2,16	4,99	Franco argilo arenosa
AU2 - P3	15,152	26,122	2,03	5,56	Argilosa
AU3 - P1	13,513	23,296	2,11	5,38	Argilosa
AU3 - P2	13,550	23,361	2,43	5,84	Argilosa
AU3 - P3	15,980	27,550	2,28	5,95	Argilo arenosa
AU4 - P1	10,994	18,954	2,26	4,89	Franco argilo arenosa
AU4 - P2	2,986	5,148	2,33	5,15	Franco argilo arenosa
AU4 - P3	7,995	13,783	2,32	5,06	Franco argilo arenosa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 10 - Análises de solo para as quatro áreas úmidas no período úmido

Áreas Úmidas	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)
AU1 - P1	16,653	28,710
AU1 - P2	15,060	25,963
AU1 - P3	16,325	28,145
AU2 - P1	16,457	28,372
AU2 - P2	15,380	26,514
AU2 - P3	18,808	32,425
AU3 - P1	14,820	25,550
AU3 - P2	14,568	25,115
AU3 - P3	17,754	30,608
AU4 - P1	15,086	26,008
AU4 - P2	16,327	28,147
AU4 - P3	15,414	26,574

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A densidade do solo consiste em uma relação entre massa de solo e seu volume. Seu valor está diretamente relacionado à granulometria e acúmulo de matéria orgânica. Em relação à granulometria, solos arenosos geralmente apresentam densidade maior do que os solos argilosos, devido à porosidade de intra-agregados das partículas de argila, que aumentam o espaço poroso. Consequentemente, a densidade também diminui com os aumentos de matéria orgânica. Destaca-se também que atividades antrópicas e mudanças no uso da terra podem modificar a densidade natural do solo (MARCOLIN, KLEIN, 2011).

Para as amostras coletadas, percebe-se que os menores valores de densidade (1,24; 2,03; 2,11; 2,15 e 2,16) estão associados a solos argilosos e franco argilosos. No entanto, em AU3 – P2, obteve-se um valor de densidade elevado, sendo o segundo maior em todo o rol. Os valores provavelmente associam-se ao pisoteio de animais ou outras atividades antrópicas, já que são usuais as presenças de depósitos tecnogênicos ao redor dessa área úmida. AU1 – P3 foi o único valor que destoou do rol, provavelmente associado aos altos índices de matéria orgânica.

Os valores de pH também se apresentaram relativamente uniformes, com menores valores em solos de textura franco argilo arenosa, e maiores valores em solos de textura argilosa e argilo-arenosa. Como a decomposição de matéria orgânica (mais presente em solos argilosos) adiciona cátions mais ácidos ao solo (principalmente H^+ e Al^{3+}) (JACKSON, THOMPSON, KOLKA, 2014), os resultados foram inversamente proporcionais às tendências esperadas.

Segundo Sobral et al. (2015), valores menores que 15 g/kg de matéria orgânica são considerados baixos, entre 15 g/kg e 30 g/kg são médios, e maiores que 30 g/kg são altos¹. De forma geral, com exceção da área úmida AU4, os resultados referentes aos teores de carbono orgânico/matéria orgânica apresentaram relativa uniformidade. No entanto, destaca-se que no período úmido os valores de carbono orgânico/matéria orgânica foram maiores em todos os pontos.

Contribui para este aumento o fato de que o aporte de material orgânico é maior durante este período, já que resíduos orgânicos, como folhas, gravetos e detritos se acumulam em maior quantidade. Kolka e Jackson (2006) apontam que a saturação prolongada e as condições anaeróbicas, acentuadas durante esse período, resultam na decomposição mais lenta de matéria orgânica, e, conseqüentemente, na maior retenção de carbono orgânico no solo. Corroborando com esta hipótese, destaca-se que no período úmido também foi possível observar que os valores de carbono orgânico/matéria orgânica foram maiores nos pontos permanentemente encharcados (P3).

No entanto, tanto na coleta realizada no período seco, quanto na coleta realizada no período úmido, os teores de carbono orgânico/matéria orgânica nos pontos secos (P1) foram maiores do que nos pontos sazonalmente encharcados (P2). Nos pontos secos (P1) houveram menores perdas por lixiviação devido à formação de agregados estáveis, indicando que as argilas permitiram maior retenção de matéria orgânica.

¹ Feita a conversão de dag kg⁻¹ para g/kg

6.6 ANÁLISES DE ÁGUA

Foram analisadas as seguintes variáveis: Fósforo Total (P), Nitrogênio Total (N), pH, Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura, Condutividade Específica (SPC), Condutividade Elétrica (CE) e Potencial de Oxi-Redução (ORP). Para auxiliar na visualização, foram elaborados gráficos onde as áreas úmidas foram renomeadas de acordo com os meses correspondentes (Quadros 11 e 12, Figura 78).

Quadro 11 - Análises de água no período seco

Áreas Úmidas	P Total (mg/L)	N Total (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	TDS (mg/L)	Temp (°C)	SPC (uS/cm)	EC (uS/cm)	ORP (mV)
AU1 - P2	0,062	> 7,5 ²	6	216,67	0,39	14,95	18,6	23,2	20,3	-185,5
AU1 - P3	0,042	0	6	152,33	3,67	11	18,6	17,5	15,3	-176,4
AU2 - P2	0,019	1,9	5	155,0	4,55	13,65	19,1	20,5	18,2	-181,6
AU2 - P3	0,012	5,8	6	76,63	0,33	81,25	20,2	125,7	114,2	-185,5
AU3 - P2	0,005	2	6	55,11	4,6	144,95	20,6	224,8	204,7	-192,0
AU3 - P3	0,006	0	6	6,8	3,77	19,5	23,7	30,0	29,3	-188,3
AU4 - P2	0,022	0	5	219,0	2,77	22,75	22,3	35,7	34,1	-201,0
AU4 - P3	0,019	2,7	5	43,96	2,71	11,06	22,2	16,9	16,0	-204,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

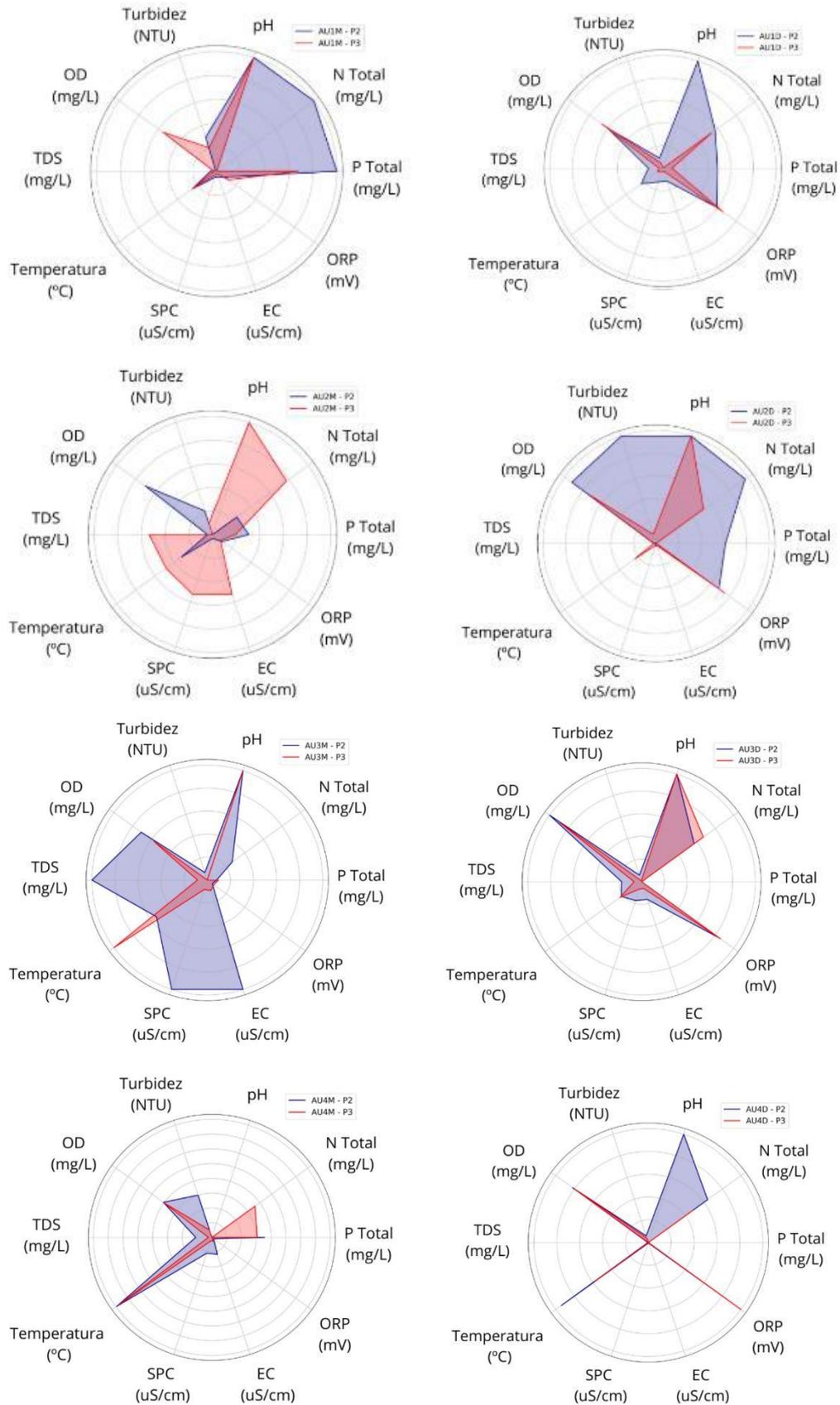
Quadro 12 - Análises de água no período úmido

Áreas Úmidas	P Total (mg/L)	N Total (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	TDS (mg/L)	Temp (°C)	SPC (uS/cm)	EC (uS/cm)	ORP (mV)
AU1 - P2	0,03	4,28	6	72,7	3,95	25,35	18,5	39,1	34,2	-70,4
AU1 - P3	0,005	3,99	5	39,5	4,34	12,35	17,3	19,1	16,4	-56,4
AU2 - P2	0,038	7,29	6	710,0	5,89	11,05	16,9	17,3	14,6	-49,1
AU2 - P3	0	3,88	6	65,6	4,76	10,4	18,5	16,1	14,2	-34,7
AU3 - P2	0	4,28	6	49,8	6,36	31,85	18,4	48,8	42,6	-12,9
AU3 - P3	0	5,03	6	12,67	5,7	16,9	18,5	26,2	22,9	-10,1
AU4 - P2	0	4,80	6	50,2	5,28	8,45	23,3	13,0	11,9	4,0
AU4 - P3	0	3,59	5	35,0	5,13	7,8	20,8	11,6	10,7	22,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

² Os valores ultrapassaram os limites máximos do equipamento. Para as análises, utilizou-se o valor de 7,5

Figura 78 - Mosaico com os parâmetros de água analisados nas quatro áreas úmidas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De forma geral, é possível inferir que, ao se comparar os resultados obtidos, as alterações em alguns parâmetros refletem as diferenças esperadas ao se considerar os efeitos da sazonalidade hídrica, assim como o tempo de residência de água nas duas estações.

No período úmido, maiores teores de Oxigênio Dissolvido (OD) evidenciam a influência das águas advindas de precipitação, resultando em um maior volume de água em superfície. Os menores valores de Oxigênio Dissolvido (OD) do período seco explicam-se pela quantidade significativa de matéria orgânica em locais onde a saturação é consideravelmente elevada. O maior tempo de água estagnada em superfície proporcionou condições anaeróbicas que tornaram o oxigênio dissolvido e que elétrons fossem reduzidos. Na estação chuvosa, evidentemente, o menor tempo de água em superfície não proporcionou tais condições.

Em relação ao Potencial de Oxi-Redução (ORP), os valores negativos indicam que a água tem caráter redutor, com disposição a doar elétrons, indicando o caráter anaeróbico dos hidrossistemas, já que existe pouca disponibilidade de oxigênio. Os valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP) entre -100 a -500 mV indicam a redução de sulfato, acetogênese e metanogênese. Valores positivos, por sua vez, indicam que as águas possuem maiores teores de oxigênio, consistindo em ambientes oxidantes (VON SPERLING, 1996).

Com exceção da área úmida AU4, no período úmido, os valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP) foram negativos em todas as ocorrências. No entanto, percebe-se que no período seco os valores são significativamente menores, também denotando que o tempo de residência da água em superfície é maior, proporcionando condições propícias para a redução de elétrons.

No período úmido, a tendência de se obter menores teores Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (EC) se confirmou. As águas meteóricas tendem a possuir menores teores de sólidos dissolvidos do que águas subsuperficiais. Além disso, águas meteóricas carregam sedimentos, mas diminuem as quantidades de solutos, já que o maior volume de água em superfície é responsável por diluir os íons dissolvidos.

Em relação aos teores de Turbidez, a tendência de se encontrar maiores valores nos pontos sazonalmente encharcados (P2) se manteve. No entanto, ao contrário da tendência esperada, os valores encontrados, com exceção de AU2-P2, foram significativamente menores no período úmido.

Devido ao maior espelho d'água em superfície nas estações úmidas, os sedimentos carregados pelas chuvas se depositaram no fundo das áreas úmidas, não tendo sido capturados durante as coletas. Desta forma, 24 horas depois dos eventos de precipitação, os valores de turbidez se estabilizaram e diminuíram. Em relação ao *outlier* (AU2-P2), por estar em um ponto

sazonalmente encharcado, em uma porção côncava de vertente, provavelmente os sedimentos carregados se depositaram próximos ao local de coleta.

Os valores de Fósforo Total (P) também foram menores durante a estação chuvosa. Assim como os solutos supramencionados, as concentrações de fósforo podem ter sido diluídas devido ao aumento do volume de água. O aumento nos teores de matéria orgânica no solo pode ter resultado na adsorção de partículas de fósforo, reduzindo sua concentração no espelho d'água.

Por fim, destaca-se que os teores de Nitrogênio Total (N) foram maiores nas coletas realizadas no mês de dezembro, durante a estação chuvosa. É possível inferir que a fonte primária de nitrogênio advém de sedimentos de outros compartimentos da paisagem, carregados para o interior da área úmida. Devido ao menor tempo de residência da água em superfície, não houve tempo necessário para a ocorrência de processos de desnitrificação e emissão de nitrogênio na forma de gases.

6.6.1 ÁREA ÚMIDA – AU1

Tanto a coleta no período seco, quanto a coleta no período úmido, mantiveram a tendência de maiores valores de Turbidez, Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (CE) em P2, e maiores valores de Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) em P3. Esta área úmida foi a única do rol que manteve este panorama: valores maiores em P2 ou P3 no período seco se mantiveram da mesma forma no período úmido.

Destaca-se que nesta área úmida, os teores de Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (EC) foram maiores no período úmido, indo em direção contrária à tendência observada nas outras áreas úmidas. Provavelmente, o predomínio de vegetação arbórea nesta área resultou nesta diferença, tendo em vista que os solos, mais ricos em matéria orgânica e minerais, liberam nutrientes e íons no solo que podem ser transportados por escoamento superficial e subsuperficial, aumentando os níveis de Total de sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (EC).

De forma correlata, os elevados níveis de turbidez nesta área úmida estão associados às cargas orgânicas e inorgânicas em suspensão, tendo em vista que áreas com predomínio de vegetação arbórea tem a tendência de possuir maiores teores de matéria orgânica. Este fator, por sua vez, também fez com que os valores de Fósforo Total (P) nesta área úmida se mostrassem os maiores do rol no período seco. No período úmido, a área úmida AU1 foi a única com valores diferentes de 0 nos pontos sazonalmente encharcado (P2) e permanentemente

saturado (P3), evidenciando a influência da decomposição de matéria orgânica para este parâmetro.

6.6.2 ÁREA ÚMIDA – AU2

No período úmido, os valores de turbidez se mostraram extremamente elevados, constituindo-se em um *outlier* dentro do rol analisado. Como supramencionado, a posição do ponto de coleta no relevo proporcionou o acúmulo de argilas. De forma correlata, no período úmido os valores de Nitrogênio Total (N) e Fósforo Total (P) também são os maiores do rol nesta área úmida. Pode-se inferir, portanto, que existe uma correlação direta entre estas variáveis, já que fósforo e nitrogênio podem estar adsorvidos nas partículas em suspensão.

Os valores de Turbidez apresentam-se mais altos em P2 do que em P3, nas duas ocasiões. Por estarem inseridas em um contexto de uso e cobertura da terra predominantemente composto por pastagens, acrescenta-se que os dois pontos possuem distintas estruturas texturais de solo. Portanto, provavelmente a maior carga de areia e silte em solução nos pontos sazonalmente encharcados (P2) acarretam em valores mais elevados.

No período seco, os valores de Nitrogênio Total (N) foram maiores em P3, enquanto no período úmido, foram maiores em P2. Destaca-se que durante o período seco, foi possível notar a presença de vegetação em decomposição no interior da área. Portanto, provavelmente o nitrogênio absorvido pela vegetação foi liberado na água durante aquela ocasião, enquanto os maiores valores em AU2-P2 no período úmido estão associados aos altos valores de turbidez. Pelo mesmo motivo, no período seco observa-se altos valores de Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (EC) em P3, enquanto no período úmido, os valores são menores em P2.

Por estar uma área úmida de depressão, situada em uma concavidade, a presença de espelho d'água em superfície tem influência significativa de fluxos verticais, via exfiltração de águas subsuperficiais. Desta forma, os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) no ponto encharcado (P3) estão entre os menores do rol, nas duas coletas.

Embora esta área úmida possua os menores teores de Oxigênio Dissolvido (OD), o cenário não é o mesmo em relação ao Potencial de Oxi-Redução (ORP). Embora exista correlações entre as duas variáveis, em um sistema complexo de relações não lineares, compostos que não foram analisados, como sulfatos (SO_4^{2-}) e ferro oxidado (Fe^{3+}) também possuem influência nos valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP).

6.6.3 ÁREA ÚMIDA – AU3

Na área úmida AU3, os valores de Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) nos pontos P2 foram os maiores do rol, nas duas coletas. Estes valores elevados estão associados a depósitos tecnogênicos, tendo em vista que a poucos metros desta área úmida passa uma estrada e existem conjuntos residenciais próximos, evidentemente tornando possível estabelecer a correlação dos valores encontrados com a possível descarga de efluentes domésticos. Soma-se a isso o fato de que, à montante da área úmida, existem fragmentos destinados à agricultura. Destarte, o uso de fertilizantes e pesticidas também pode resultar em um fator de influência nos resultados encontrados.

Em relação aos teores de nitrogênio, destaca-se as diferenças entre P2 e P3 no período seco. É possível inferir que o aumento de temperatura (20,6°C em P2 e 23,7°C em P3) constitui-se em um fator de influência para acelerar processos de desnitrificação, fazendo com que o nitrogênio seja emitido para a atmosfera na forma de gases (N_2O e N_2) (DEBUSK, 1996).

Os menores teores de fósforo total foram encontrados nas áreas úmidas AU3 e AU4. Como mencionado previamente, o maior volume de água em superfície, assim como a influência de águas meteóricas recentes podem ter sido fatores responsáveis pela diluição do fósforo.

6.6.4 ÁREA ÚMIDA – AU4

Para a área úmida AU4, destaca-se a grande diferença ocorrida nos valores de turbidez no ponto P2, durante o período seco. Esse valor provavelmente advém de influências antrópicas e/ou da movimentação do gado em seu entorno, cujo efeito não se fez perceptível no ponto P3, ou pelo acúmulo de sedimentos produzidos nas vertentes e que ainda não tinham sido carregados para o ponto P3, no interior da área úmida.

A correlação entre maiores teores de nitrogênio estarem associados aos maiores teores de turbidez se fez presente em AU1-P2 no período seco, e em AU2-P2 no período úmido, mas não se fez vista em AU4-P2, no período seco. Assim como destacado na área úmida AU3, os maiores valores de temperatura na área úmida AU4 provavelmente foram responsáveis pela aceleração de processos de emissão de nitrogênio na forma de gases.

Destaca-se que os teores de Potencial de Oxi-Redução (ORP) foram positivos apenas nesta área úmida, durante o período úmido. Este resultado mostra a influência da precipitação durante as coletas, tendo em vista que valores positivos para este parâmetro indicam que o

ambiente ainda é oxidante, com maior presença de oxigênio na água, indicando que são águas recentemente dispostas em superfície.

6.7 RESOLUÇÃO CONAMA E DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM-CERH/MG

Posteriormente, comparou-se os resultados com os valores dispostos pela Resolução CONAMA nº 357 (2005) e pela deliberação normativa conjunta COPAM-CERH/MG nº 8 (2022) para águas doces, classe 3 (Quadro 13). Segundo a resolução, estas águas podem ser destinadas: “a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e) à dessedentação de animais.”

Quadro 13 - Limites para parâmetros de água pela Resolução Conama (2005) e COPAM-CERH/MG (2022)

P Total (mg/L) (ambiente lântico)	N Total (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	TDS (mg/L)
0,05	13,3 (pH ≤ 7,5)	6,0 – 9,0	100	< 4,0	500

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados encontrados mostraram que os valores de Turbidez e Oxigênio Dissolvido frequentemente ultrapassam os limites dispostos pela Resolução Conama (2005) e pela deliberação COPAM-CERH/MG (2022). Em relação aos valores de Fósforo Total (P) e Nitrogênio Total (N), apenas a área úmida AU1, no período seco, apresentou valores maiores que 0,05 para o Fósforo Total (P). Em relação ao Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), não houve nenhuma ocorrência em que os valores encontrados ultrapassaram os limites estabelecidos. Quanto aos valores de pH, as áreas úmidas AU1, AU2 e AU4 apresentaram, em ocasiões distintas, valores de pH inferiores a 5.

No entanto, vale destacar que valores baixos de Oxigênio Dissolvido (OD) e pH, principalmente nos pontos permanentemente encharcados (P3), são típicos de áreas úmidas e ambientes lânticos, saturados por grandes períodos de tempo, onde o oxigênio dissolvido é utilizado nos processos respiratórios de micro-organismos e para estabilização da matéria orgânica, que em sua decomposição, libera ácidos orgânicos. Portanto, não é possível dizer que estes parâmetros caracterizam uma forma de degradação das áreas úmidas, tendo em vista que a saturação prolongada é típica desses hidrossistemas.

Em relação aos valores elevados de Fósforo Total (P) e Nitrogênio Total (N) em AU1, tais teores, assim como os valores de oxigênio dissolvido (OD), estão correlacionados à decomposição de matéria orgânica, associado às formas de uso e cobertura da terra local (vegetação arbórea fechada, que conseqüentemente gera restos vegetais em decomposição), tendo em vista que não há despejo de efluentes na unidade de conservação em que a área úmida está inserida.

Os valores de Turbidez se mostraram elevados (acima de 100 NTU) em AU1 – P2, AU1 – P3 (período seco), AU2 – P2 (período seco e período úmido) e em AU4 – P2 (período seco). Tais valores estão associados principalmente a partículas de rocha, silte e argila em suspensão, assim como matéria orgânica e micro-organismos. No entanto, nos casos de AU2 e AU4, além do predomínio de pastagens, e, conseqüentemente, na maior produção de sedimentos a serem depositados, soma-se a esse fator a sua localização: por estarem situadas em propriedades residenciais, o despejo de efluentes domésticos pode se constituir em um fator que contribua para aumentar os valores de turbidez.

No que tange à degradação de áreas úmidas, os resultados evidenciam como as distintas formas de uso e cobertura da terra influenciam em processos hidrogeomorfológicos responsáveis pelo transporte de água, sedimentos e matéria orgânica para as áreas úmidas. Na área úmida em mata fechada (AU1), o aumento nos teores de Turbidez, Fósforo Total (P) e Nitrogênio Total (N) estão diretamente associados à matéria orgânica e a decomposição de restos vegetais. Nas áreas úmidas com predomínio de pastagens (AU2 e AU4), o transporte de sedimentos (principalmente na forma de argilominerais) acarreta em maiores valores de turbidez nas águas. Em relação ao oxigênio dissolvido, acredita-se que este parâmetro não é um indicativo de degradação, tendo em vista que ambientes lênticos usualmente possuem baixos teores de oxigênio dissolvido.

Portanto, estes resultados demonstram que, embora as águas destas áreas úmidas estejam impróprias para o uso destinado (classe 3), isto não significa necessariamente que tais áreas úmidas estejam sobre influências de processos de degradação ambiental advindos de alterações antrópicas.

7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

7.1 ANOVA: PERÍODO SECO (MAI/2024)

Para os testes ANOVA, inicialmente foram comparados os parâmetros individualmente, unindo os valores de P2 e P3 das áreas úmidas. O rol de dados foi composto pelos oito valores em forma de linhas. Durante essas análises, nenhum resultado demonstrou variação estatística significativa entre os conjuntos ($p < 0.05$) (Quadro 14).

Quadro 14 - Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,6362
Nitrogênio Total (N)	0,7447
Turbidez	0,1130
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,7318
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,6303
Condutividade Específica (SPC)	0,6298
Condutividade Elétrica (EC)	0,6339
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	0,8591

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Posteriormente, foram comparados os valores de cada parâmetro nas quatro áreas úmidas. O rol de dados foi composto pelos dois valores encontrados nos oito pontos (quatro em P2, quatro em P3), em forma de colunas. Os resultados mostraram que, tomando como base as médias dos conjuntos, houveram variações significativas ($p < 0.05$) entre os valores de Fósforo Total (P) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) (Quadro 15).

Quadro 15 - Teste ANOVA para todas as áreas úmidas no período seco

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,0136
Nitrogênio Total (N)	0,7320
Turbidez	0,3429
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,7134
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,5515
Condutividade Específica (SPC)	0,5551
Condutividade Elétrica (EC)	0,5446
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	0,0174

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Estes resultados mostram que, para as coletas realizadas no mês de maio, as áreas úmidas mostraram-se internamente homogêneas, seja em sua parte central ou em suas margens. As diferenças observadas entre esses parâmetros variam entre as áreas úmidas, não entre os pontos sazonalmente encharcados (P2) e permanentemente encharcados (P3).

7.2 ANOVA: PERÍODO ÚMIDO (DEZ/2024)

Para as coletas realizadas no mês de dezembro, no período úmido, foi realizado o mesmo procedimento: inicialmente foram comparados os parâmetros individualmente, em forma de linhas, buscando identificar diferenças significativas entre os pontos P2 e P3 das áreas úmidas. Assim como na análise realizada no mês de maio, durante o período seco, não houveram variações significativas entre os pontos sazonalmente encharcados (P2) e permanentemente encharcados (P3) (Quadro 16).

Quadro 16 - Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,1673
Nitrogênio Total (N)	0,6895
Turbidez	0,3072
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,5401
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,2647
Condutividade Específica (SPC)	0,2616
Condutividade Elétrica (EC)	0,2626
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	0,6246

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De forma correlata, posteriormente foram comparados, em forma de colunas, os valores de cada parâmetro nas quatro áreas úmidas. Os resultados mostraram que, de forma semelhante à primeira coleta, no período seco, houveram variações significativas ($p < 0.05$) dos valores referentes ao Potencial de Oxi-Redução (ORP) (Quadro 17).

Quadro 17 - Teste ANOVA para todas as áreas úmidas no período úmido

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,5300
Nitrogênio Total (N)	0,2335
Turbidez	0,4341
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,0740
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,2228
Condutividade Específica (SPC)	0,2164
Condutividade Elétrica (EC)	0,2281
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	0,0048

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim como nas análises referentes ao período seco, as análises feitas no período úmido demonstraram que as áreas úmidas são internamente homogêneas. As diferenças observadas foram referentes apenas ao Potencial de Oxi-Redução (ORP), ao se analisar todas as áreas úmidas.

7.3 ANOVA: MÉDIA DAS DUAS COLETAS

O procedimento realizado para a análise dos pontos P2 e P3, com os dados do mês de maio e de dezembro, buscou representar a média do ano hidrológico. Os resultados mostraram o mesmo panorama observado nas análises individuais: não houveram ocorrências de variações significativas entre os pontos (Quadro 18).

Quadro 18 - Teste ANOVA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas nas duas coletas

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,2268
Nitrogênio Total (N)	0,5884
Turbidez	0,1092
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,6462
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,4934
Condutividade Específica (SPC)	0,4935
Condutividade Elétrica (EC)	0,5045
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	0,8814

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação à análise realizada para todas as áreas úmidas, a tendência de variações no Potencial de Oxi-Redução (ORP) se mantiveram. No entanto, ao analisar todo o conjunto, percebe-se que houveram variações também em relação ao Oxigênio Dissolvido (OD) (Quadro 19).

Quadro 19 - Teste ANOVA para todas as áreas úmidas nas duas coletas

Parâmetros	Valores de p
Fósforo Total (P)	0,2626
Nitrogênio Total (N)	0,4733
Turbidez	0,4427
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,0407
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	0,5272
Condutividade Específica (SPC)	0,5253
Condutividade Elétrica (EC)	0,5081
Potencial de Oxi-Redução (ORP)	2,16 x 10 ⁻⁷

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As variações nos parâmetros apresentados indicam que as diferenças significativas entre os pontos são referentes principalmente ao tempo de residência da água em subsuperfície. Os valores negativos de Potencial de Oxi-Redução (ORP) (predominantes durante as análises) indicam o acúmulo de matéria orgânica em decomposição, com ausência de oxigênio na água, prevalecendo compostos redutores, como amônia (NH_3) e ferro reduzido (Fe^{2+}). Apenas em duas ocorrências os valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP) foram positivos, indicando a influência de águas meteóricas na coleta.

Portanto, a variação neste parâmetro reflete a influência da sazonalidade hídrica nas análises. Além das variações no tempo de residência da água em superfície, evidenciada nas variações de Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP), observa-se que as variações significativas nos valores de Fósforo Total (P) entre os pontos, no período seco (no mês de maio), não se repetem posteriormente. Isto indica que a presença de Fósforo Total (P) está fortemente associada à decomposição de matéria orgânica. No período úmido (referente ao mês de dezembro) a predominância de águas meteóricas não proporcionou tempo suficiente para a realização destes processos biogeoquímicos, explicando assim a ausência de variações semelhantes subsequentes.

Como síntese conclusiva, pode-se afirmar que, tanto nas análises individuais quanto na análise conjunta, não houveram diferenças significativas entre as médias dos conjuntos ao se analisar as variações significativas entre os pontos sazonalmente encharcados (P2) e permanentemente encharcados (P3), indicando que as áreas úmidas possuem homogeneidade entre seus pontos, indicando que processos hidrogeomorfológicos atuam de forma relativamente uniforme nos fluxos de matéria e energia para os pontos centrais e marginais.

Esta homogeneidade pode estar associada à escala espacial de análise, tendo em vista que as áreas úmidas estão inseridas no mesmo contexto regional, e características como clima e litologia são mais homogêneas. Contudo, existem diferenças entre o conjunto de áreas úmidas, indicando heterogeneidade entre elas. Em escala local, as áreas úmidas estão sujeitas a processos biogeoquímicos distintos entre si, associados a elementos que possuem maior variação entre as áreas úmidas, como tipo de vegetação, presença de matéria orgânica e ao tempo de residência da água em superfície.

7.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): PERÍODO SECO (MAI/2024)

Assim como o teste ANOVA, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) para o conjunto de áreas úmidas em três partes: para as coletas do mês de maio, referentes ao

período seco, para as coletas do mês de dezembro, referentes ao período úmido e para todos os dados como um único conjunto.

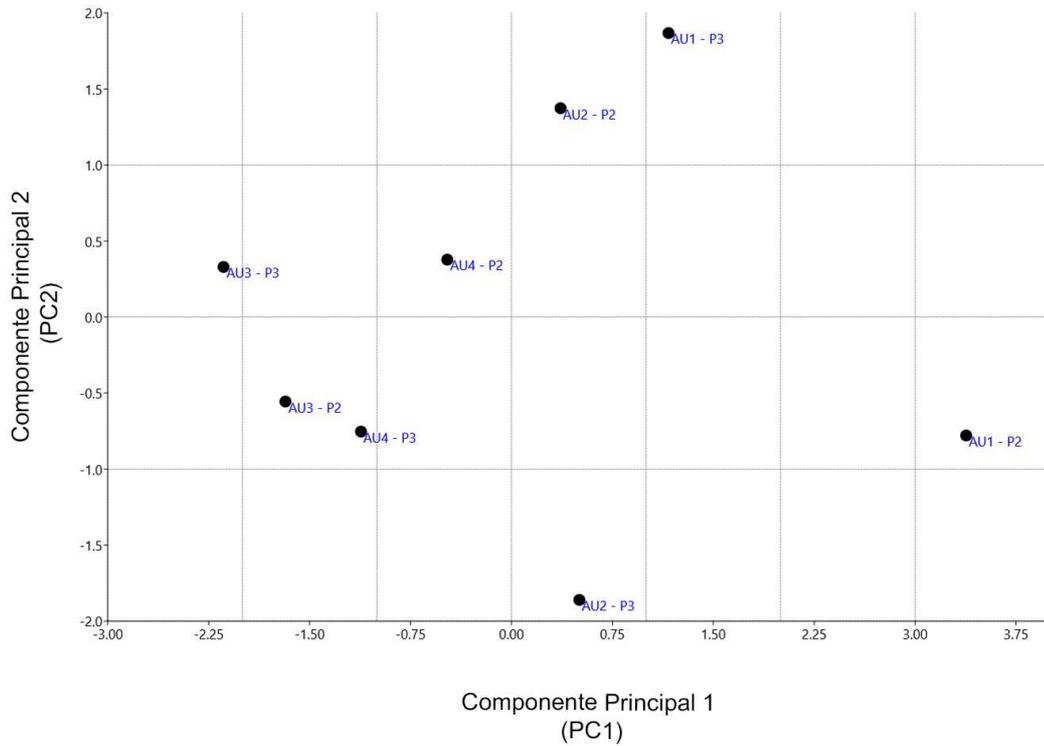
Os resultados mostram sete componentes principais nas quais as áreas úmidas se espalham. Como as Componentes Principais 1 (PC1) e Componente Principal 2 (PC2) possuem maior influência na distribuição das áreas úmidas, a análise dos resultados se restringiu a essas componentes, de forma a possibilitar a análise de distribuição dos dados em duas dimensões. Para as análises no período seco, observa-se que as duas componentes principais explicam cerca de 66% dos dados (Quadro 20, Figura 79).

Quadro 20 - Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco

Componente principal	% de variância
1	44,990
2	21,569
3	18,897
4	8,649
5	3,190
6	1,882
7	0,819

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 79 - PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período seco



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Componente Principal 1 (PC1) explica cerca de 45% dos dados. As variáveis com maior peso neste eixo foram Fósforo Total (P) (0.51), Turbidez (0.42) e Nitrogênio Total (N) (0.36). Em contrapartida, Temperatura (-0.45) e Oxigênio Dissolvido (OD) (-0.34) apresentaram pesos negativos. No Componente Principal 2 (PC2), que explica cerca de 21,56% dos dados, as variáveis de maior peso foram Oxigênio Dissolvido (OD) (0.34) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) (0.33), enquanto Nitrogênio Total (N) (-0.58) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) (-0.526) apresentaram pesos negativos.

Em relação a distribuição das áreas úmidas em conjuntos (P2-P3), destaca-se que o ponto AU1 - P2 está isolado à direita, devido aos altos valores de Nitrogênio Total (N) e Turbidez. Nota-se também que o ponto AU1 - P3 se isolou na parte superior do gráfico, tendo sido influenciado principalmente pelos baixos valores de Nitrogênio Total (N) e de Oxigênio Dissolvido (OD).

De forma geral, é possível inferir que áreas úmidas projetadas mais à direita no PC1 (AU1 - P2 como destaque) indicam maiores concentrações de Fósforo Total (P), Nitrogênio Total (N) e Turbidez, enquanto áreas úmidas projetadas mais à esquerda no eixo PC1 (AU3-P2, AU3-P3 e AU4-P3) podem indicar menores concentrações dessas variáveis. No eixo PC2, áreas

úmidas localizadas mais acima podem estar associadas a valores mais altos de Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) (AU1-P3 como destaque), enquanto áreas úmidas projetadas para baixo nesse eixo (AU2-P3) apresentam menores valores de Oxigênio Dissolvido (OD) e valores elevados de Nitrogênio Total (N).

Por fim, destaca-se que os *outliers* deste conjunto (AU1-P2, AU2-P3, AU3-P2) se mostram distantes entre si, indicando que não existem tendências gerais que expliquem os deslocamentos destes pontos, evidenciando que cada ponto analisado apresenta características singulares.

7.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): PERÍODO ÚMIDO (DEZ/2024)

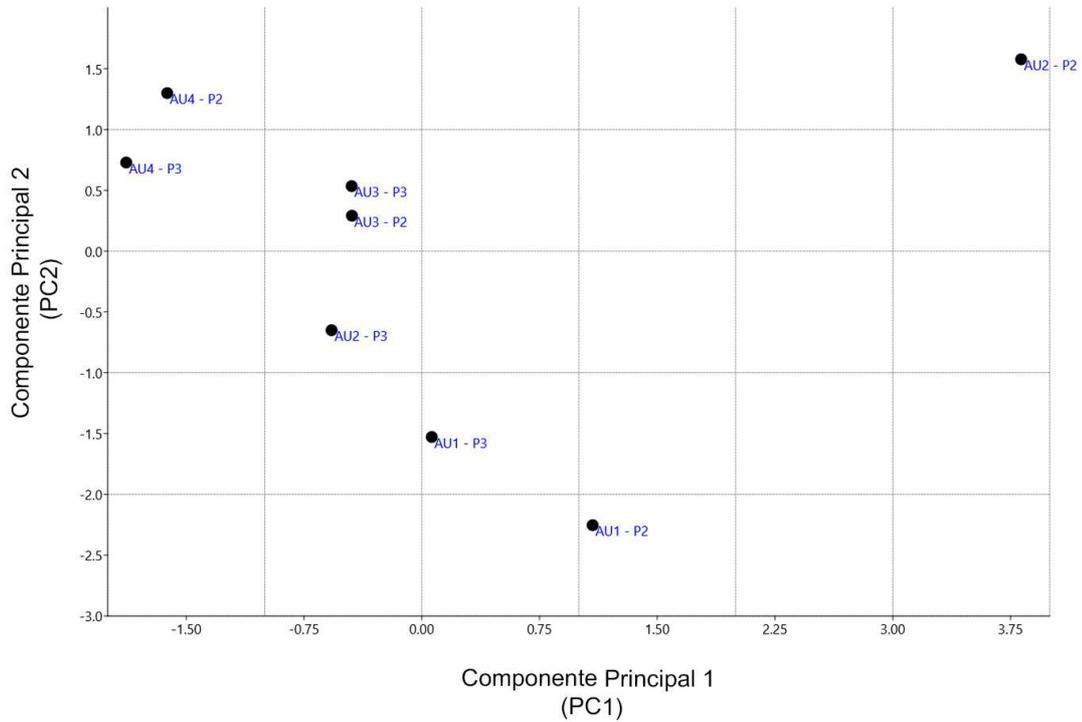
Para os resultados obtidos no período úmido, foi possível observar maior uniformidade nos dados, com poucas variações espaciais entre os pontos analisados. Novamente, foram analisadas as componentes principais 1 e 2, de forma que ambas explicam grande parte das variações nos dados (Quadro 21 e Figura 80).

Quadro 21 - Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido

Componente principal	% de variância
1	46,258
2	26,344
3	17,820
4	7,052
5	1,8426
6	0,682
7	0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 80 - PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas no período úmido



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O componente principal 1 (PC1) explica 46,25% dos dados, tendo Fósforo Total (P) (0.503), Turbidez (0.483) e Nitrogênio Total (N) (0.446) como parâmetros de maior influência neste eixo. O componente principal 2 (PC2), por sua vez, explica 25,46% dos dados, tendo Oxigênio Dissolvido (OD) (0.590), Potencial de Oxi-Redução (ORP) (0.490) e Nitrogênio Total (N) (0.399) como variáveis de maior relevância.

O gráfico mostra que os pontos referentes à área úmida AU4 (P2 e P3) estão isolados no canto esquerdo superior. A posição destes pontos se explica pelos valores positivos de Potencial de Oxi-Redução (ORP), indicando que são áreas úmidas onde predominam águas advindas de precipitação, que possuem menor tempo de residência em superfície. No centro do gráfico, observa-se quatro pontos relativamente próximos, onde os pontos AU1 – P3 e AU3 – P3 se distanciam levemente devido às diferenças nos valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP) e Nitrogênio Total (N).

Em relação aos *outliers*, o valor extremo de Turbidez no ponto AU2 – P2 explica a sua localização isolada no gráfico no eixo PC1, enquanto os maiores valores de Nitrogênio Total (N) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) nesta área úmida explicam a sua posição em relação ao eixo PC2. O ponto AU1 – P2 se diferencia devido aos menores valores de Oxigênio Dissolvido

(OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP), indicando que este ponto esteve saturado por mais tempo.

Ao contrário da análise realizada para o mês de maio (período seco), com exceção dos pontos AU1-P2 e AU2-P2, os pontos se apresentaram relativamente próximos entre si, indicando menores variações nos dados, sendo possível inferir que o tempo de residência de água em superfície possui influência significativa em processos biogeoquímicos que distinguem essas áreas úmidas. No entanto, destaca-se que estes dois *outliers* fogem do padrão observado por motivos distintos, também não sendo possível fazer formulações gerais para este conjunto.

7.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA): DUAS COLETAS

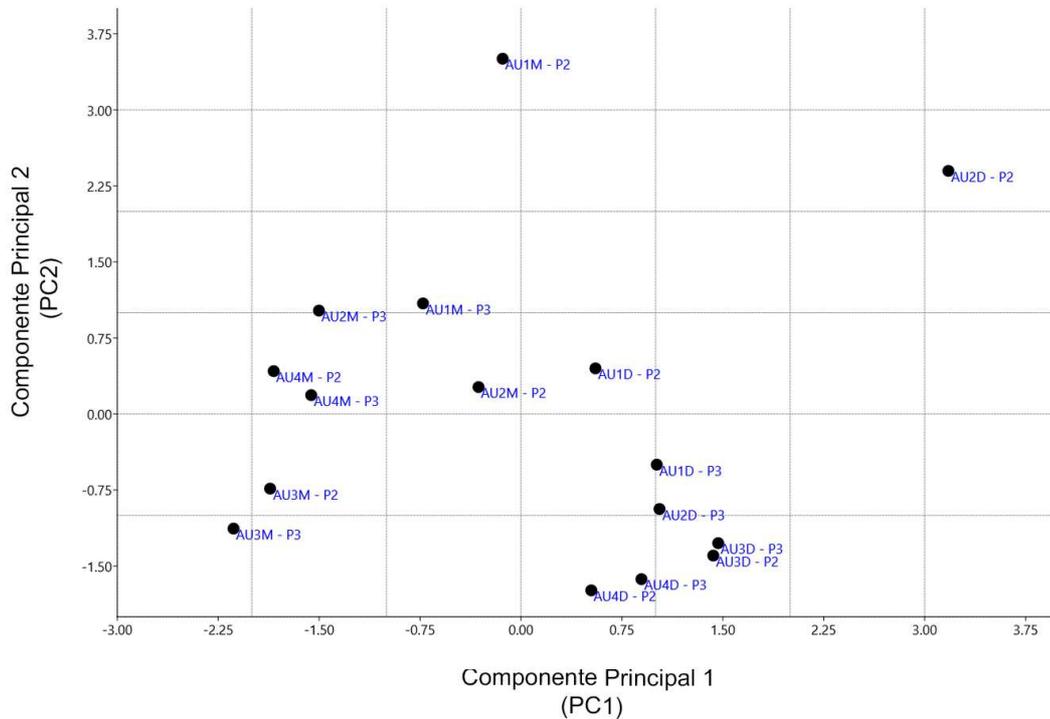
Por fim, os dados foram analisados em um único conjunto, buscando identificar tendências gerais. Para diferenciar os pontos, acrescentou-se a letra referente ao mês de coleta (Quadro 22, Figura 81).

Quadro 22 - Porcentagem de variância em cada componente do PCA, referente aos pontos P2 e P3 das áreas úmidas nos dois períodos.

Componente principal	% de variância
1	32,84
2	31,385
3	14,502
4	11,001
5	7,346
6	2,008
7	0,918

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 81 - PCA para os pontos P2 e P3 das áreas úmidas nos dois períodos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O componente principal 1 (PC1) explica 32,84% dos dados, tendo como variáveis mais influentes: Potencial de Oxi-Redução (ORP) (0.543), Nitrogênio Total (N) (0.423) e Oxigênio Dissolvido (OD) (0.402), enquanto o componente principal 2 (PC2) explica 31,38% dos dados, sendo Fósforo Total (P) (0.629), Turbidez (0.449) e Oxigênio Dissolvido (OD) (-0.405) os parâmetros de maior relevância.

É possível observar uma concentração de pontos na margem esquerda do eixo PC1, sendo todos os pontos referentes ao mês de maio, no período seco. Destaca-se que estes pontos apresentaram resultados relativamente semelhantes. Os baixos valores de Potencial de Oxi-Redução (ORP), Oxigênio Dissolvido (OD) e Nitrogênio Total (N) levaram estes pontos para a margem esquerda do eixo PC1, indicando a estagnação da água em superfície por maior tempo. Em relação ao eixo PC2, tais pontos estão próximos a sua base, indicando que valores de Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD) e Fósforo Total (P) não apresentaram variações relevantes. Os pontos coletados no mês de dezembro, no período úmido, também se mostram próximos entre si, com exceção de AU2D-P2, indicando que não houveram variações significativas na maioria das variáveis analisadas.

Em relação aos *outliers*, no eixo PC1 sobressaem os pontos AU1 – P2, referente ao mês de maio. Neste ponto, observa-se os maiores valores de Nitrogênio Total (N) para todo o rol,

assim como os menores valores de Oxigênio Dissolvido (OD), evidenciando o elevado aporte de matéria orgânica neste ponto.

No eixo PC2, o destaque é o ponto AU2 – P2, referente ao mês de dezembro, onde os elevados valores de Turbidez, com auxílio do valor também relativamente elevado de Fósforo Total (P), resultaram na disparada deste ponto para a extremidade positiva do eixo. Tais valores estão associados ao acúmulo de sedimentos em suspensão devido à erosão e fluxo hídrico concentrado neste ponto.

Analisando os resultados das duas coletas, conclui-se que as coletas realizadas próximas no período úmido (mês de dezembro) apresentaram resultados relativamente semelhantes entre si, com exceção de AU2-P2, referente ao mês de dezembro. O menor tempo de residência da água em superfície provavelmente favoreceu coletas de águas advindas de precipitação, com menor influência de exfiltração de águas subsuperficiais, homogeneizando as amostras. Desta forma, não houve tempo suficiente para dissolução de solutos e acúmulo de matéria orgânica, tampouco para ocorrência de processos biogeoquímicos associados à sua presença. O *outlier* encontrado está associado ao acúmulo de sedimentos em suspensão no ponto de coleta, acarretando valores acentuados de Turbidez.

Em relação ao mês de maio, no período seco, os resultados encontrados apresentaram maiores variações. As interações entre águas subsuperficiais, vegetação, solo e matéria orgânica se desenvolveram de formas distintas nestes pontos, evidenciadas nas diferentes correlações entre as variáveis analisadas. Conseqüentemente, foram maiores as ocorrências de pontos que fogem dos padrões observados. No entanto, tais desvios se devem a motivos distintos, evidenciadas na distribuição dos pontos nos eixos PC1 e PC2, indicando assim o caráter complexo desses hidrossistemas.

Apesar de algumas pequenas variações, nas duas coletas foi possível observar que as análises individuais mostraram influências maiores de Turbidez, Fósforo Total (P) e Nitrogênio Total (N) no eixo PC1, assim como maiores pesos de Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) no eixo PC2. Na análise conjunta, embora em ordem invertida, foi possível observar a manutenção destas variáveis nos dois eixos: enquanto o eixo PC1 agora é influenciado majoritariamente por Nitrogênio Total (N), Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP), o eixo PC2 passou a ser influenciado principalmente por Fósforo Total (P), Turbidez e Oxigênio Dissolvido (OD).

Conclui-se que houveram duas correlações diretas: a primeira entre Turbidez e Fósforo Total (P), indicando que as partículas em suspensão (sedimentos e matéria orgânica) são as principais fontes de fósforo adsorvido, na forma de particulados. A outra correlação (inversa)

entre Nitrogênio Total (N), Oxigênio Dissolvido (OD) e Potencial de Oxi-Redução (ORP) mostra que o maior tempo de residência da água em superfície proporciona a intensificação dos processos de decomposição de matéria orgânica e nitrificação, consumindo o oxigênio presente e aumentando os teores de nitrogênio na água.

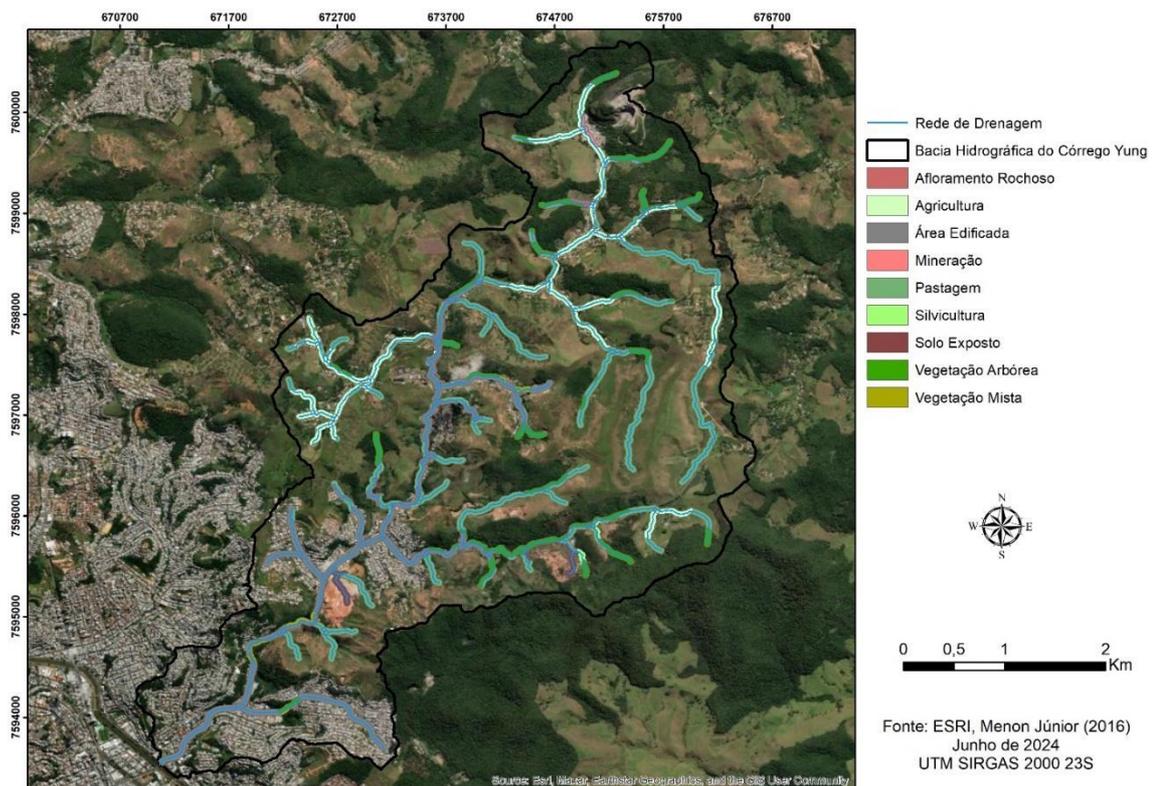
Portanto, os resultados encontrados demonstram que não é possível fazer formulações acerca de tendências gerais que expliquem as diferenças entre as áreas úmidas. Ao se analisar todo o conjunto, fica explícito que cada hidrossistema é único e apresenta características singulares, exemplificadas em *outliers* gerados por motivos distintos entre si.

8 CONTEXTO ATUAL DE PROTEÇÃO E ESTADO DINÂMICO-FUNCIONAL DAS ÁREAS ÚMIDAS

Como demonstrado previamente, fluxos de matéria e energia longitudinais e laterais, associados principalmente a canais fluviais, atuam na formação de áreas úmidas, evidenciando a conectividade entre esses hidrossistemas. Neste sentido, existe uma correlação direta entre a proteção de cursos d'água e a proteção de áreas úmidas.

A interpolação do mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do córrego Yung (2023) com os *buffers* de 30 metros ao redor dos cursos d'água (referentes às APP) mostra que a classe de pastagens é que mais circunda os cursos d'água locais (35,71%), seguido de áreas edificadas (24,72%), agricultura (20,41%) e vegetação arbórea (13,78%). O restante não ultrapassa os 2%, situando-se espacialmente distantes dos cursos d'água (Figura 82, Quadro 23).

Figura 82 - Classes de uso e cobertura da terra dentro dos *buffers*



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 23 - Frequência das classes de uso e cobertura da terra dentro dos *buffers*

Classe	Área (km ²)	Área (%)
Área Edificada	0,746	24,72%
Agricultura	0,616	20,41%
Afloramento Rochoso	0,009	0,30%
Mineração	0,011	0,37%
Solo Exposto	0,065	0,36%
Pastagem	1,078	35,71%
Silvicultura	0,031	1,03%
Vegetação Mista	0,046	1,52%
Vegetação Arbórea	0,415	13,78%
Total	3,019	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Estes resultados demonstram, em uma escala mais ampla, a fragilidade na proteção de sistemas fluviais, tendo em vista o baixo índice de matas ciliares nos canais fluviais. No baixo e médio curso da bacia predominam as áreas de expansão urbana, que, sob a lógica do capital imobiliário, suprimiu cursos d'água em superfície, consequentemente resultando no desaparecimento de áreas úmidas previamente existentes.

As áreas úmidas remanescentes, situadas no alto curso da bacia hidrográfica do córrego Yung, estão majoritariamente em um contexto de uso e cobertura da terra onde predominam o uso de pastagens. Nas visitas de campo, em escala verticalizada, foi possível observar que o acúmulo de sedimentos advindos dos locais destinados a pastagem se manifesta no assoreamento das áreas úmidas. Nas análises de água, a intensificação dos processos erosivos e aumento do transporte de sedimentos se manifesta nos elevados teores de Turbidez, encontrados na área úmida AU2 (predominância de pastagem com fragmentos de vegetação arbórea), na coleta de dezembro, e na área úmida AU4 (totalmente recoberto por pastagens), na coleta do mês de maio.

A partir das formas de uso e cobertura da terra em seus arredores e dos resultados das análises de água, as áreas úmidas visitadas em campo foram classificadas de modo a distinguir seu estado dinâmico-funcional, a partir da proposta de Bertrand (1972). Foi considerado que as quatro áreas úmidas estão em estado de biostasia, ou seja, estão inseridas em locais em que a atividade morfogenética é pequena, predominando processos de pedogênese. A classificação

referente aos sistemas em biostasia se desdobra em quatro classes: sistemas “climáticos”, sistemas “paraclimáticos”, sistemas degradados com dinâmica progressiva e sistemas degradados com dinâmica regressiva.

A área úmida AU1, situada em meio a vegetação arbórea densa, em uma unidade de conservação, pode ser considerada um sistema “climático”. Sistemas “climáticos” apresentam clímax vegetacional relativamente conservado, não sendo alterados por modificações humanas pontuais ou fenômenos naturais, como movimentos de massa (BERTRAND, 1972).

Embora as análises de água realizadas na área úmida AU1 mostrem valores elevados de Fósforo Total (P) e Turbidez, tais valores estão associados à processos biogeoquímicos atrelados à abundância de matéria orgânica e de argilas em suspensão, não necessariamente advindas de processos resultantes de atividades antrópicas, mas pelo transporte de sedimentos e compostos vegetais através de fluxos longitudinais e laterais via processos de escoamento superficial.

Destaca-se que a abertura de uma pequena trilha de acesso para a área constitui-se em uma intervenção humana de caráter limitado. No entanto, não é possível afirmar que este sistema está em caráter regressivo, tendo em vista que não há processo ativo de assoreamento e a ausência de depósitos tecnogênicos próximos (Figura 83).

Figura 83 - Cobertura vegetal na área úmida AU1



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Circundada por pastagens e fragmentos de vegetação arbórea, a área úmida AU2 pode ser classificada como um sistema “paraclimácico”, considerando que a manutenção de pastagem e a criação de um dique à jusante da área úmida constituem-se em bloqueios de origem antrópica que podem vir a alterar as características da área úmida e os processos hidrogeomorfológicos que atuam no transporte e deposição de sedimentos, resultando em uma “evolução regressiva”.

Apesar de estar situada em uma propriedade particular, com acesso direto do gado, as análises de água mostram que os valores de turbidez foram elevados em suas margens, nos períodos seco e úmido. Esta ocorrência se associa ao acúmulo de sedimentos carregados via escoamento superficial para o ponto de coleta. Apesar de próximo à área úmida não existir depósitos tecnogênicos, estradas ou alterações significativas no terreno, o predomínio de pastagens acarreta na perda de solos e intensificação no transporte de sedimentos para suas margens, que posteriormente pode acarretar em processos de assoreamento (Figura 84).

Figura 84 - Formas de uso e cobertura da terra na área úmida AU2



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

A área úmida AU3, situada entre pastagens e com uso de agricultura à montante, está situada às margens do córrego Yung. A área úmida AU4, por sua vez, está inserida em uma propriedade residencial, onde predomina o uso por pastagens. Estas áreas úmidas podem ser consideradas sistemas degradados com dinâmica regressiva. Estes sistemas representam

unidades de paisagem mais alteradas pela ação humana, com modificações mais acentuadas nas formas de uso e cobertura da terra e transformação do solo pelo pisoteio do gado, assim como processos de assoreamento nos hidrossistemas.

Para a área úmida AU3, apesar dos valores de Turbidez e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) não ultrapassarem os limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357 (2005), é possível encontrar pontos onde a área úmida se mostra assoreada (Figura 85). A presença de um conjunto residencial e estradas próximas às margens da área úmida acarretam na impermeabilização de superfícies próximas, acentuando processos de escoamento superficial que carregam sólidos dissolvidos e sedimentos para o interior da área úmida.

Além disso, a expansão do uso de agricultura e o surgimento de novas residências à montante desta área úmida mostram-se como potenciais elementos de alterações nas características geoquímicas da água, indicando que este sistema tende à evolução regressiva, considerando a conectividade entre as áreas a partir de fluxos longitudinais e laterais.

Figura 85 - Assoreamento na área úmida AU3



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Próximo da área úmida AU4, é possível observar interferência antrópica direta à montante, evidenciada em obras para captação direta de água da nascente do córrego Yung (Figuras 86 e 87). Aliados ao uso predominante de pastagens, depósitos tecnogênicos, construções residenciais e estradas relativamente próximas também acarretam no aumento de

partículas e sedimentos carregados para as áreas úmidas, resultando principalmente no aumento dos teores de Turbidez e Total de Sólidos Dissolvidos.

Cabe destacar que nas primeiras visitas de campo (06/11/2023) os depósitos tecnogênicos observados nas margens da estrada já se mostravam presentes, enquanto as alterações no entorno da nascente só foram observadas a partir de campanhas de campo posteriores (10/05/2024), indicando que este sistema também está em uma dinâmica de evolução regressiva, embora a funcionalidade básica da área úmida ainda esteja mantida.

Figura 86 - Alterações antrópicas na nascente do córrego Yung



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Figura 87 - Depósitos tecnogênicos próximos à nascente do córrego Yung



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Como síntese conclusiva, percebe-se que as áreas úmidas do recorte espacial estudado estão desprotegidas, tendo em vista a ausência de diretrizes de proteção direta, o baixo índice de vegetação arbórea dentro dos limites estabelecidos pelas APP de curso d'água e o predomínio de pastagens. Nos estudos verticalizados, observa-se como a ausência de proteção se manifesta em alterações nas formas de uso e cobertura no entorno das áreas úmidas, evidente no predomínio de pastagens e nas mudanças nos fluxos de matéria e energia (na forma de transporte/deposição de água e sedimentos) pela ação humana, influenciando processos biogeoquímicos das áreas úmidas em escala local.

De forma geral, a única área úmida que não apresenta indícios de “evolução regressiva” ou degradação é a área úmida AU1, considerando a estrutura da paisagem e as análises de água. Apesar de não existirem dados em uma série temporal adequada para estabelecer comparações, é possível afirmar que o restante das áreas úmidas apresenta, em maior ou menor grau, alterações nos estados dinâmico-funcionais e indícios de degradação (áreas úmidas AU3 e AU4), evidentes na presença de depósitos tecnogênicos próximos e nos processos ativos de acúmulo de sedimentos e assoreamento em alguns pontos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formas produção do espaço, calcadas sobre a lógica do capital imobiliário, resultam em transformações drásticas da paisagem, onde zonas periurbanas, ainda com ocupações incipientes, possuem suas atividades econômicas subordinadas aos centros urbanos. Recursos hídricos, de forma geral, são ressignificados para atender diferentes demandas, seja para consumo próprio ou para atividades destinadas ao comércio.

A ressignificação da paisagem, a partir da transformação das águas, torna explícita a relação conturbada entre sociedade e natureza. As chamadas *waterscapes*, consideradas como paisagens híbridas, demonstram as relações de poder nos espaços urbanos e periurbanos, onde as águas possuem finalidades e significados distintos.

Enquanto nas zonas densamente urbanizadas os corpos d'água em superfície foram obliterados, em zonas periurbanas ainda é possível perceber diferentes formas de uso para a água, especificamente para as áreas úmidas. Soma-se a isso um fenômeno relativamente comum em conjuntos residenciais em zonas periurbanas: o barramento de canais fluviais e áreas úmidas, visando a formação de lagos artificiais. Resumidamente, sistemas helocrenos tornam-se sistemas limnocrenos, com a finalidade de buscar beleza estética e valorização de terrenos.

Desta forma, é cada vez mais raro encontrar áreas úmidas que não estejam sobre algum tipo de influência advinda de atividades antrópicas ao seu redor. As constantes alterações nas formas de uso e cobertura da terra mostraram-se significativamente influentes ao se analisar a distribuição espacial das áreas úmidas. Estas mudanças refletem-se na área de estudo pelo declínio do uso de pastagens (embora ainda sejam dominantes), com o crescimento incipiente de áreas destinadas a agricultura e a consolidação de áreas densamente urbanizadas no baixo e médio curso da bacia hidrográfica do córrego Yung,

Além disso, as mudanças nas formas de uso e cobertura da terra acarretam em mudanças em fluxos de matéria e energia através da impermeabilização de superfícies. Processos hidrogeomorfológicos de escoamento superficial/subsuperficial, percolação e deposição de água e sedimentos também são modificados. Conseqüentemente, as características fisiográficas das áreas úmidas também são alteradas, já que tais processos se adequam às alterações feitas na paisagem, produzindo novos modelados de relevo. Destarte, a auto-organização das áreas úmidas às mudanças de nos fluxos de matéria e energia evidenciam seu caráter complexo e não linear.

Em relação às análises de água, tomando como base os parâmetros analisados, estatisticamente não houveram diferenças significativas entre os pontos sazonalmente encharcados e permanentemente encharcados. Evidentemente, os parâmetros escolhidos, o

baixo número de amostras e as semelhanças de características hidrogeomorfológicas contribuíram para a homogeneidade observada.

Entre as áreas úmidas, as heterogeneidades encontradas estão associadas a aspectos hidrodinâmicos e características geoquímicas. A variação no tempo de residência de água em superfície nos pontos analisados está fundamentalmente associada aos processos biogeoquímicos que ocorrem em escala local, na interface entre água-solo-vegetação, variando de acordo com a sazonalidade hídrica.

As heterogeneidades também se mostram evidentes ao se analisar o estado dinâmico-funcional das áreas úmidas. As formas de uso e cobertura da terra e as particularidades locais de cada unidade de paisagem conferem às áreas úmidas fluxos de matéria e energia que diferenciam no espaço e no tempo, conseqüentemente resultando em áreas úmidas com estruturas e estágios de evolução diversos.

Diante deste cenário, mostra-se evidente a necessidade de estudos multidisciplinares para compreender em totalidade a dinâmica funcional destes hidrossistemas. Enquanto as ciências geográficas e geomorfológicas apresentam-se adequadas para explicar onde e como as áreas úmidas se formam, é necessário se amparar nas ciências químicas e biológicas para responder às complexas interações entre água, solo, vegetação e micro-organismos que ocorrem nas áreas úmidas.

A área úmida AU2, que se distingue das demais por ser uma área úmida de depressão, apresentou maiores médias de Turbidez em todo o rol, enquanto os outros parâmetros não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação às outras áreas úmidas. No entanto, o alto desvio padrão e a variabilidade dos dados fizeram com que este parâmetro não apresentasse diferenças estatisticamente significativas dentro dos testes ANOVA. Desta forma, não foi possível concluir que as características hidrogeomorfológicas das áreas úmidas foram os fatores primários que resultaram na heterogeneidade destes hidrossistemas.

Sobre a proteção das áreas úmidas, este trabalho expôs a fragilidade da legislação ambiental vigente neste quesito. Com exceção das áreas úmidas consideradas como sítios Ramsar, foi demonstrado que as únicas formas de proteção de áreas úmidas estão associadas às APP delimitadas para canais fluviais e nascentes, o que evidentemente não é suficiente. Os mapeamentos de uso e cobertura da terra, amparados pelas visitas de campo e pelas análises de água, expressaram as influências de cunho antrópico nas características geoquímicas das áreas úmidas, demonstrando empiricamente a fragilidade dos atuais mecanismos de proteção de áreas úmidas empregados pela legislação brasileira.

Analisando as diretrizes dispostas pela Resolução CONAMA nº 357 (2005) e pela deliberação normativa conjunta COPAM-CERH/MG nº 8 (2022), para águas doces, classe 3, não foram encontradas diretrizes que apontem para as diferenças entre ambientes lóticos e lênticos (com exceção do fósforo), tampouco para ambiente helocrenos. Portanto, os resultados de laboratório mostraram que os parâmetros amplamente utilizados para se analisar a qualidade da água não são totalmente adequados para se mensurar o estado dinâmico-funcional de sistemas helocrenos, como as áreas úmidas.

Como síntese, é possível inferir que a discussão apresentada neste trabalho mostra um cenário recorrente de transformação do espaço urbano, relativamente comum em cidades médias do porte de Juiz de Fora – MG. Em maior ou menor grau, outras áreas úmidas espalhadas pelo país são alvos de processos semelhantes. No entanto, o que este trabalho destaca é que cada área úmida possui uma auto-organização única inerente ao seu sistema.

Dentro da literatura nacional existem trabalhos que discutem novas recomendações acerca da necessidade de atualização de algumas diretrizes para a proteção e manejo sustentável de áreas úmidas em território nacional, como em Piedade et al. (2012), Junk et al. (2014) e Junk, Cunha e Novelli (2024). Baseando-se nestes trabalhos, assim como nos resultados encontrados ao longo da pesquisa, propõe-se como conclusão alguns tópicos buscando contribuir na discussão acerca da proteção de áreas úmidas, tanto em âmbito nacional, como em âmbito local, tais como:

1. Desenvolver articulações e redes colaborativas entre órgãos de gestão e comunidade científica para preenchimento de lacunas de conhecimento existentes e elaborar medidas de proteção efetivas.
2. Melhorar o mapeamento e reconhecimento de áreas úmidas em escala nacional, elaborando levantamentos e inventários baseados em técnicas de sensoriamento remoto, que não se restrinjam apenas às áreas úmidas de interesse internacional (sítios Ramsar).
3. Atualizar as definições para áreas úmidas no Código Florestal Brasileiro (2012). Junk et al. (2014) recomendam a definição de áreas úmidas como: “ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica”.
4. Assim como a definição, a delimitação de áreas úmidas também precisa de ajustes. Junk et al. (2014) orientam que a extensão de uma área úmida deve ser

determinada: “pelo limite da inundação rasa ou do encharcamento permanente ou periódico, ou no caso de áreas sujeitas aos pulsos de inundação, pelo limite da influência das inundações médias máximas, incluindo-se aí, se existentes, áreas permanentemente secas em seu interior, habitats vitais para a manutenção da integridade funcional e da biodiversidade das mesmas. Os limites externos são indicados pelo solo hidromórfico, e/ou pela presença permanente ou periódica de hidrófitas e/ou de espécies lenhosas adaptadas a solos periodicamente encharcados”.

5. Em relação às APP de cursos d’água, é necessário considerar sua delimitação ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto, conforme o Código Florestal de 1965. De forma correlata, também se mostra fundamental garantir que as APP de curso d’água sejam efetivamente protegidas através da manutenção de vegetação às margens dos canais fluviais.
6. Em nível federal, regulamentar diretrizes para o manejo e proteção de áreas úmidas para aplicação nas esferas estaduais e municipais. Junk et al. (2014) apontam que seria de responsabilidade dos governos dos estados a delimitação e classificação de áreas úmidas, assim como a elaboração de planos para uso sustentável, desenvolvimento de ações práticas de proteção/recuperação e designação de órgãos estaduais para implementação das diretrizes.
7. Desenvolver, em escala municipal, programas de educação ambiental visando a conscientização sobre o que são as áreas úmidas, sua relevância social e sobre os serviços ecossistêmicos que estes hidrossistemas fornecem, rejeitando a ideia de que são ambientes insalubres.
8. Estabelecer diretrizes específicas, em escala nacional e regional, para análises de qualidade da água em ambientes helocrenos/sistemas lênticos, tendo em vista que as diretrizes usualmente utilizadas como referência raramente distinguem águas correntes de águas paradas, com exceção de alguns parâmetros.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA NETO, J.O. et al. Caracterização hidrogeoquímica de cabeceiras de drenagem na Serra da Mantiqueira. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6003-6015, 2017.
- ALTVATER, E. ¿ Existe un marxismo ecológico. **La teoría marxista hoy. Problemas y perspectivas**, v. 1, p. 341-364, 2006.
- BARBIER, E.B. Valuing environmental functions: tropical wetlands. **Land economics**, v. 70, n. 2, p. 155-173, 1994.
- BARROS, S.F.S. Da Zona da Mata/MG à Região Geográfica Intermediária de Juiz de Fora/MG: continuidades e descontinuidades nas propostas de regionalização do IBGE. **Revista Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 22, n. 80, p. 15-33, 2021.
- BARROS, R.R.; GOMES, L.R.; FELIPPE, M.F. Articulações topográficas e conectividade dos hidrossistemas no Jardim Botânico da UFJF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 3, 2023.
- BARROS, R.R.; FELIPPE, M.F. Alterações em hidrossistemas periurbanos em Juiz de Fora–MG: interpretações geoecológicas. **Revista Pantaneira**, v. 24, p. 43-58, 2024.
- BEDFORD, B.L.; WALBRIDGE, M.R.; ALDOUS, A. Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands. **Ecology**, v. 80, n. 7, p. 2151-2169, 1999.
- BERTOLO, R.A.; HIRATA, R.; FERNANDES, A. Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 515-529, 2007.
- BERTRAND, Georges et al. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. São Paulo: USP, 1972.
- BHATERIA, R.; JAIN, D. Water quality assessment of lake water: a review. **Sustainable Water Resources Management**, v. 2, p. 161-173, 2016.
- BLACKWELL, M.S.A; PILGRIM, E.S. Ecosystem services delivered by small-scale wetlands. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, n. 8, p. 1467-1484, 2011.
- BOULEAU, G. The co-production of science and waterscapes: The case of the Seine and the Rhône Rivers, France. **Geoforum**, v. 57, p. 248-257, 2014.
- BOYD, C.E. **Water quality: an introduction**. Springer Nature, 2019.
- BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Brasília, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em 09 julho 2024.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 09 julho 2024.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. 496 p. Disponível em:

https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em 02/05/2023.

BRINSON, M.M. **A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands**. Washington: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1993. (Wetlands Research Program Technical Report).

BURGIN, S.; FRANKLIN, M.J.M; HULL, L. Wetland loss in the transition to urbanisation: a case study from Western Sydney, Australia. **Wetlands**, v. 36, p. 985-994, 2016.

CADOL, D.; WINE, M.L. Geomorphology as a first order control on the connectivity of riparian ecohydrology. **Geomorphology**, v. 277, p. 154-170, 2017.

CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista árvore**, v. 30, p. 241-248, 2006.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CAVALCANTI, L.C.S.; CORRÊA, A.C.B. Geossistemas e geografia no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 61, n. 2, p. 3-33, 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Módulo 1 - Introdução à Qualidade da Água. São Paulo, 2017.

CHAVES, T. Estudo de caso-a cidade de Juiz de Fora MG-sua centralidade e problemas sócio-econômicos. **Revista GEOMAE**, v. 2, n. esp, p. 155-170, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG). **Mapa Geológico - Folha Juiz de Fora**. Belo Horizonte, 2013. Escala 1:100.000.

CORREIA, A. et al. Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. **Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**, v. 8, p. 1-5, 2008.

CRAFT, C.B. Biology of wetland soils. **Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification**, p. 107-137, 2001.

CRONK, J.K.; FENNESSY, M. S. **Wetland plants: biology and ecology**. CRC press, 2016.

CRUZ, L. A. **Áreas Verdes e Espaço Urbano: A mata do Krambeck e a cidade de Juiz de Fora em Minas Gerais**. 2016. 112 f. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

CUNHA, C.N.; PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2014.

DAVIDSON, N.C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. **Marine and Freshwater Research**, v. 65, n. 10, p. 934-941, 2014.

DEBUSK, W.F. **Organic matter turnover along a nutrient gradient in the Everglades**. University of Florida, 1996.

DIEGUES, A.C.S. (Ed.). **An inventory of Brazilian wetlands**. IUCN, 1994.

DIEGUES, A.C.S. Mito moderno da natureza intocada. 1994.

DVORETT, D. et al. Developing a hydrogeomorphic wetland inventory: reclassifying national wetlands inventory polygons in geographic information systems. **Wetlands**, v. 32, p. 83-93, 2012.

EDUARDO, C.C. Cartografia geomorfológica comparada: aplicações no município de Juiz de Fora (MG) como subsídio ao planejamento. 2018.

EDUARDO, C.C. et al. Transformações geomorfológicas na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Burros (Juiz de Fora/MG). **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 15, n. 26, p. 138-161, 2019.

ENGELS, F. Dialética da natureza. Tradução Nélio Schneider – 1. ed. - São Paulo: Boitempo, 2020.

FARINA, A. et al. Principles and methods in landscape ecology. 2006.

FISHER, J.; ACREMAN, M. C. Wetland nutrient removal: a review of the evidence. **Hydrology and Earth system sciences**, v. 8, n. 4, p. 673-685, 2004.

FOSTER, J.B.; CLARK, B. Marxismo e a dialética da ecologia. **Crítica Marxista**, n. 50, p. 171-191, 2020.

FRYIRS, K. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30-46, 2013.

GATTO, L. C. S. et al. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

GIBBS, J.P. Wetland loss and biodiversity conservation. **Conservation biology**, v. 14, n. 1, p. 314-317, 2000.

GOMES, C.S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais**. 2017. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GOMI, T.; SIDLE, R.C.; RICHARDSON, J.S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.

GOMES, C.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P. Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. **Geo UERJ**, n. 33, p. e34519-e34519, 2018.

GRENFELL, M. C.; ELLERY, W. N.; PRESTON-WHYTE, R. A. Wetlands as early warning (eco) systems for water resource management. **Water SA**, v. 31, n. 4, p. 465-472, 2005.

GUIMARÃES, I.P.M.B. Áreas úmidas no domínio dos mares de morros: aspectos hidrogeomorfológicos e morfoestruturais. 2023.

GUO, M. et al. A review of wetland remote sensing. **Sensors**, v. 17, n. 4, p. 777, 2017.

GURNELL, A. M. et al. A conceptual model of vegetation–hydrogeomorphology interactions within river corridors. **River research and applications**, v. 32, n. 2, p. 142-163, 2016.

HOWARD-WILLIAMS, C. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: a theoretical and applied perspective. **Freshwater biology**, v. 15, n. 4, p. 391-431, 1985.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017, 83p.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Juiz de Fora**. 2023 Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora>>. Acesso em 08 mar. 2024.
- JACKSON, C. Rhett; THOMPSON, James A.; KOLKA, Randall K. Wetland soils, hydrology and geomorphology. In: **Batzer, D.; Sharitz, R., eds. Ecology of freshwater and estuarine wetlands. Berkeley, CA: University of California Press: 23-60. Chapter 2., p. 23-60, 2014.**
- JOHNSTON, C.A.; BRIDGHAM, S.D.; SCHUBAUER-BERIGAN, J.P. Nutrient dynamics in relation to geomorphology of riverine wetlands. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 2, p. 557-577, 2001.
- JUNK, W.J. et al. Ecophysiology, biodiversity and sustainable management of central Amazonian floodplain forests: A synthesis. **Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management**, p. 511-540, 2011.
- JUNK, W.J. et al. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, p. 623-640, 2011.
- JUNK, W.J. et al. Definição e classificação das Áreas Úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. **Classificação e delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus macrohabitats. Cuiabá: INCT- INAU-EdUFMT**, p. 13-76, 2014.
- JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F. Áreas Úmidas (AUs) brasileiras: avanços e conquistas recentes. **Boletim ABLinno**, v. 41, n. 2, p. 20-24, 2015.
- JUNK, W.J., CUNHA, C.N., NOVELLI, Y.S. Discussão geral da situação atual das áreas úmidas brasileiras e recomendações para sua proteção e manejo sustentável. In: **Inventário das áreas úmidas brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento [recurso digital]** / Organizadores: Wolfgang J. Junk; Cátia Nunes da Cunha. 1.ed. - Cuiabá-MT: Carlini & Caniato Editorial, 2024.
- KARPOUZOGLOU, T.; VIJ, S. Waterscape: a perspective for understanding the contested geography of water. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 4, n. 3, p. e1210, 2017.
- KINGSFORD, R.T.; BASSET, A.; JACKSON, L. Wetlands: conservation's poor cousins. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 26, n. 5, p. 892-916, 2016.
- KOLKA, R.K.; THOMPSON, J.A. Wetland geomorphology, soils, and formative processes. **Ecology of freshwater and estuarine wetlands**, p. 7-42, 2006.
- LIMBERGER, L. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia**, v. 15, n. 2, p. 95-109, 2006.
- MAILLARD, P.; PIVARI, M.O.; LUIS, C.H.P. Remote sensing for mapping and monitoring wetlands and small lakes in Southeast Brazil. **Remote sensing of planet earth. Rijeka: InTech**, p. 23-46, 2012.
- MANHÃES, M.A.; LOURES-RIBEIRO, A. Avifauna da Reserva Biológica Municipal Poço D'Anta, Juiz de Fora, MG. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 275-286, 2011.
- MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 349-354, 2011.
- MARQUES NETO, R.; BARRETO, J.C.B; LUCAS, P.G.S. Geoquímica da paisagem e suas relações com a estruturação dos geossistemas: aplicações em bacia de baixa ordem de terrenos cristalinos. **Geografia**, v. 48, n. 1, p. 1-26, 2023.

- MELACK, J.M.; HESS, L.L. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. **Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management**, p. 43-59, 2011.
- MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R.T. Fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do córrego do Yung–Juiz de Fora/MG. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 5, 2015.
- MENON JÚNIOR, W. **Evolução temporal das áreas de risco à ocorrência de escorregamentos na bacia hidrográfica do córrego do Yung – Juiz de Fora/MG entre 1968 e 2010**. 2016. 155p. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em geografia, ICH, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2016.
- MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R.T. Mapeamento de estabilidade de encostas: o caso da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (Juiz de Fora-MG). **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 6, n. 2, 2016.
- MITSCHE, W. J.; GOSELINK, J. G. **Wetlands**. 2007.
- NAWAZ, M.F.; BOURRIE, G.; GUL, S. Factors affecting redox reactions in hydromorphic soils. A review. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 51, n. 3, 2014.
- NICHOLS, D.S. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, p. 495-505, 1983.
- NOCE, C. et al. O embasamento arqueano e paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. **Geonomos** (15), 2007.
- NIU, Z. et al. Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008. **Chinese Science Bulletin**, v. 57, p. 2813-2823, 2012.
- OLIVEIRA, T. A.; TAVARES, C. M. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C. C. M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora no período de 1910- 2018: investigação a partir da técnica do Box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020, p. 457-478.
- PANIZZA, A.C.; FONSECA, F.P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP Espaço e Tempo (online)**, v. 15, n. 3, p. 30-43, 2011.
- PIEDEDE, M.T.F et al. As áreas úmidas no âmbito do Código Florestal brasileiro. **Código Florestal e a ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber. Sumários executivos de estudos científicos sobre impactos do projeto de Código Florestal**, p. 9-17, 2012.
- PIÉGAY, H.; SCHUMM, S.A. System approaches in fluvial geomorphology. **Tools in fluvial geomorphology**, p. 103-134, 2003.
- PREFEITURA DE JUIZ DE FORA, 2021. **A Cidade**. Disponível em <<https://pjf.mg.gov.br/cidade/populacao.php>>. Acesso em 08 mar. 2024.
- QUIRK, T.J. One-way analysis of variance (ANOVA). **Excel 2007 for Educational and Psychological Statistics: A Guide to Solving Practical Problems**, p. 163-179, 2012.
- RAMSAR (Iran). **Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat**. Ramsar, 2 February 1971.
- REBOUÇAS, A.C. et al. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. In: **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2002.
- RICHARDSON, J.L. ARNDT, J.L. MONTGOMERY, J.A. Hydrology of Wetland and Related Soils. **Wetland soils: Genesis, hydrology, landscapes, and classification**, p. 35-84, 2001.

- RINCO, L.; BACELLAR, L. A. P. **Configuração espacial da microbacia do Córrego Yungue em Juiz de Fora, MG.** Geosul, v.22, n.43, 2007. P. 147-165.
- RODRIGUEZ, J.M.M; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** Editora UFC 2017.
- SABIN, J.G.; FERRÃO, M.F.; FURTADO, J.C. Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antridepressivos. Parte II. Análise por componentes principais (PCA) e o método de classificação SIMCA. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.40, p. 387-396, 2004.
- SAHAGIAN, D. et al. Global wetland distribution and functional characterizatón: Trace gases and the hydrologic cycle. In: **Joint IGBP GAIM-DIS-BAHC-IGAC-LUCC workshop, IGBP GAIM/IGBP Global Change, Santa Barbara CA, USA, 1996.** 1997. p. 45-45.
- SAITO, K. **O ecossocialismo de Karl Marx: capitalismo, natureza e a crítica inacabada à economia política.** Boitempo Editorial, 2021.
- SANTIAGO, B.S.; REZENDE, R.F.; FERREIRA, C.C.M. Reserva Biológica Municipal de Poço D'Anta, Juiz de Fora/MG-aspectos da fragmentação de habitat e efeito de borda. **Gaia Scientia**, v. 1, n. 1, p. 53-66, 2007.
- SANTOS, M. **A urbanização brasileira.** Edusp, 2005.
- SEMENIUK, C. A.; SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. **Classification and Inventory of the World's Wetlands**, p. 103-124, 1995.
- SEMLITSCH, R.D.; BODIE, J.R. Are small, isolated wetlands expendable? **Conservation biology**, v. 12, n. 5, p. 1129-1133, 1998.
- SHI, S.; KONDOLF, G. Mathias; LI, Dihua. Urban river transformation and the landscape garden city movement in China. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 4103, 2018.
- SÍTIOS RAMSAR BRASILEIROS. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>>. Acesso em: 04 de mar. de 2024.
- SIMIONI, J.P.D. Pulsos de inundação e conectividade em áreas úmidas, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande-RS. 2017.
- SMITH, N. A produção da natureza. In. **Desenvolvimento desigual. Natureza, Capital e a produção do espaço.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1984. pp. 67-108.
- SMITH, R.D. et al. **An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices.** ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS, 1995.
- Spectro Kit Nitrogênio Total - Alfakit.** Disponível em: <<https://alfakit.com.br/produto/spectro-kit-nitrogenio-total/>>. Acesso em: 14 out. 2024.
- SOBRAL, L.F. et al. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. 2015.
- SOUZA, L.A.; CASSAB, C. Expansão urbana e desigualdade socioespacial em juiz de fora–mg: o caso da ocupação vila barroso. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.14, n.34, jan./abr. de 2020.
- SWYNGEDOUW, E. Modernity and hybridity: nature, regeneracionismo, and the production of the Spanish waterscape, 1890–1930. **Annals of the association of American Geographers**, v. 89, n. 3, p. 443-465, 1999.

- SWYNGEDOUW, E. **Social power and the urbanization of water: flows of power**. OUP Oxford, 2004.
- TOOTH, S. The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or...?. **Geomorphology**, v. 305, p. 33-48, 2018.
- TOOTH, S. MCCARTHY, T.S. Wetlands in drylands: geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern Africa. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 1, p. 3-41, 2007.
- TUPINAMBÁ, M. et al. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. **Geonomos**, 2007.
- TYAGI, S. et al. Water quality assessment in terms of water quality index. **American Journal of water resources**, v. 1, n. 3, p. 34-38, 2013.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.
- VENTERINK, H.O. et al. N, P, and K budgets along nutrient availability and productivity gradients in wetlands. **Ecological Applications**, v. 12, n. 4, p. 1010-1026, 2002.
- VEPRASKAS, M.J.; FAULKNER, S. P. Redox chemistry of hydric soils. **Wetland soils: Genesis, hydrology, landscapes, and classification**, p. 85-106, 2001.
- VIEITES, R.G. et al. Sertões do leste: a construção de uma região geográfica. **Geo Uerj**, v. 1, n. 25, p. 257-275, 2014.
- VERHOEVEN, J.T.A. et al. Regional and global concerns over wetlands and water quality. **Trends in ecology & evolution**, v. 21, n. 2, p. 96-103, 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.
- WOHL, E. Connectivity in rivers. **Progress in Physical Geography**, v. 41, n. 3, p. 345- 362, 2017.
- WOHL, E.; MAGILLIGAN, F.J.; RATHBURN, S.L.; Introduction to the special issue: Connectivity in Geomorphology. **Geomorphology**, v. 277, p. 1-5, 2017.
- WOODWARD, R.T.; WUI, Y. The economic value of wetland services: a meta- analysis. **Ecological economics**, v. 37, n. 2, p. 257-270, 2001.
- ZEDLER, J.B. Progress in wetland restoration ecology. **Trends in ecology & evolution**, v. 15, n. 10, p. 402-407, 2000.
- ZEDLER, J.B.; KERCHER, S. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, v. 30, p. 39-74, 2005.