



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG



INGRID MAROLI VIDAL DOS SANTOS CLEMENTE

**SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (BONITO,
MS): A Dinâmica da Turbidez da Água, Causas e Efeitos.**

P G R N

Campo Grande, MS.

2025

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

INGRID MAROLI VIDAL DOS SANTOS CLEMENTE

**SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (BONITO,
MS): A Dinâmica da Turbidez da Água, Causas e Efeitos.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial a obtenção do título de Mestre Recursos Naturais. Linha de pesquisa: Análise Integrada e Geotecnologias.

Campo Grande, MS.

2025

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (BONITO,
MS): A Dinâmica da Turbidez da Água, Causas e Efeitos.**

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. Ary Tavares Rezende Filho
Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Examinador: Prof. Dr. José Marcato Junior
Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Examinador: Prof. Dr. Rafael Bartimann de Almeida
SEMED/PMCG

Acadêmica: Ingrid Maroli Vidal dos Santos Clemente
PPGRN/FAENG/UFMS

Campo Grande, MS.

2025

DEDICATÓRIA

Com todo o amor e gratidão, dedico esta dissertação ao meu filho e ao meu marido. Vocês são minha inspiração diária, minha força nos momentos difíceis e minha alegria constante. A paciência, o apoio e o carinho de vocês tornaram possível cada passo desta jornada. Esta conquista é nossa!

EPÍGRAFE

“O ser humano é parte da natureza e sua guerra contra ela é, inevitavelmente, uma guerra contra si mesmo.” Rachel Carson

AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão, início estes agradecimentos dedicando primeiramente à minha família, pelo amor, apoio incondicional, compreensão e incentivo em todos os momentos desta caminhada. Sem vocês, nada disso seria possível.

Agradeço a Deus, pela força, sabedoria e serenidade concedidas ao longo de todo o processo, iluminando meus passos e renovando minha esperança diante dos desafios.

De forma especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Ary Tavares Rezende Filho, por sua dedicação incansável, orientação precisa e por não medir esforços para que este trabalho alcançasse o melhor resultado possível. Sua confiança, paciência e incentivo foram fundamentais em cada etapa deste percurso.

Agradeço também aos professores José Marcato Junior e Rafael Bartimann de Almeida, membros da banca, pelas contribuições e sugestões que enriqueceram ainda mais esta pesquisa.

À professora Camila Aoki, deixo meu reconhecimento pela disposição, atenção e apoio ao longo do curso, sempre buscando soluções e fazendo o possível para que todos nós pudéssemos concluir esta etapa com sucesso.

Ao professor Laurent Barbiéro, minha gratidão pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos e pela discussão e análise dos dados analíticos que foram de grande auxílio neste estudo.

Sou grata ainda pelas amizades construídas durante o curso, companheiros de jornada que tornaram o caminho mais leve, compartilhando aprendizados, desafios e conquistas.

À empresa BION Consultoria Ambiental pela gentileza em ceder os dados de chuvas da região de Bonito – MS.

Ao LP5/INQI/UFMS pela disposição e colaboração na realização das análises químicas essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Geógrafo Pedro Paulo Barretto Cristofori, pelo auxílio no tratamento dos dados de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia do Rio Formoso.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PPGRN), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG), da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), pelo apoio institucional, estrutura e oportunidades oferecidas ao longo desta trajetória.

Registro também meu agradecimento à plataforma CAPES, pelo suporte e acesso a bases de dados, periódicos e materiais essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO I.....	18
1. ÁGUA E TURISMO	19
1.1 Atividades Turísticas em Regiões Cársticas.....	19
1.2 Impactos da turbidez e poluição no turismo.....	20
1.3 Efeitos da turbidez no turismo em regiões cársticas.....	20
2. BACIAS HIDROGRÁFICAS E DINÂMICA HÍDRICA.....	20
2.1 Importância Ecológica e Socioeconômica (Turismo em Bonito - MS).....	21
2.2 Escoamento Superficial (Águas Pluviais e Fluviais).....	22
2.3 Escoamento Subsuperficial Lateral	23
2.4 Escoamento profundo (subterrâneos)	24
2.5 Dinâmica hidrológica em regiões cársticas	24
2.6 Manejo e Conservação do Solo em Regiões Cársticas.....	25
2.7 Terraceamento e Sistema de Plantio Direto	26
CAPÍTULO II.....	30
3. A SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO.....	31
3.1 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO FORMOSO	33
3.1.1 Geologia	33
3.1.2 Geomorfologia.....	36
3.1.3 Solos	40
3.1.4 Clima	43
3.1.5 Hidrografia	43
3.1.6 Vegetação	44
3.1.7 Uso e ocupação de terras	47
CAPÍTULO III	50
4. MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	51
4.1.1 Banco de dados.....	51

4.1.2	Pontos de Amostragem e Coleta.....	52
4.2	MISSÃO DE CAMPO	53
4.2.1	Medidas e Coletas de Amostras.....	53
4.3	ANÁLISES EM LABORATÓRIO.....	56
4.3.1	Preparo de amostras: Armazenamento e Filtragem.....	56
4.3.2	Análise Química	57
4.3.3	Análise Física – Quantificação de Sólidos suspensos totais (TSS).....	59
4.3.4	Análise Física – Determinação a Concentração de Matéria Orgânica Dissolvida (MOD).....	61
4.4	DADOS PLUVIOMÉTRICOS	62
4.5	TRATAMENTOS DOS DADOS	63
4.5.1	Determinação de HCO_3^- , CO_3^{2-}	63
4.5.2	Assinatura química da água - Diagrama de Piper.....	64
4.5.3	Cálculo da Saturação da Água (Fenômeno Whiting)	64
	CAPÍTULO IV	66
5.	RESULTADOS	67
5.1	A SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO.....	67
5.1.2	Percurso das águas e suas misturas	69
5.2	AS MODIFICAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO FORMOSO (2013 A 2022).....	69
5.2.1	O avanço da Agricultura na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (2013–2022)	71
5.2.3	O Comportamento Hidrológico da Sub-Bacia do Rio Formoso (2013 - 2022)	74
5.2.4	Dados das Análises em Laboratório	76
5.3	A DINÂMICA DAS ÁGUAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (2013 A 2025).....	80
5.3.1	Dados Pluviométricos.....	80
5.3.2	Parâmetros Físico-químicos (2013 – 2022).....	82
5.3.3	Análises Química das amostras de água (2013 a 2025)	83
5.3.4	Assinatura Química da Água (2013 a 2025)	85
5.3.5	A Turbidez da Água (2013 a 2025)	88
5.3.6	A Relação da Turbidez da Água com Sólidos suspensos totais (2013 a 2025).....	88
5.3.7	A Relação da Turbidez da Água com Matéria Orgânica Dissolvida (2022 a 2025).....	90

5.2 DICUSSÕES DOS RESULTADOS	92
5.2.1. A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso	92
5.2.2 As Modificações do Uso e Ocupação do Solo: 2013 a 2022.....	93
5.2.3 Mudança do Uso e Ocupação do Solo: 2013 vs. 2022	94
5.2.4 Curva de Correlação entre Turbidez e TSS	96
5.2.5 A assinatura da matéria orgânica na turbidez das águas da SBRF	97
5.2.6 A química das águas da SBRF	98
5.2.7 Dinâmica Hídrica: 2013 a 2025.....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.....	31
Figura 2: Localização da área de estudo Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.	33
Figura 3: Mapa da geologia da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.....	34
Figura 4: Geomorfologia da Sub-Bacia Hidrográfico do Rio Formoso.....	37
Figura 5: Mapa dos solos na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.	41
Figura 6: Mapa hidrográfico da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.	44
Figura 7: Vegetação nativa da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.....	45
Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.	49
Figura 9: Mapa de localização dos pontos de amostragem e coleta de água.	52
Figura 10: Procedimento para medir vazão com o ADCP.....	56
Figura 11: Fluxograma dos sólidos suspensos totais (fixos e voláteis).....	59
Figura 12: App com acesso a Estação Meteorológica do Parque Ecológico do rio Formoso.	63
Figura 13: Mapa das áreas de influência de cada Ponto de amostragem (SBHRF).....	68
Figura 14: Mapa do uso e ocupação do solo na SBHRF - 2013.	72
Figura 15: Mapa do uso e ocupação do solo na SBHRF - 2022.	73
Figura 16: Medida de vazão do Rio Formoso (P01) com uso do ADCP-M9.....	75
Figura 17: Medida de vazão do Rio Formosinho (P02) com uso do ADCP-M9.....	75
Figura 18: Medida de vazão do Rio Formoso (P03) com uso do ADCP-M9.....	75
Figura 19: Relação do valor da turbidez com o de turvamento da água (P01, P02 e P03).	76
Figura 20: Relação dos valores de turbidez e o sólidos suspensos totais retidos no filtro.....	77
Figura 21: Diagrama de Piper das amostras P01, P02 e P03 da amostragem de 23/11/2024.	86
Figura 22: Fluxograma da assinatura química da água da SBHRF – Diagrama de Piper.....	86
Figura 23: Diagrama de Piper das amostras do período de 2013 a 2025.	87
Figura 24: Fluxograma do Perfil Químico das águas dos Rios Formoso e Formosinho.	92
Figura 25: Fluxograma Lei da Mistura - Perfil Químico das águas do Rio Formoso (P01)..	93
Figura 26: Esquema hipotético da dinâmica hídrica sobre o domínio da área de pastagem.	100
Figura 27: Representação esquemática do cenário de 10/2022.....	102
Figura 28: Representação esquemática do cenário de 11/2024.....	103
Figura 29: Filtro TSS antes e após retidos e SSF após calcinação em forno Mufla 550°C. .	104
Figura 30: Representação esquemática do cenário 02/2025.	105
Figura 31: Representação esquemática do cenário de 05/2025.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro de referência para E2/E3.....	28
Quadro 2: Quantificação da área ocupada por cada formação geológica na área de estudo. .	35
Quadro 3: Quantificação da área de cada unidade geomorfológica na área de estudo.....	38
Quadro 4: Quantificação da área ocupada por cada classe de solo na área de estudo.	42
Quadro 5: Vegetação nativa da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.	46
Quadro 6: Quadro de Referência Simplificado: Razão E2/E3 e Tipo de MOD.	62
Quadro 7: Resumos dos dados de chuvas no período de 5 dias antes da amostragem.	81
Quadro 8: Valores de Turbidez e MOD Uv-Vis E254/E365 (Classificação e Origem).	90

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Localização dos pontos de amostragem e coleta.....	53
Tabela 2: Área de influência de cada Ponto de Amostragem em relação a área da SBHRF. .	67
Tabela 3: Distância de Percorso da entre os pontos de amostragens.	69
Tabela 4: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da SBHRF - Bonito/MS 2013 a 2022.	69
Tabela 5: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso - Bonito/MS 2013 a 2022.....	70
Tabela 6: Dados das classes da classificada supervisionada (2013-2022) pelo MapBiomass..	74
Tabela 7: Medidas de vazão com ADCP-M9 do rio Formoso (Almeida, 2015).....	74
Tabela 8: Valor da turbidez da água (P01, P02 e P03).....	76
Tabela 9: Resultados da quantificação do sólidos suspensos totais (TSS) na água.	77
Tabela 10: Resultados da quantificação do material sólidos em suspensão (TSS) na água....	77
Tabela 11: Síntese dos resultados de vazão, turbidez e TSS sólidos suspensos totais.....	78
Tabela 12: Síntese dos resultados de vazão, sólidos suspensos totais 2013.....	79
Tabela 13: Resultados de turbidez da água a partir dos dados de materiais sólidos em suspensão de Almeida (2015) calculado pela curva de calibração.....	79
Tabela 14: Parâmetros físico-químicos medidos no Campo (2013 a 2025).....	82
Tabela 15: Análises química das águas dos pontos amostrados entre 2013 e 2025.....	83
Tabela 16: Dados para o cálculo do Índice de Langelier (LSI).....	84
Tabela 17: Resultados calculados de HCO_3^- e CO_3^{2-} das amostras analisadas SBHRF.	85
Tabela 18: Valores de Turbidez 2013 a 2025.....	88
Tabela 19: Valores de Turbidez e Sólidos suspensos totais 2013 a 2025.	88

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Medição dos parâmetros in situ no Rio Formoso (P01).....	54
Foto 2: Equipamentos utilizados nas medidas dos parâmetros físico-químicos.....	54
Foto 3 e 4: Coleta de amostra de água com garrafa de Van Dorn	55
Foto 5: Medida de vazão com ADCP no rio Formoso (P01) em 2022.....	55
Foto 6: Conjunto de Filtração; Bomba a vácuo e unidade de filtração.....	57
Foto 7: Filtragem das amostras em laboratório.....	57
Foto 8: Cromatografia Iônica – Laboratório LP5 – INQUI/UFMS.....	58
Foto 9: Titulador de Alcalinidade – Laboratório H2O-SOLO/FAENG/UFMS.....	58
Foto 10: Spectrophotometer UV/VIS Laboratório H2O-SOLO/FAENG/UFMS.	61
Foto 11: Turbidez da água do rio Formoso em 22/10/2022.....	101
Foto 12: Rio Formoso 23/11/2024.....	103
Foto 13: Turbidez da água do rio Formoso em 01/02/2025 (Ilha Bonita).	104
Foto 14: Rio Formoso com baixa visibilidade (-10cm de profundidade) em período de estiagem em 25/05/2025.....	107
Foto 15: Rio Formoso (visibilidade apenas na superfície) em período de estiagem em 25/05/2025.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso - Bonito/MS 2013 a 2022.	70
Gráfico 2: Relação entre turbidez e sólidos suspensos totais na água.....	78
Gráfico 3: Cálculo dos valores de turbidez dos dados Almeida (2015) via curva de calibração.	80
Gráfico 4: Valores de Turbidez e TSS (partículas inorgânicas x partículas orgânicas).....	89

RESUMO

Este estudo avaliou como as mudanças no uso e ocupação do solo, especialmente a expansão agrícola sobre áreas de pastagem, impactaram na turbidez e na qualidade da água na região de Bonito - MS, famosa pelo turismo em rios com águas cristalinas. Partiu-se do pressuposto que o avanço da agricultura, aliado a práticas conservacionistas e eventos climáticos, intensificou a turbidez dos rios, prejudicando a transparência das águas e o turismo local. O objetivo geral foi analisar a dinâmica da turbidez, suas causas e efeitos na Sub-Bacia do Rio Formoso. A metodologia envolveu a coleta de dados em campo, incluindo medições e amostragens de água, complementadas por dados secundários de uso e ocupação do solo obtidos do MapBiomas. As amostras coletadas foram analisadas em laboratório para determinação de elementos maiores (cátions e ânions) por cromatografia de íons, identificação de matéria orgânica dissolvida por espectrofotometria UV-Vis e quantificação de sólidos suspensos totais (TSS) pelo método gravimétrico. Os resultados apontaram que, entre 2013 e 2022, a agricultura cresceu 108,6% enquanto as pastagens diminuíram 43,5%, aumentando o escoamento superficial e o aporte de sedimentos e nutrientes aos rios, elevando a turbidez principalmente após eventos chuvas. O estudo evidenciou três situações distintas de turbidez: (1) valores elevados de turbidez acompanhados de alta concentração de sólidos suspensos totais (TSS), relacionados ao escoamento superficial; (2) turbidez alta com baixa TSS, associada à matéria orgânica dissolvida proveniente do escoamento subsuperficial, possivelmente ligada à adoção do sistema de plantio direto associado à técnica de terraceamento; e (3) turbidez moderada em períodos de estiagem, vinculada à precipitação de carbonato de cálcio (fenômeno *whiting*), possivelmente decorrente do rebaixamento do lençol freático e intensificação do intemperismo químico. Deste modo, concluiu-se que a substituição de pastagens por agricultura/cultivo de soja, alterou a dinâmica hidrogeoquímica e hidrossedimentar, comprometendo a qualidade da água e ameaçando a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e do turismo local.

Palavras-chave: Rio Formoso; turbidez, hidrogeoquímica, hidrossedimentar, uso e ocupação.

ABSTRACT

This study evaluated how changes in land use and occupation, especially agricultural expansion over pasture areas, impacted turbidity and water quality in the Bonito region - MS, famous for tourism in rivers with crystal-clear waters. It was assumed that the advance of agriculture, combined with conservationist practices and climate events, intensified river turbidity, harming water transparency and local tourism. The general objective was to analyze the dynamics of turbidity, its causes and effects in the Formoso River Sub-Basin. The methodology involved field data collection, including water measurements and sampling, complemented by secondary data on land use and occupation obtained from MapBiomias. The collected samples were analyzed in the laboratory to determine major elements (cations and anions) by ion chromatography, identification of dissolved organic matter by UV-Vis spectrophotometry and quantification of total suspended solids (TSS) by the gravimetric method. The results showed that, between 2013 and 2022, agriculture grew by 108.6% while pastures decreased by 43.5%, increasing surface runoff and the contribution of sediments and nutrients to rivers, raising turbidity mainly after rain events. The study highlighted three distinct turbidity situations: (1) high turbidity values accompanied by high concentrations of total suspended solids (TSS), related to surface runoff; (2) high turbidity with low TSS, associated with dissolved organic matter from subsurface runoff, possibly linked to the adoption of the no-till system associated with the terracing technique; and (3) moderate turbidity in dry periods, linked to the precipitation of calcium carbonate (whiting phenomenon), possibly resulting from the lowering of the water table and intensification of chemical weathering. Thus, it was concluded that the replacement of pastures by agriculture/soybean cultivation altered the hydrogeochemical and hydrosedimentary dynamics, compromising water quality and threatening the sustainability of aquatic ecosystems and local tourism.

Keywords: Rio Formoso; turbidity, hydrogeochemistry, hydrosedimentary, use and occupation.

INTRODUÇÃO

Recursos naturais dentro do conceito de sustentabilidade é definido como aquilo que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras (TODD e MAYS, 2005). A água é considerada um recurso natural renovável, e portanto, ela também se configura como um bem com valor político, econômico e social (TUNDISI, 2003). A qualidade da água de rios e córregos são fortemente influenciadas pelas características das paisagens das bacias hidrográficas, incluindo a composição da paisagem, como, tipos de uso/cobertura da solo e suas frações e a configuração espacial desses usos da terra/tipos de cobertura do solo (LENAT; CRAWFORD, 1994; JOHNSON *et. al.*, 1997; BASNYAT *et. al.*, 2000; TONG; CHEN, 2002; CRETAZ; BARTEN, 2007; LEE *et. al.*, 2009; ALBERTI *et. al.*, 2007). As ações humanas são grandes responsáveis pelo mau uso e poluição da água em várias regiões do mundo, influenciando diretamente em sua qualidade (ALLAN, 2004; STRAYER *et. al.*, 2003; WU; HOBBS, 2002).

O uso da água como atrativo turístico, atribui valor à sua qualidade, uma vez que para que o turismo aconteça, a água deve apresentar características que exerçam o poder de atração e de satisfação do usuário, além de características físico-químicas compatíveis às normas pertinentes ao seu uso (SILVA *et. al.*, 2016). Porém, nas últimas décadas, a contaminação das águas, por exemplo, tornou-se um grave problema ambiental, devido ao aumento das atividades industriais e agrícolas (FARSHAD REZAEI *et. al.* 2013), impactando negativamente na qualidade da água.

Um estudo publicado em 2022, destaca que a Bacia do Rio Formoso vem apresentando aumento da turbidez e indícios de contaminação, especialmente em pontos próximos a áreas de monocultivo, pastagens e zonas urbanas. O artigo aponta que há desequilíbrios na relação sociedade-natureza, com impactos do uso antrópico sobre os recursos hídricos, afetando a beleza cênica das águas, que é fundamental para o turismo em Bonito – MS (MEDEIROS *et. al.*, 2022).

Segundo Klein, *et. al.*, (2011), a agropecuária exerce uma pressão significativa sobre a qualidade da água na bacia do Rio Formoso. A pecuária extensiva e a agricultura intensiva, por exemplo, têm contribuído para a degradação das margens dos rios, aumentando a erosão e a turbidez da água. Áreas de mata ciliar foram reduzidas, resultando em maior sedimentação e assoreamento dos cursos d'água.

Outro fator a ser considerado é a ocupação desordenada e o planejamento inadequado de empreendimentos que têm levado a impactos significativos, especialmente no Rio Formoso.

A urbanização descontrolada e a construção de infraestruturas turísticas sem um planejamento sustentável podem aumentar a poluição e a turbidez da água (MEDEIROS *et. al.*, 2022).

Dentro desse contexto, um estudo conduzido em Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil – uma região onde 98% dos recursos naturais estão associados a atrativos turísticos aquáticos – revelou uma preocupação crescente com a preservação da qualidade das águas devido à constante presença de turistas. O estudo destacou que, para garantir a sustentabilidade ambiental, é crucial que essas atividades turísticas sejam realizadas em harmonia com o meio ambiente (MEDEIROS *et. al.*, 2015).

Por isso, a utilização da água como atração no setor turístico confere importância à sua qualidade (SILVA *et. al.*, 2016). Com isto, é necessário que se estudem os parâmetros básicos para que ela possa ser considerada própria para uso e consumo. E se tratando de qualidade, a turbidez é um importante parâmetro a ser estudado, pois é uma característica física da água, que define o sólidos suspensos totais (MUNIZ *et. al.* 2020), importante fator quando se trata do uso da água para finalidade recreativa.

Dessa forma, levantam-se as hipóteses de que o uso intensivo do solo para atividades agropecuárias e urbanas na Bacia do Rio Formoso está diretamente associado ao aumento da turbidez e à consequente degradação da qualidade da água, afetando de maneira negativa tanto o equilíbrio do ecossistema aquático quanto o potencial turístico da região. Presume-se, ainda, que a qualidade da água do Rio Formoso, sobretudo em relação à turbidez, seja fortemente influenciada pelos diferentes padrões de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Diante do exposto, torna-se necessário aprofundar a compreensão das relações de causa e efeito que estão influenciando a dinâmica das águas superficiais na bacia do Rio Formoso, especialmente em relação ao aumento e à permanência da turbidez por períodos mais prolongados. Embora a turbidez sempre tenha ocorrido durante eventos de chuvas intensas, anteriormente era de curta duração e tinha um impacto limitado no turismo. No entanto, as mudanças recentes sugerem uma nova dinâmica, onde os fatores antrópicos, como o avanço do cultivo da soja, desmatamento e as alterações no rio, parecem prolongar os efeitos da turbidez, causando maiores prejuízos ao ecossistema e à economia.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a dinâmica da turbidez da água, suas causas e efeitos na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.

Com relação aos objetivos específicos, estes foram:

- a) Analisar os parâmetros físico-químicos da água do Rio Formoso.

- b) Analisar a evolução do uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Formoso nos anos de 2013 a 2022, com ênfase na expansão de áreas agrícolas e de pastagens,
- c) Estabelecer correlações entre os valores de turbidez medidos *in situ* e os dados de sólidos suspensos totais (TSS) na água.
- d) Identificar possíveis relações entre e o aumento da turbidez e sua origem.

CAPÍTULO I



REFERENCIAL TEÓRICO

1. ÁGUA E TURISMO

A água possui um papel importante na vida da população e o seu uso para fins recreativos tem aumentado nos últimos anos no Brasil, devido ao grande número de atividades recreativas exercidas longe das áreas urbanas. (LOPES *et.al.*, 2016). Estudos feitos por Camargo *et al.*, (2011), analisa o turismo ecológico em Bonito - MS como instrumento de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável, destacando-o como um turismo hidro recreativo e rural que valoriza o contato direto com a natureza. Seguindo a mesma linha de pesquisa, Silva *et. al.*, (2022) destaca que esse turismo de natureza é o principal atrativo do município, com atividades como flutuação em rios cristalinos, trilhas e visitas a cavernas. Contudo, é importante aprimorar sistemas de informações e monitoramento ambiental, de maneira que o crescimento do turismo respeite as limitações socioambientais e mantenha o desenvolvimento sustentável do município (FILHO JUNIOR, 2014).

A transparência das águas, que tornou Bonito - MS famoso no turismo, é resultado da interação entre as águas superficiais e subterrâneas com as rochas carbonáticas típicas das regiões cársticas. Esse processo confere às águas características singulares, como elevada transparência e baixa turbidez (MEDEIROS *et al.*, 2020). São destaques os rios Sucuri, Prata e Formoso, cujas águas subterrâneas emergem em ressurgências associadas ao aquífero calcário da Serra da Bodoquena, formando um sistema hidrológico sensível às variações de uso do solo (CHIARAVALLOTI *et al.*, 2022). Ademais, pesquisas apontam que a predominância de calcita nas rochas locais intensifica os processos de dissolução, o que explica a abundância de cavernas na região e favorece tanto o transporte superficial quanto o subsuperficial das águas (MEDEIROS *et al.*, 2020).

1.1 Atividades Turísticas em Regiões Cársticas

As regiões cársticas, com cavernas, dolinas e rios subterrâneos, apresentam grande potencial para o geoturismo, atraindo visitantes motivados pela contemplação, pelo aprendizado e pela aventura - como a flutuação em águas cristalinas (ICMBIO *et al.*, 2010).

Na Serra da Bodoquena (MS), esse carste propicia a formação de rios translúcidos, especialmente no Rio Formoso, sustentando atividades recreativas e ecoturísticas. Estudos indicam que cerca de 87 % dos turistas de Bonito - MS citam a transparência da água como principal motivador para visitar a região (SILVA *et al.* 2016).

1.2 Impactos da turbidez e poluição no turismo

A elevada turbidez nas águas, causada por partículas em suspensão, compromete diretamente a visibilidade subaquática, comprometendo atividades como flutuação e mergulho, em destinos como Bonito - MS. Em Bonito - MS, onde 80% das atividades dependem da cristalinidade das águas, o desmatamento de matas ciliares para expansão agrícola (como soja) intensifica o assoreamento, elevando a turbidez e ameaçando a economia local, que movimenta R\$ 450 milhões anuais em turismo (BRUGNOLLI *et. al.*, 2021).

A deterioração da qualidade da água afeta a imagem de destinos turísticos. Assim, estudos feitos por Silva *et. al.* (2016), apontam que os visitantes cancelariam passeios caso a turbidez estivesse alta, pois o que os atrai é a cristalinidade das águas.

1.3 Efeitos da turbidez no turismo em regiões cársticas

Segundo Medeiros, Berezuk e Pinto (2020), em regiões cársticas como Bonito - MS, a turbidez das águas pode apresentar resultados muito altos em pontos críticos após eventos de chuvas intensas, comprometendo drasticamente a visibilidade subaquática e inviabilizando atividades turísticas como a flutuação. Episódios recentes demonstraram que o aumento repentino da turbidez tem levado ao cancelamento de passeios, afetando tanto turistas quanto operadores locais. Em Bonito - MS, episódios de chuvas intensas provocaram um aumento significativo na turbidez dos rios, o que resultou no cancelamento de passeios de flutuação e gerou prejuízos tanto para os turistas quanto para os operadores locais (GAÚCHAZH, 2019).

Em Bonito - MS, a relação entre o aumento da turbidez e o declínio do turismo é bem documentada. O biólogo José Sabino destaca que o principal dano causado pela expansão da soja é o aumento da turbidez dos rios, resultando no cancelamento de passeios de flutuação e na redução da experiência de observação da fauna aquática (AGRO EM DIA, 2023).

Na região do carste de Lagoa Santa - MG, a intensificação das atividades antrópicas, como mineração e urbanização, também resultou em aumento da turbidez e perda de transparência das águas, afetando negativamente o turismo espeleológico e a economia local (PEREIRA, 2018).

2. BACIAS HIDROGRÁFICAS E DINÂMICA HÍDRICA

Bacia hidrográfica é definida por uma região drenada por um rio principal e seus afluentes, normalmente delimitado pelas partes mais altas do relevo, conhecidas como divisores de água. Nesses pontos, a água da chuva pode seguir dois caminhos: escorrer pela superfície,

dando origem a riachos e rios, ou infiltrar no solo, alimentando as nascentes e o lençol freático (TUCCI, 1993).

Desta forma, o estudo das águas em bacia hidrográficas envolve a análise do movimento da água desde a precipitação até a saída da bacia, nesse percurso a dinâmica das águas da origem ao escoamento. Na hidrologia o estudo do escoamento das águas é dividido em três categorias, cada uma com suas particularidades. O primeiro é o escoamento superficial, que acontece quando a água corre visivelmente pela superfície do solo, muitas vezes por canais naturais ou construídos pelo ser humano. Depois temos o escoamento subsuperficial, que ocorre logo abaixo da superfície, geralmente entre as raízes das plantas. Por fim, o escoamento subterrâneo, que representa o deslocamento da água nas camadas mais profundas do solo, alimentando aquíferos e garantindo o fluxo constante dos rios (SILVA *et.al.*, 2009).

2.1 Importância Ecológica e Socioeconômica (Turismo em Bonito - MS)

A importância ecológica e socioeconômica do turismo em Bonito - MS, é evidenciada por sua capacidade de promover o desenvolvimento sustentável e a conservação ambiental, ao mesmo tempo em que impulsiona a economia local. Segundo Camargo *et al.* (2011), o turismo ecológico na região de Bonito - MS tem sido praticado como instrumento de proteção ambiental, promovendo a sustentabilidade e evitando prejuízos tanto ao ambiente quanto à sociedade. A gestão eficiente dos atrativos turísticos, caracterizada pela autogestão e pela comercialização centralizada das entradas para os passeios, contribui para a preservação dos recursos naturais e serve de exemplo para outros destinos de ecoturismo no Brasil.

Do ponto de vista socioeconômico, o turismo em Bonito - MS gera benefícios significativos para a população local. Conforme análise de Silva *et.al.* (2013), o turismo é reconhecido pela comunidade como o principal setor econômico capaz de promover o desenvolvimento local e a melhoria da qualidade de vida, especialmente por meio da geração de empregos e do aumento da renda. Além disso, o crescimento da atividade turística tem impulsionado melhorias em infraestrutura, como saneamento básico, e fomentado a participação comunitária nos processos decisórios, fortalecendo os mecanismos de desenvolvimento sustentável e participativo.

A competitividade do sistema produtivo do turismo em Bonito - MS é reforçada pela gestão estratégica dos recursos naturais e pela inovação organizacional, como o sistema de *voucher* único, que garante controle do fluxo de visitantes e maior organização entre os agentes turísticos. Silva *et al.* (2016) destacam que a conciliação entre sustentabilidade econômica,

ambiental e social é possível devido ao uso consciente dos recursos, à heterogeneidade dos produtos turísticos ofertados e à criação de postos de trabalho, promovendo o desenvolvimento intelectual e social dos cidadãos locais.

Camargo et.al., (2011) analisou o ecoturismo em Bonito - MS e identificou que essa atividade tem desempenhado papel relevante na conservação ambiental, especialmente no que se refere ao manejo sustentável do solo e à preservação da qualidade dos recursos hídricos. O estudo ressalta que a integração entre conservação ambiental e atividades econômicas orientadas pelo mercado, como o ecoturismo, torna possível compatibilizar o desenvolvimento econômico com a proteção dos recursos naturais, desde que sejam implementados mecanismos de monitoramento contínuo e políticas públicas eficazes.

2.2 Escoamento Superficial (Águas Pluviais e Fluviais)

Segundo Bigarella (2003), o escoamento superficial ocorre principalmente quando chove forte demais e o solo não consegue absorver toda a água. Nesses momentos, a água começa a se acumular na superfície e se deslocar pelas partes mais baixas do terreno até alcançar os cursos d'água. No início, esse escoamento é bem difuso, mas aos poucos vai se concentrando em sulcos e canais. A forma como esse processo acontece depende de uma série de fatores, como o tipo de solo, a vegetação presente, a inclinação do terreno e, claro, a intensidade e duração da chuva. Essa dinâmica influencia tanto a erosão do solo quanto a recarga dos aquíferos.

Em regiões cársticas esse comportamento muda bastante. Nessas regiões, o solo é altamente permeável e repleto de formações geológicas como dolinas, sumidouros e cavernas. Com isso, a água das chuvas infiltra com facilidade, reduzindo a quantidade que escorre pela superfície. O que se vê então é um escoamento mais concentrado abaixo do solo, carregando sedimentos por vias menos visíveis (PEREIRA, 2018).

Nazari *et al.* (2022) investigaram áreas agrícolas no Meio-Oeste dos EUA e mostraram que os maiores volumes de sedimento são observados em fluxos rápidos de água pluvial recente, com baixa condutividade (ou seja, pouca presença de sais dissolvidos), evidenciando uma forte relação entre o caminho da água, sua conectividade com fontes hídricas e a quantidade de sedimentos e fósforo transportados.

2.3 Escoamento Subsuperficial Lateral

O escoamento subsuperficial lateral em rios de águas cristalinas, especialmente em regiões com solos cársticos, apresenta características hidrológicas e geomorfológicas singulares devido à elevada permeabilidade das rochas carbonáticas e à presença de feições como dolinas, sumidouros e cavernas. Nessas áreas, a água da chuva infiltra-se rapidamente através das fissuras e fraturas do solo, promovendo a conexão entre os sistemas superficiais e subterrâneos. Esse processo resulta em uma hidrologia peculiar, onde o escoamento superficial é frequentemente reduzido, mas pode ocorrer de forma concentrada e episódica durante eventos de chuva intensa, contribuindo para a formação e evolução das feições cársticas e para a recarga dos aquíferos subterrâneos (MALAGÒ *et al.*, 2016; BAFFAUT e BENSON, 2009).

Em ambientes cársticos, o escoamento lateral contribui significativamente para a mobilização de sedimentos e transporte de matéria orgânica e inorgânica ao longo das encostas. Estudos em regiões cársticas do Mediterrâneo mostraram que a erosão do solo induzida pelo escoamento subsuperficial é um dos principais responsáveis pelo fluxo lateral de carbono orgânico, afetando o balanço de carbono e a dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas locais. A magnitude deste transporte está relacionada à topografia, ao uso do solo e à conectividade entre feições geomorfológicas, como terraços e caminhos, que direcionam e intensificam o fluxo lateral (QUINÓNERO *et al.*, 2014; GASPAR *et al.*, 2020).

Além disso, a presença de solos cársticos pode aumentar a vulnerabilidade à contaminação hídrica, uma vez que o escoamento subsuperficial, ao infiltrar-se rapidamente, pode transportar poluentes diretamente para os aquíferos. A dinâmica do escoamento subsuperficial em regiões cársticas é, portanto, um fator crítico tanto para a conservação da qualidade da água em rios cristalinos quanto para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Modelos matemáticos aplicados a bacias hidrográficas cársticas têm demonstrado a importância do monitoramento e do disciplinamento do escoamento subsuperficial para evitar processos erosivos e o assoreamento de dolinas e cursos d'água (FISCHER, 1993 *apud* MORÉN-GÓMEZ *et al.*, 2022; MORENO-GÓMEZ *et al.*, 2022).

Em ambientes cársticos, o escoamento subsuperficial lateral desempenha um papel crítico no transporte de sedimentos e nutrientes, contribuindo para a erosão das encostas e a qualidade dos recursos hídricos. Estudo de Wang *et al.* (2022) concluiu que o manejo desse tipo de escoamento é essencial para controlar erosão e assoreamento dos cursos d'água em regiões cársticas. De forma semelhante, Bettel (2021) demonstrou que o transporte lateral gera padrões

de sedimentação complexos e influencia a dinâmica química e física da água em sistemas carstificados. A adoção de práticas de manejo e de soluções de drenagem adequadas pode minimizar os impactos negativos, promovendo o equilíbrio entre os processos naturais e as atividades antrópicas nessas regiões sensíveis.

2.4 Escoamento profundo (subterrâneos)

O escoamento profundo em rios de regiões cársticas é determinado pela complexa interação entre a dissolução das rochas carbonáticas e a estruturação de redes de condutos subterrâneos. Nesses sistemas, a água infiltra-se rapidamente através de fraturas e dolinas, alimentando aquíferos cársticos caracterizados por alta condutividade hidráulica e fluxos preferenciais. Estudos demonstram que a circulação profunda ocorre em múltiplos níveis, com conexões entre condutos de diferentes dimensões, desde microfissuras até grandes cavernas, permitindo a formação de rios subterrâneos que podem se estender por quilômetros (BAFFAUT e BENSON, 2009; MALAGÒ *et al.*, 2016).

A dinâmica desse escoamento é influenciada pela pluviosidade, com eventos intensos ampliando a recarga e acelerando o transporte de água através dos canais cársticos, conforme observado em sistemas como o do rio subterrâneo de Maocun, na China (ZHANG *et al.*, 2023).

A heterogeneidade espacial das formações cársticas gera padrões de fluxo assimétricos, direcionando as águas das chuvas por zonas altamente permeáveis até nascentes e ressurgências alimentação essencial para ecossistemas subterrâneos e superficiais. Contudo, essa conectividade rápida também aumenta a vulnerabilidade dos aquíferos, pois poluentes podem alcançar diretamente camadas profundas sem filtração significativa (PERRIN, 2003; GROUNDWATER PROJECT, 2023).

2.5 Dinâmica hidrológica em regiões cársticas

A dinâmica hidrológica em ambientes cársticos, como a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Formoso, é influenciada por sistemas geológicos altamente permeáveis, formados por dolinas, sumidouros e cavernas. Nesse contexto, a água da chuva penetra rapidamente na cobertura calcária, reduzindo o escoamento superficial visível e favorecendo o escoamento subsuperficial e profundo. Estudos como o de Medeiros e Silva (2024), que analisaram a bacia hidrográfica do Formosinho em Bonito - MS, demonstram como a hidrologia cárstica molda a drenagem de forma irregular, com recargas rápidas e conectividade entre superfícies, subsuperfícies e aquíferos.

A calagem e precipitação de carbonato de cálcio, provenientes da dissolução de rochas carbonáticas, também têm papel relevante na dinamização da água e na formação de tufas e ressurgências. No estudo de Medeiros *et al.* (2020), é descrito como a decantação natural do carbonato reduz a turbidez do Rio Sucuri, e por extensão, do Formoso mantendo sua clareza característica. Contudo, esse mesmo processo pode ser comprometido quando ocorrem chuvas intensas, que elevam a carga de sedimentos e turvam os cursos d'água.

Em situações de chuva intensa, o sistema hidrossedimentológico cárstico pode apresentar comportamento pontual, com aumento súbito de turbidez. Tavares (2023), em estudo realizado no cerrado cárstico brasileiro, utilizou o método *intero* para mostrar que eventos pluviais geram picos de sedimentos transportados lateralmente por fraturas e dolinas. No cenário do Rio Formoso, tais fenômenos podem explicar os episódios de perda de clareza e os cancelamentos de atividades turísticas, corroborando com os registros de impactos no ecoturismo local.

Esse modelo hidrológico singular exige gestão hídrica consciente, pois a vulnerabilidade dos aquíferos cársticos a contaminações e assoreamento é maior que em sistemas convencionais. Pereira *et al.* (2018), em uma revisão sobre vulnerabilidade de aquíferos cársticos brasileiros, destacam a necessidade de monitoramento contínuo, proteção da cobertura vegetal e políticas de uso do solo, para garantir a qualidade hidrológica das águas que emergem em nascentes e rios, como o rio Formoso.

2.6 Manejo e Conservação do Solo em Regiões Cársticas

As regiões cársticas, caracterizadas por formações geológicas resultantes da dissolução de rochas solúveis como calcário e dolomita, apresentam feições singulares como dolinas, cavernas e sistemas aquíferos subterrâneos. Essas áreas desempenham um papel crucial na recarga de aquíferos e na manutenção da biodiversidade, mas também são extremamente vulneráveis a impactos ambientais decorrentes de usos inadequados do solo e do subsolo (VESTENA *et al.*, 2002).

O crescimento urbano e a expansão de atividades econômicas, como mineração, agricultura e turismo, têm intensificado a ocupação dessas áreas, muitas vezes sem o devido planejamento e consideração das fragilidades do ambiente cárstico. Essa ocupação desordenada pode levar a problemas como subsidências, colapsos de solo, contaminação de aquíferos e degradação de ecossistemas subterrâneos (VESTENA *et al.*, 2002).

A turbidez das águas do Rio Formoso, em Bonito - MS, tem sido motivo de preocupação devido à intensificação das atividades agropecuárias e turísticas na região. A expansão da agricultura, especialmente o cultivo da soja, e a pecuária extensiva têm contribuído para o aumento do escoamento superficial e do carreamento de sedimentos, elevando os níveis de turbidez dos cursos d'água (MEDEIROS *et al.*, 2022).

No intuito de minimizar esses impactos a adoção de práticas de manejo e conservação do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

2.7 Terraceamento e Sistema de Plantio Direto

O terraceamento (curva de nível) e o sistema de plantio direto são práticas conservacionistas que visam mitigar esses impactos. O terraceamento consiste na construção de estruturas em nível no terreno para reduzir a velocidade do escoamento superficial, promovendo a infiltração da água e diminuindo a erosão do solo. Já o sistema de plantio direto mantém a cobertura do solo com palhada, protegendo-o do impacto direto das gotas de chuva e melhorando a estrutura do solo, o que também contribui para a redução da erosão. Entretanto, é importante ressaltar que o plantio direto, isoladamente, pode não ser suficiente para controlar a erosão em terrenos com declividades acentuadas. Nessas condições, a combinação do sistema de plantio direto com o terraceamento é essencial para garantir a efetividade das práticas conservacionistas (EMBRAPA, 2021).

Estudos em Bonito - MS demonstram que solos com alta concentração de carbonatos, quando submetidos a saturação prolongada, podem apresentar taxas de dissolução de até 2,5 mm/ano, redirecionando o escoamento superficial para fluxos subsuperficiais (BOGGIANI *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A construção de terraços em solos calcários, prática comum para o controle da erosão, pode apresentar desafios específicos nesses ambientes. Em solos calcários, a água da chuva acumulada nos terraços pode se tornar levemente ácida ao reagir com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera e da matéria orgânica em decomposição, formando ácido carbônico (H_2CO_3). Esse ácido é capaz de dissolver o carbonato de cálcio presente no solo, promovendo a formação de microdolinas (pequenas depressões) e cavidades e/ou canais subsuperficiais (GOMES, 2018). Como consequência, parte do escoamento superficial pode ser transferida para o escoamento subsuperficial, alterando o regime hidrológico local e favorecendo processos de carstificação e instabilidade estrutural dos terraços (GOMES, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O sistema de plantio direto, ao evitar o revolvimento do solo, reduz a mineralização rápida da matéria orgânica e permite que resíduos de culturas anteriores se decomponham gradualmente, enriquecendo o solo com matéria orgânica estável e aumentando a capacidade de troca de cátions e a estabilidade dos agregados (SILVA *et al.*, 2021; EMBRAPA, 2021).

Assim, a produção de matéria orgânica no sistema de plantio direto é favorecida pela manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, o que contribui para o acúmulo de carbono e para a formação de ácidos húmicos e fúlvicos. Esses compostos orgânicos promovem a agregação do solo, aumentam a retenção de água e favorecem a atividade microbiana, melhorando a estrutura física e a fertilidade do solo ao longo do tempo (SILVA *et al.*, 2021).

Esses ácidos possuem alta capacidade de complexação de íons metálicos, podendo aumentar a solubilização de minerais presentes no solo, inclusive o carbonato de cálcio dos solos calcários (EMBRAPA, 2024). Em solos alcalinos, como os calcários, os ácidos fúlvicos podem mobilizar cálcio e magnésio, favorecendo a dissolução química do solo e, conseqüentemente, potencializando a erosão química. Esse processo pode contribuir para o aumento da turbidez das águas dos cursos d'água, especialmente em períodos de chuvas intensas, devido ao maior carreamento de partículas finas e coloidais resultantes da dissolução do solo calcário (SILVA *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Embora o plantio direto traga benefícios para a conservação do solo e o aumento da matéria orgânica, é necessário um manejo criterioso em solos calcários, especialmente quando associados à construção de terraços. A produção de ácidos húmicos e fúlvicos pode intensificar a dissolução do calcário, aumentar o escoamento subsuperficial e contribuir para a turbidez dos corpos d'água, exigindo monitoramento e práticas complementares de manejo para garantir a sustentabilidade ambiental desses sistemas agrícolas (EMBRAPA, 2024; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

2.8 A Caracterização da Matéria Orgânica Dissolvida

A espectroscopia de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis) é amplamente utilizada para caracterizar a matéria orgânica dissolvida (MOD) em ambientes aquáticos, especialmente devido à sua simplicidade, rapidez e capacidade de fornecer informações sobre a composição estrutural e o grau de humificação das substâncias húmicas. Parâmetros espectrais como as razões E2/E3 (absorbância a 254 nm/365 nm) são comumente empregados para inferir o peso molecular médio, a aromaticidade e o grau de condensação da MOD. Estudos demonstram que valores mais baixos dessas razões indicam maior conteúdo aromático e maior grau de

humificação, enquanto valores mais altos sugerem moléculas menores e menos condensadas (PEURAVUORI e PIHLAJA, 1997; SENESI *et al.*, 1989). Os valores utilizados para determinar a provável origem das matérias orgânicas dissolvidas (Quadro 1).

Quadro 1: Quadro de referência para E2/E3.

Quadro de Referência para E2/E3 (UV-Vis)			
Razão E2/E3 (A254/A365)	Peso Molecular	Grau de Humidificação	Origem provável da MOD
< 3,5	Alto	Alto	Alóctone (solos, plantas, húmica)
3,5 - 5,0	Intermediário	Médio	Mista (transição entre fontes)
> 5,0	Baixo	Baixo	Autóctone (algas, microorganismos)

Organização: Autora, 2025. **Fonte:** (Adaptado de HELMS *et al.*, 2008; PEURAVUORI e PIHLAJA, 1997; SENESI, 1989).

Além disso, a análise das curvas de absorção e dos *slopes* espectrais permite diferenciar fontes de matéria orgânica, identificar processos de fotodegradação e estimar a reatividade ambiental das substâncias húmicas. O uso combinado de UV-Vis com outras técnicas espectroscópicas, como FTIR e RMN, possibilita uma caracterização mais robusta, mas a praticidade do UV-Vis o torna indispensável em estudos ambientais de rotina e monitoramento de qualidade da água (HELMS *et al.*, 2008; SENESI *et al.*, 1989).

2.9 O Fenômeno Whiting em rios Cársticos

O fenômeno *Whiting* é um processo natural caracterizado pela turbidez súbita da água, que adquire uma coloração esbranquiçada/leitosa devido à precipitação de minerais, principalmente carbonato de cálcio (CaCO_3) ou sulfato de cálcio (CaSO_4). Segundo pesquisas feitas por Chen *et al.* (2015), esse evento ocorre, em sua maioria, em lagos, mas pode ser observado em rios sob condições específicas, como altas concentrações de íons dissolvidos.

Em rios, o *Whiting* é considerado raro, mas há registros encontrados, como no rio Xiaoché, na China. Ainda de acordo com Chen *et al.* (2015), a liberação de água de fundo de reservatórios estratificados, rica em sulfato e hidrogênio sulfurado, resultou na formação de partículas de CaSO_4 , deixando a água com aspecto leitoso. Os autores destacam que esse fenômeno foi intensificado por atividades humanas, como a mineração, que aumentaram a

quantidade de poluentes nos sedimentos do reservatório, demonstrando a influência da ação antrópica nos processos naturais.

Apesar de natural, o *Whiting* pode ser um importante sinal de alerta, pois pode indicar alterações ambientais e mudanças na qualidade da água.

CAPÍTULO II

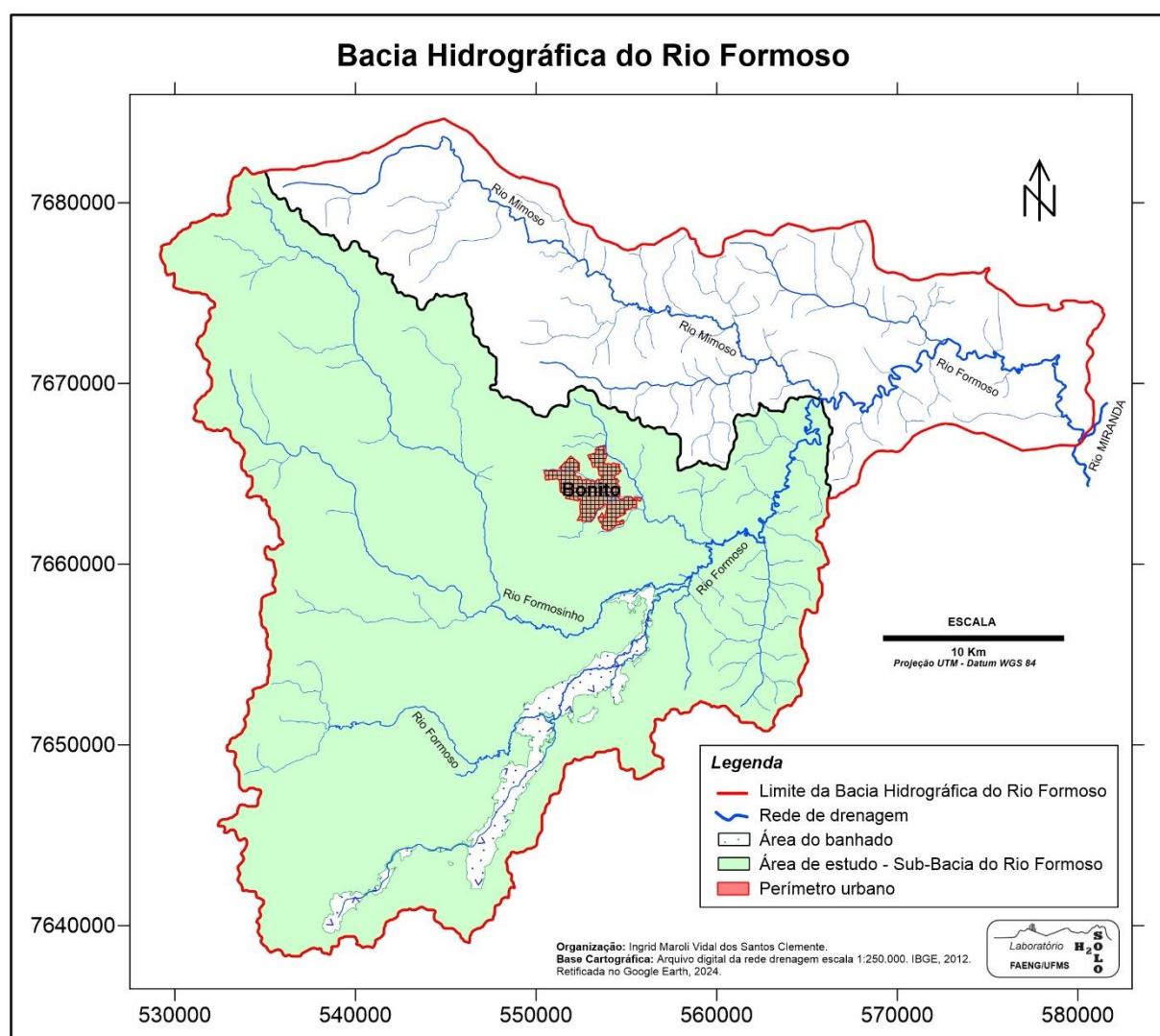


A SUB- BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (SBHRF)

3. A SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO

A Bacia Hidrográfica do Rio Formoso situada no estado do Mato Grosso do Sul, cobre uma área de aproximadamente 1.475,36 km². O sistema hidrológico é único, associado a rochas calcárias e dolomíticas, e inclui rios superficiais e subterrâneos, sumidouros de água e ressurgências. A bacia do rio Formoso formada pelos rios formoso, formosinho e mimoso é a principal no município de Bonito - MS (Figura 1) e contém a maior parte de seus pontos turísticos (SILVA *et. al.*, 2014).

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



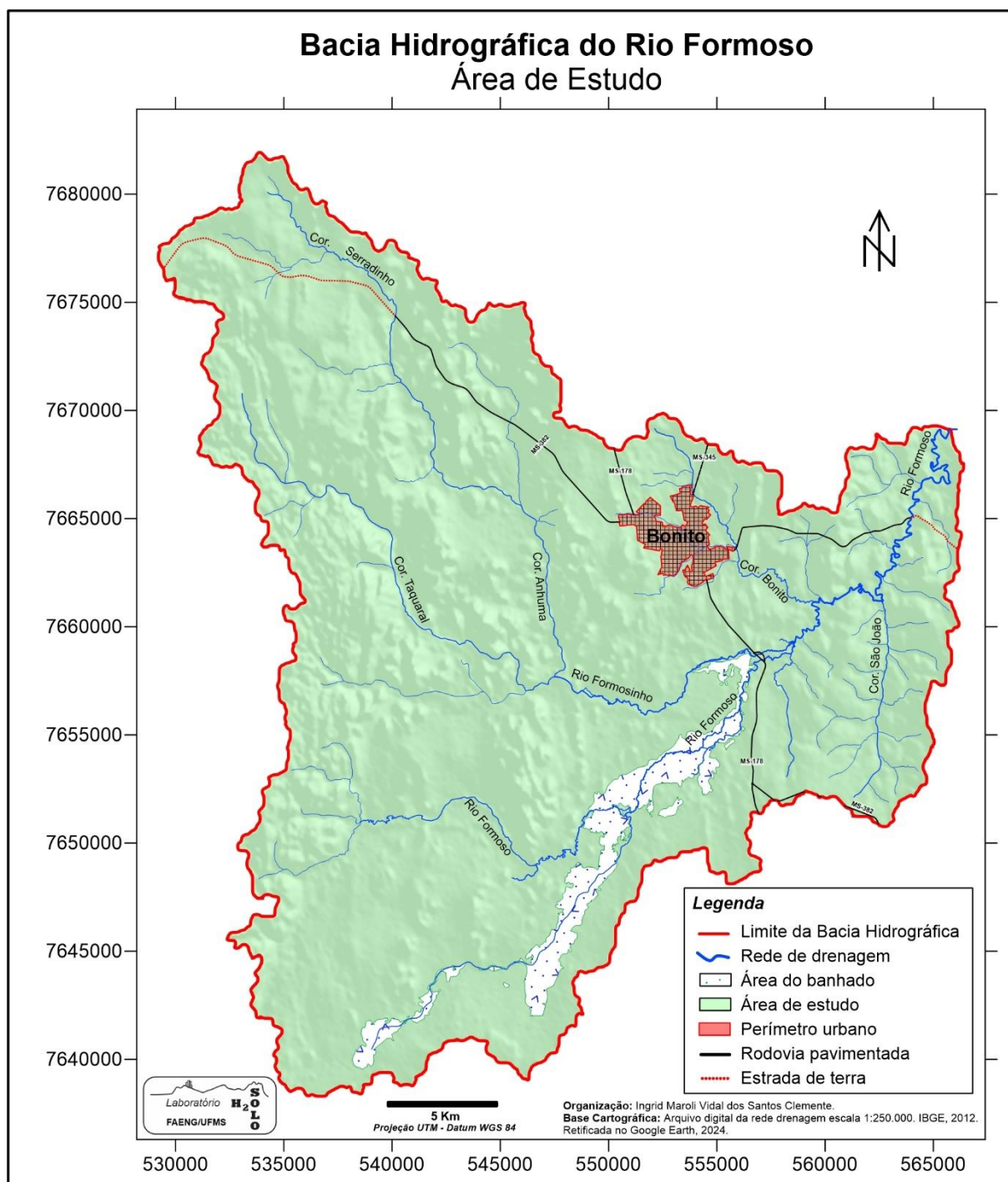
Fonte: Autora, 2025.

rio Formoso, com cerca de 97,27 km de extensão, tem suas nascentes na Serra da Bodoquena e desemboca na margem esquerda do Rio Miranda. A bacia está situada entre algumas das principais rodovias da região, como a MS-178 e a MS-382, o que facilita o acesso e a conexão com outras áreas turísticas e rurais (MEDEIROS *et. al.*, 2022).

A área de estudo (Figura 2) é de 876,38 km², formada pelos rios formoso e formosinho abrangendo 59,5% da área total da sub-bacia do rio Formoso. A área de estudo está localizada entre as coordenadas geográficas 20°57'46.27"S a 21°21'25.33"S de latitude Sul e 56°21'38.81"W a 56°39'28.34"W de longitude Oeste.

A bacia hidrográfica do rio Formoso destaca-se por sua expressiva vulnerabilidade ambiental, resultado direto da predominância de rochas carbonáticas altamente permeáveis, que favorecem processos de infiltração e recarga dos aquíferos cársticos (SILVA *et al.*, 2014; MEDEIROS *et al.*, 2022). Essa característica geológica, aliada à presença de sumidouros e ressurgências, torna o sistema hidrológico do rio Formoso especialmente sensível a alterações no uso e ocupação do solo, como desmatamento, expansão agropecuária e atividades turísticas.

Figura 2: Localização da área de estudo Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



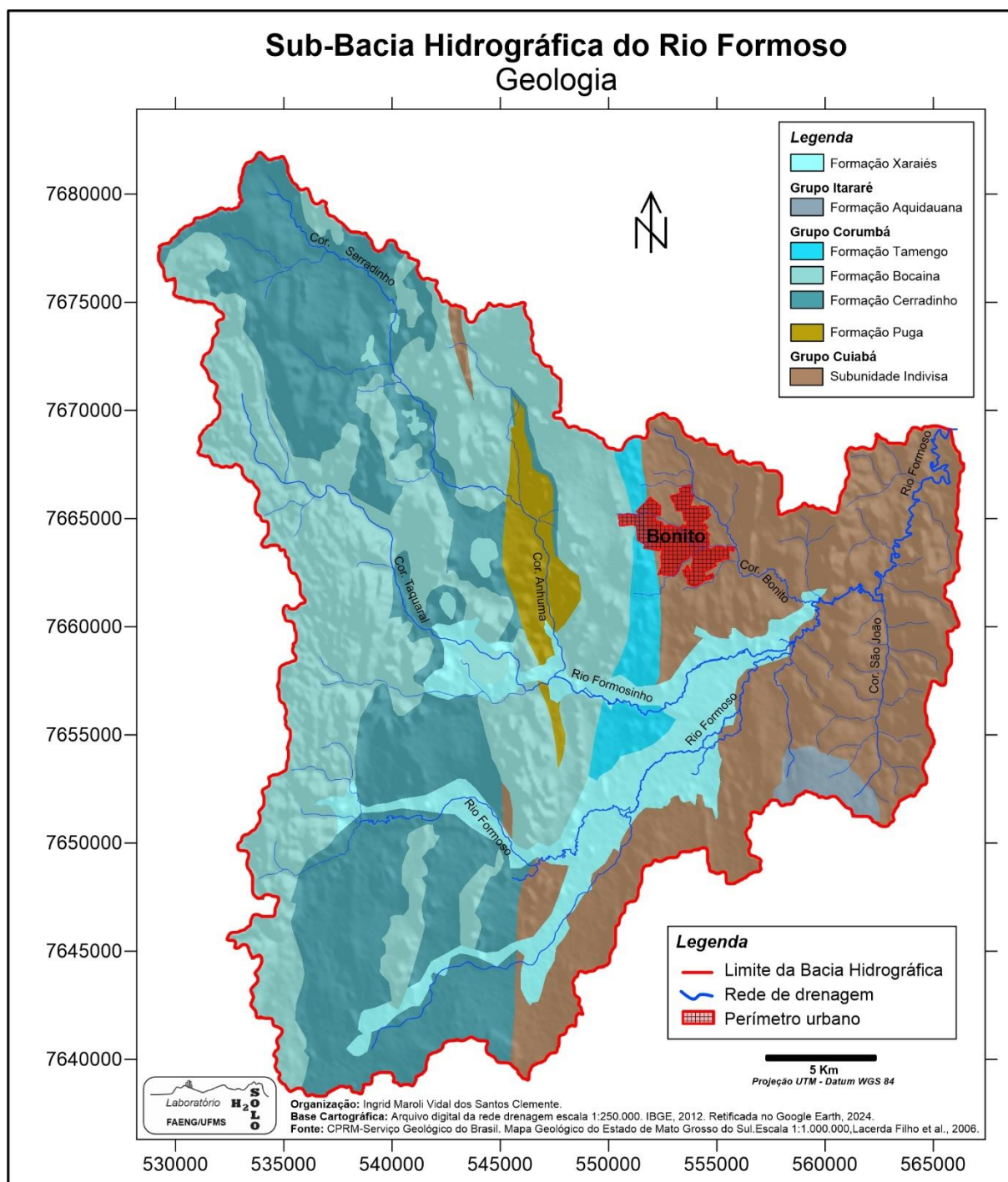
Fonte: Autora, 2025.

3.1 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO FORMOSO

3.1.1 Geologia

A geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (Figura 3), localizada em Bonito, Mato Grosso do Sul, é composta principalmente por formações cársticas contidas por calcários e dolomitos, que datam do período Pré-Cambriano (MEDEIROS, *et. al.*, 2022).

Figura 3: Mapa da geologia da Sub-Bacia-Hidrográfica do Rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025.

A maioria das formações presente na área de estudo são o resultado da deposição e dissolução de minerais carbonáticos, características típicas de áreas cársticas (Quadro 2). Essas formações são responsáveis pela criação de um sistema de águas cristalinas e subterrâneas, além da presença de cavernas e outras estruturas típicas de relevo cárstico, como grutas e dolinas (MEDEIROS, *et. al.*, 2022).

Quadro 2: Quantificação da área ocupada por cada formação geológica na área de estudo.

Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF)			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Sigla	Área (km²)	Área (%)
Formação Xaraiés	Q2x	82,89	9,46
Formação Aquidauana	C2P1a	9,19	1,05
Formação Tamengo	NP3t	21,72	2,48
Formação Bocaina	NP3bo	285,34	32,56
Formação Cerradinho	NP3ce	227,87	26,00
Formação Puga	NPpu	23,38	2,67
Grupo Cuiabá: Subunidade indivisa	NPcui	225,99	25,79
Total da Área da SBHRF		876,38	100

Fonte: Autora, 2025

A Formação Xaraiés, presente na região central da bacia, é composta predominantemente por rochas calcárias que se formaram durante o período Pleistoceno. Essas rochas são resultado da abundância de carbonato de cálcio, formando depósitos de tufas calcárias, travertinos e conglomerados com cimento calcífero. Essa formação geológica é altamente influenciada pela dissolução de calcários e dolomitos da área, que se originaram em ambientes de sedimentação onde as águas saturadas em carbonato de cálcio precipitaram os minerais, criando como características paisagens cársticas e rios de águas límpidas (MEDEIROS, *et. al.*, 2022).

A Formação Aquidauana, integrante do Grupo Itararé que apesar de pouco presente na bacia de estudo, é predominantemente composta por rochas sedimentares do período Carbonífero. Estas rochas apresentam uma combinação de arenitos e diamictitos, que se formaram em ambientes glaciais e pós-glaciais. A composição sedimentar inclui arenitos vermelhos e conglomerados, características de processos de deposição fluvial e glacial. Esses traços geológicos refletem uma história complexa de mudanças climáticas e deposicionais, que influenciaram a formação dos sedimentos observados atualmente na região (TERUYA JUNIOR, 2010).

A Formação Tamengo, do grupo Corumbá, está localizada no centro-norte da bacia, sendo composta por rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos, formadas no Neoproterozoico. Originada em ambientes marinhos rasos, essa formação apresenta camadas espessas de calcário e registros de fósseis da fauna ediacarana. Tais rochas são significativas para a história geológica da região, registrando eventos de transgressões marinhas e processos de subsidência na bacia sedimentar (MEDEIROS, *et. al.*, 2022).

A Formação Bocaina, que constitui o membro superior do Grupo Corumbá, caracteriza-se por uma litologia composta de dolomitos e calcários dolomíticos, que ocasionalmente apresenta finas camadas de pelitos intercalados (NOGUEIRA *et. al.* 1978).

A Formação Cerradinho, também do grupo Corumbá, caracteriza-se por uma sedimentação em ambiente marinho regressivo, situada na plataforma continental, onde predominam rochas clásticas na base, que gradualmente dão lugar a litologias carbonáticas em níveis superiores. Em resumo, sua litologia é composta por uma sequência de rochas como arcoseos, arenitos, siltitos, argilitos, calcários, dolomitos, margas, ardósias, metargilitos, metasiltitos, folhelhos e metaconglomerados na porção basal (ALMEIDA, 1945; CORREA, 1976).

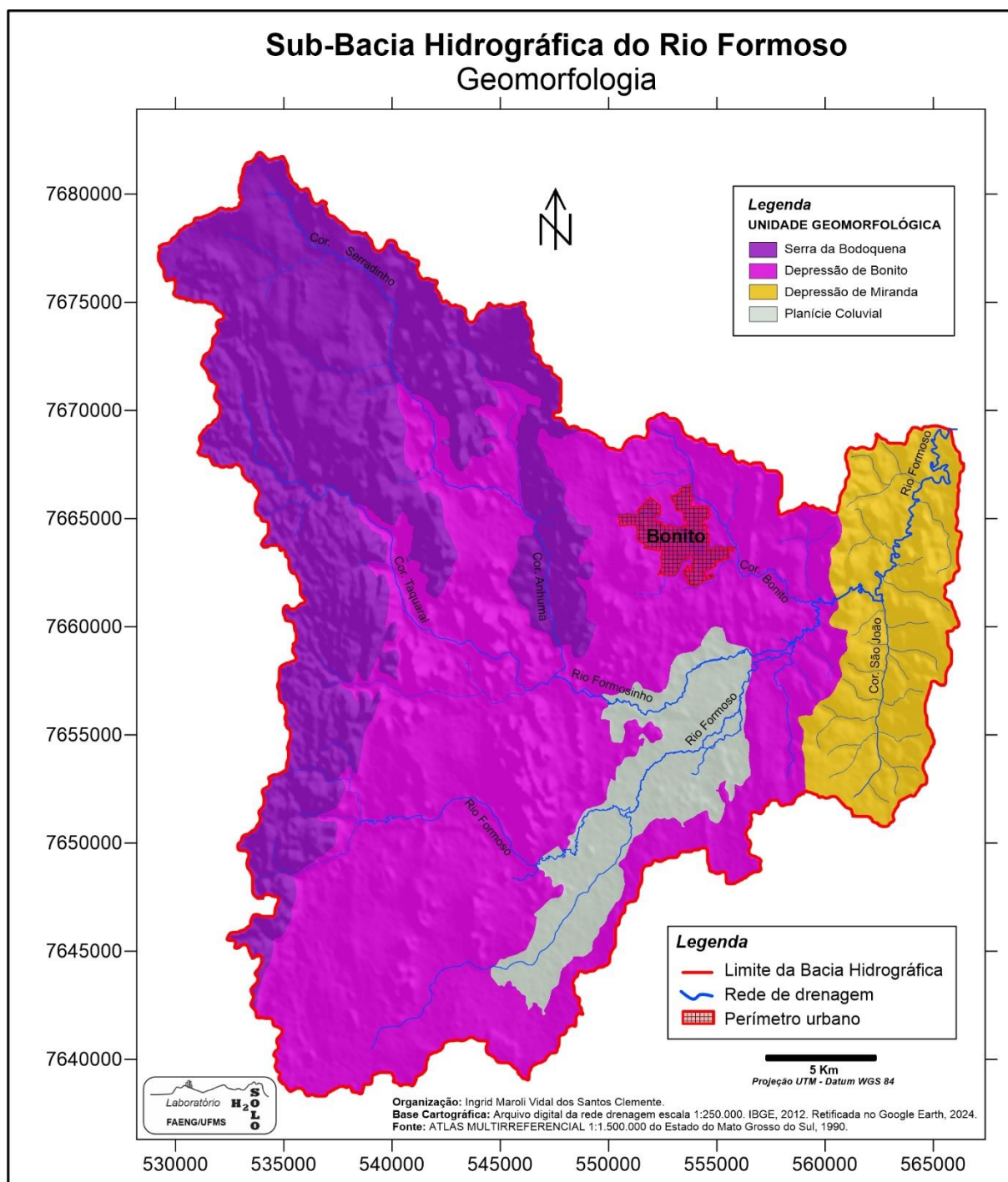
A Formação Puga, que compõe a base do Grupo Corumbá, é caracterizada por paraconglomerados epimetamórficos com uma matriz argilo-arenosa frequentemente foliada. Esses conglomerados apresentam cimento carbonático e incluem seixos de quartzo, calcário, filito e, ocasionais, rochas graníticas contendo quartzo e feldspato, conforme descrito por Correa et al. (1976) e Maciel (1959).

Já na região leste da bacia, nota-se também o Grupo Cuiabá, onde predominam rochas do tipo Subunidade Indivisa formada principalmente por rochas metassedimentares, como quartzitos, filitos e metarenitos. Essas rochas se originaram em ambientes de sedimentação marinha e apresentam traços de uma complexa história geológica, marcada por múltiplas fases de deformação tectônica e metamorfismo. Essas fases estão associadas ao desenvolvimento da Faixa Paraguai e incluem eventos de melhorias e deslocamento tectônico. A Subunidade também exhibe estruturas típicas de zonas de cisalhamento, que evidenciam processos de deformação polifásica, estabelecendo que essas rochas foram submetidas a intensas pressões e movimentos tectônicos ao longo do tempo (VASCONCELOS, 2018).

3.1.2 Geomorfologia

Segundo o Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul (MATO GROSSO DO SUL, 1990), a SBHRF se insere na unidade geomorfológica dos planaltos e serras da Borda Ocidental da Bacia do Paraná, com presença marcante de terras altas e declivosas, constituídas principalmente por formações calcárias (Figura 4).

Figura 4: Geomorfologia da Sub-Bacia-Hidrográfico do Rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025

Esse relevo é caracterizado por altitudes que variam entre 300 e 600 metros, com presença de terrenos fortemente dissecados, vales encaixados e morros isolados, conferindo à paisagem um aspecto acidentado e com significativa presença de feições cársticas, como dolinas e grutas. A interação entre relevo e rochas carbonáticas favorece a ocorrência de nascentes de águas cristalinas, muitas vezes subterrâneas, que emergem formando os rios típicos da região (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

As unidades geomorfológicas (Quadro 3) presente na SBHRF, revela a diversidade do relevo e sua distribuição espacial dentro da bacia.

Quadro 3: Quantificação da área de cada unidade geomorfológica na área de estudo.

Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF)			
Unidade Geomorfológica	Sigla	Área (km²)	Área (%)
Serra da Bodoquea		273,74	31,24
Depressão de Bonito		442,31	50,47
Depressão de Miranda		91,62	10,45
Planície Coluvial		68,71	7,84
Total da Área da SBHRF		876,38	100

Fonte: Autora, 2025.

De acordo com o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (1990), pode-se descrever as unidades da seguinte maneira:

A Serra da Bodoquena é uma unidade de relevo montanhoso, constituída predominantemente por rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos, pertencentes ao Grupo Corumbá. Essa formação resulta em relevo fortemente dissecado, com encostas íngremes, vales encaixados e presença marcante de feições cársticas, como cavernas, dolinas e sumidouros. A ação da água sobre o calcário contribui para o desenvolvimento dessas formas, conferindo à região características típicas de um relevo cárstico.

Já a depressão de Bonito é composta por um relevo suavemente ondulado, situado entre a Serra da Bodoquena e a planície pantaneira. Essa unidade se caracteriza pela presença de materiais sedimentares inconsolidados e solos profundos, o que favorece o desenvolvimento de atividades agropecuárias. A drenagem é relativamente densa, com rios de águas cristalinas alimentados por aquíferos cársticos. A interação entre relevo, solo e geologia permite a infiltração da água e contribui para a formação de nascentes com elevada qualidade hídrica.

A Depressão de Miranda apresenta relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com altitudes inferiores às da Serra da Bodoquena. A unidade é formada por sedimentos recentes, com solos hidromórficos e mal drenados em algumas áreas. O ambiente favorece a formação de veredas e áreas alagáveis, especialmente próximas aos cursos d'água, sendo comum a presença de campos naturais utilizados para a pecuária extensiva. Essa depressão funciona como zona de transição entre o relevo mais elevado da Bodoquena e a planície pantaneira.

E por fim, a Planície Coluvial está relacionada à acumulação de materiais transportados por gravidade e enxurradas, oriundos principalmente da Serra da Bodoquena. É composta por

depósitos coluvionares e aluviões antigos que formam áreas de relevo plano a levemente ondulado, com solos arenosos ou argilosos pouco desenvolvidos. Essas áreas geralmente acompanham o sopé das serras e são importantes para recarga hídrica, funcionando como zonas de infiltração. A vegetação original foi em grande parte substituída por pastagens, dada a aptidão agrícola moderada da região.

Assim a SBHRF caracteriza-se também por uma predominância de feições cársticas, resultantes da intensa dissolução das rochas carbonáticas, principalmente calcários e dolomitos das Formações Cerradinho e Bocaina, pertencentes ao Grupo Corumbá, e das rochas do Grupo Cuiabá, que formam o arcabouço geológico da Serra da Bodoquena (DIAS, 2000; BOGGIANI *et al.*, 1998). Essa configuração geológica proporciona a formação de paisagens com morros disjuntos, plataformas de vertentes retilíneas e mogotes, além de extensas áreas planas e úmidas ao longo das margens dos rios, principalmente nos trechos inferiores, onde ocorre a Formação Xaraiés, composta por calcário pulverulento e fósseis (DIAS, 2000).

A predominância das rochas carbonáticas favorece o desenvolvimento de feições típicas do relevo cárstico, como dolinas, sumidouros, cavernas e ressurgências, que contribuem para a drenagem subterrânea e a formação de rios cristalinos, como o Formoso, Sucuri e Perdido (BOGGIANI *et al.*, 1998). O processo de dissolução supera o de erosão superficial, resultando em vales pouco profundos e ausência de padrões de drenagem multibasinal, típicos de carste jovem. As plataformas de vertentes retilíneas são intercaladas por mogotes com solos rasos e pedregosos, sobre os quais se desenvolve vegetação exuberante, mesmo em condições de solo limitado (BIGARELLA, 1994).

A topografia da bacia apresenta compartimentos bem definidos, com patamares elevados e declives acentuados nas áreas de rochas carbonáticas, enquanto nas áreas mais baixas predominam vertentes suavizadas e rochas terrígenas (SILVA *et al.*, 2014). Esses contrastes geomorfológicos influenciam diretamente o regime hídrico, a dinâmica do escoamento superficial e a distribuição da umidade do solo, além de determinar diferentes usos do solo e potencialidades para atividades econômicas, como o turismo ecológico e a agricultura (SILVA *et al.*, 2015).

A combinação de relevo cárstico, solos arenosos e alta pluviosidade resulta em uma paisagem dinâmica, com elevada produção de sedimentos e intensa interação entre sistemas superficiais e subterrâneos (SILVA *et al.*, 2014). A manutenção da qualidade ambiental da bacia depende do equilíbrio entre a conservação dos recursos naturais e o uso sustentável do território,

especialmente diante da crescente pressão do turismo e das atividades agropecuárias. O zoneamento ambiental e o monitoramento contínuo das áreas úmidas e das matas ciliares são fundamentais para garantir a integridade do relevo e dos ecossistemas associados ao rio Formoso (SANTOS *et al.*, 2022; UMEDA *et al.*, 2015).

3.1.3 Solos

De acordo com Wadt *et al.* (2003), o solo é um dos recursos naturais mais importantes para a preservação da qualidade da vida humana. Ele desempenha diversas funções, como a regulação dos ciclos de nutrientes e do ciclo hidrológico, além de ser essencial para a sustentabilidade dos ecossistemas naturais.

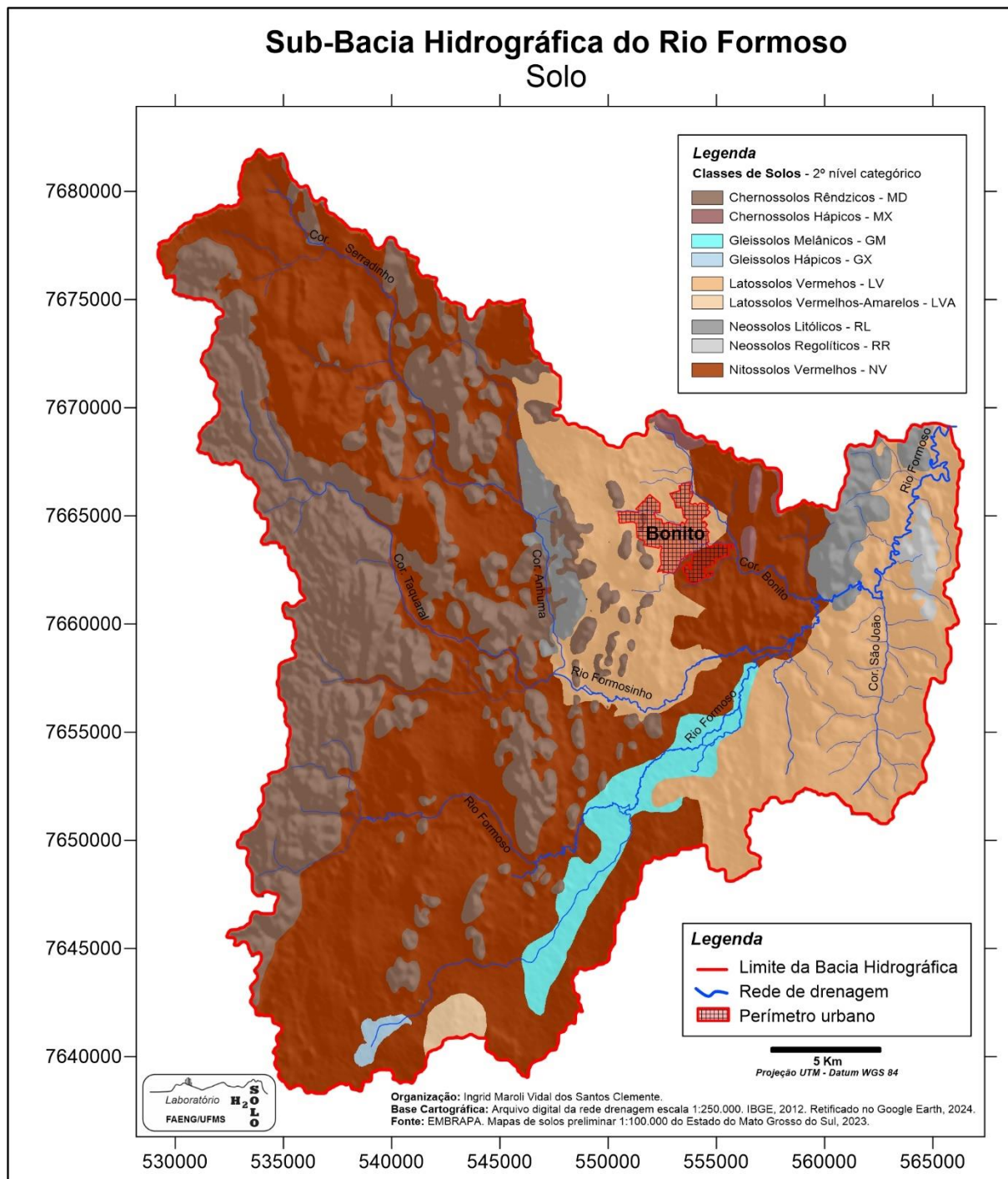
A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF) apresenta nove classes de solos no segundo nível categórico da classificação da Embrapa (Figura 6), cuja distribuição reflete a diversidade geomorfológica, geológica e hidrológica da região. Essa variedade de solos influencia diretamente a ocupação do solo, a dinâmica da paisagem e a qualidade dos recursos hídricos, conforme quantificado e distribuído no Quadro 4 (SILVA *et al.*, 2015). A alta concentração de carbonato de cálcio nas águas favorece a calcificação e sedimentação das partículas, contribuindo para a manutenção da transparência dos rios, característica fundamental para o turismo local. No entanto, a fragilidade dos solos e a ineficiência das práticas conservacionistas em algumas áreas elevam a vulnerabilidade a processos erosivos e à degradação ambiental (CAVAZANNA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2022).

A distribuição da cobertura pedológica da SBHRF é formada por 9 classes de solos, no segundo nível categórico, classificação EMBRAPA (Figura 6).

A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF), apresenta uma diversidade de classes de solos que refletem as características geomorfológicas, geológicas e hidrológicas locais. Essa diversidade influencia diretamente a ocupação do solo, a dinâmica da paisagem e a qualidade dos recursos hídricos.

No quadro 4 está a quantificação e a distribuição espacial das 9 classes de solos presente na SBHRF.

Figura 5: Mapa dos solos na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025.

Quadro 4: Quantificação da área ocupada por cada classe de solo na área de estudo.

Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF)			
Classes de Solos (2º Nível)	Sigla	Área (Km ²)	Área (%)
Chernossolos Rêndzicos	MD	235,65	26,88
Chernossolos Hápicos	MX	4,89	0,56
Gleissolos Melânicos	GM	29,40	3,35
Gleissolos Hápicos	GX	2,74	0,31
Latossolos Vermelhos	LV	181,59	20,72
Latossolos Vermelhos-Amarelos	LVA	5,21	0,59
Neossolos Litólicos	RL	28,38	3,24
Neossolos Regolíticos	RR	5,44	0,62
Nitossolos Vermelhos	NV	383,09	43,72
Total da Área da SBHRF		876,38	100

Fonte: Autora, 2025.

O solo mais representativo é o Nitossolo Vermelho (NV), que cobre 43,72% da área da bacia. Esse solo profundo, bem estruturado e de alta fertilidade natural é amplamente utilizado na agricultura e na pecuária, graças à sua boa capacidade de retenção de água e manejo.

Em seguida, os Chernossolos Rêndzicos (MD), que ocupam 26,88% da área, são encontrados principalmente na Serra da Bodoquena. São solos escuros, ricos em matéria orgânica, desenvolvidos sobre rochas calcárias, com excelente fertilidade e potencial agrícola elevado.

Os Latossolos Vermelhos (LV) representam 20,72% da bacia. Apesar de apresentarem menor fertilidade natural, são solos profundos e bem drenados, muito utilizados após correção química.

Já os Gleissolos Melânicos (GM) e Gleissolos Hápicos (GX), que juntos ocupam cerca de 3,66% da área, são solos hidromórficos formados em áreas mal drenadas, como veredas e baixadas, desempenhando importante papel na regulação hídrica e conservação ambiental.

Os Neossolos Litólicos (RL), com 3,24%, ocorrem em áreas de relevo acidentado e rochosas, apresentando baixa profundidade e elevada suscetibilidade à erosão.

Enquanto os Neossolos Regolíticos (RR), que ocupam 0,62%, são solos jovens, com horizonte pouco desenvolvido, encontrados em áreas mais estáveis, mas com baixa fertilidade.

Por fim, os Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) (0,59%) e os Chernossolos Hápicos (MX) (0,56%) apresentam distribuição pontual, mas reforçam a heterogeneidade da paisagem edáfica da SBHRF (EMBRAPA, 2018; ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

3.1.4 Clima

O município de Bonito - MS possui um clima tropical de savana, caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, que vai de outubro a março, e uma estação seca, de abril a setembro. Durante a estação chuvosa, a precipitação média mensal pode ultrapassar os 200 mm, enquanto na estação seca, essa média cai para menos de 50 mm (SILVA *et al.*, 2018). As temperaturas médias anuais variam entre 20°C e 25°C, com picos que podem chegar a 35°C durante os meses mais quentes (INMET, 2020).

Para Ferreira (2018), os recursos hídricos são renovados pela chuva, tornando a taxa de precipitação, o escoamento e a evaporação fatores essenciais para o controle da composição da água natural.

Hem (1985), descreve que os processos de intemperismo das rochas são amplamente afetados pela temperatura, pela quantidade e pela distribuição da precipitação. A interação entre as rochas e fatores climáticos, como temperatura e umidade, desencadeia diferentes reações que influenciam a solubilidade e a taxa de dissolução da maioria dos minerais presentes nas rochas. Assim, quanto maior a temperatura da água, maior será a solubilidade e a taxa de dissolução dos minerais (SZIKSZAY, 1993).

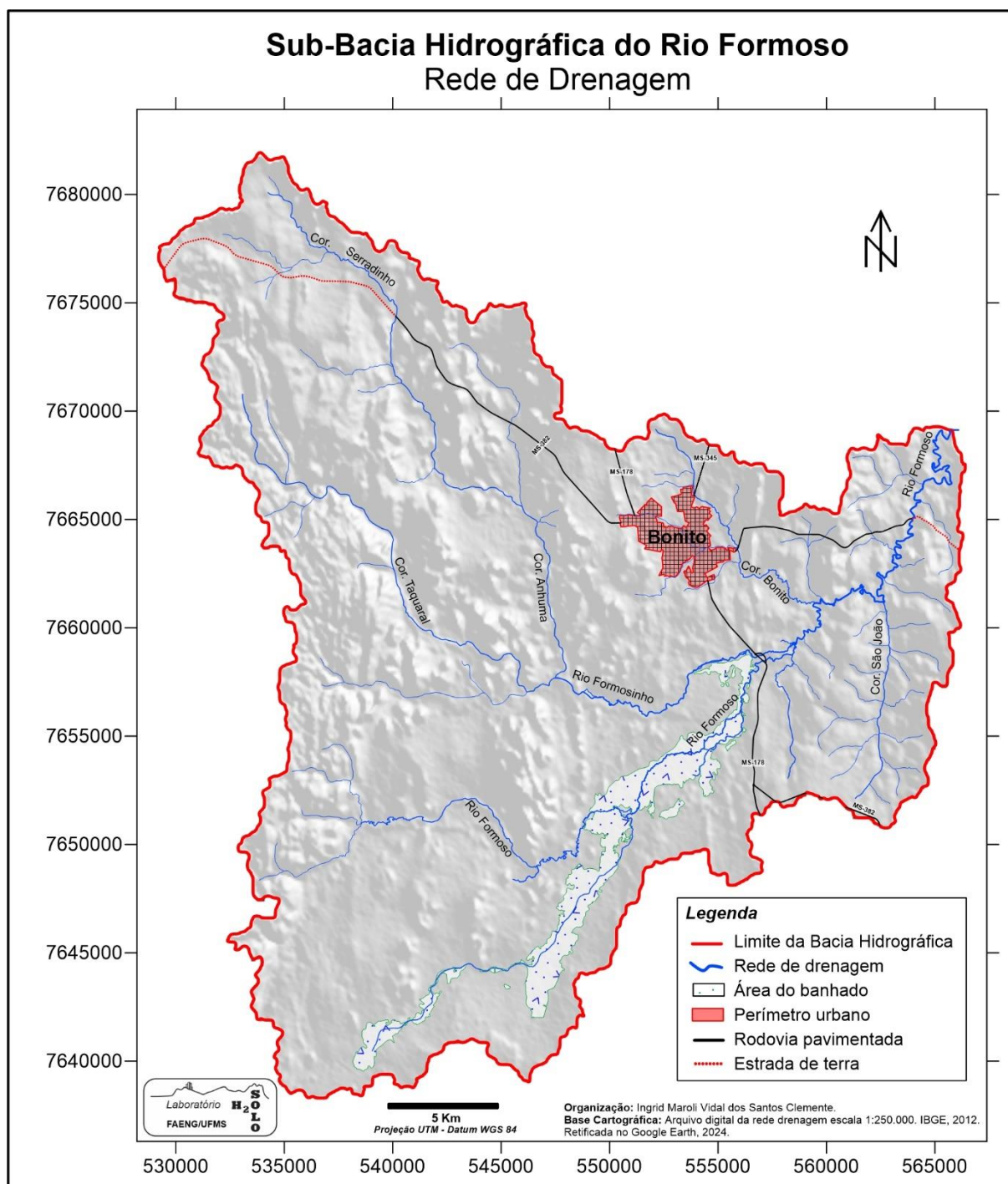
3.1.5 Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, área de estudo, possui uma rede de cursos d'água de águas cristalinas, sustentada por uma rede de drenagem em um ambiente cárstico que confere alta transparência e singularidade à paisagem aquática. O principal rio da bacia, o Rio Formoso, é alimentado por diversos afluentes menores, que desempenham um papel crucial tanto na manutenção da biodiversidade aquática quanto no turismo ecológico local. A hidrografia da região é descrita pela presença de cachoeiras, corredeiras e áreas de vegetação submersa, que buscam habitats essenciais para a fauna local, contribuindo para um ecossistema diverso (ALVES, 2021; TERUYA JUNIOR, 2010).

Ainda segundo Teruya Junior, 2010 e Alves, 2021, as formações calcárias da região promovem uma infiltração significativa, criando áreas de exfiltração que auxiliam no fluxo regular dos rios e garantem sua perenidade.

A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso é composta ainda pela bacia do rio Formosinho formada pelas microbacias dos córregos: Serradinho, Taquaral e Anhumas e ainda tem a contribuição direta das microbacias dos Córregos Bonito (Mateus) e São João.

Figura 6: Mapa hidrográfico da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.

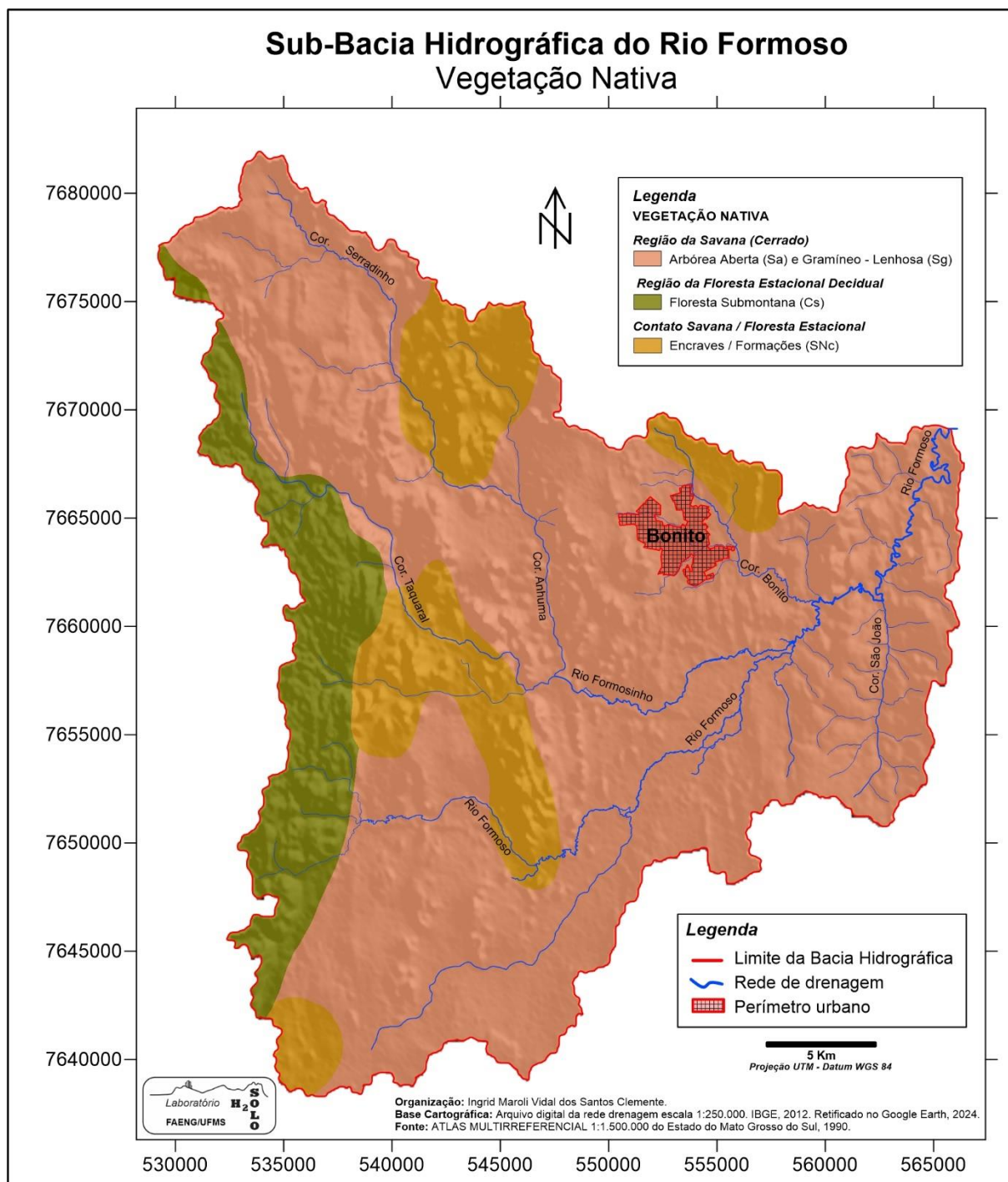


Fonte: Autora, 2025.

3.1.6 Vegetação

A vegetação natural da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso é uma transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica, sendo possível identificar fisionomias diversas, como cerradões, matas ciliares, campos limpos e florestas estacionais (Figura 7).

Figura 7: Vegetação nativa da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025.

A diversidade da vegetação nativa da SBHRF está dividida em 3 regiões fitoecológicas e de forma sintética apresenta a distribuição quantitativas das diferentes regiões na escala 1:1.500.000 conforme Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul, 1990 (Quadro 5).

Quadro 5: Vegetação nativa da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.

Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF)			
Vegetação Nativa	Sigla	Área (Km ²)	Área (%)
Savana (Cerrado)		648,14	73,96
Floresta Estacional Decidual		97,84	11,16
Contato Savana/Floresta Estacional		130,4	14,88
Total da Área da SBHRF		876,38	100

Fonte: Autora, 2025.

As Regiões de Savana (Cerrado) são:

Arbórea Densa a sua principal característica é um contínuo estrato graminóide que reveste o solo. A esse substrato sobrepõe-se árvores mais ou menos espaçadas, baixas, xeromórfica, com grandes folhas sempre verdes e com troncos tortuosos, esgalhado e de casca corticosa (ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

Gramínea Lenhosa compreende de formação de fisionomia campestre, entremeadas a plantas lenhosas de pequeno porte, sem cobertura arbórea, a não ser nas faixas de floresta de galeria, presente nos vales (ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

As Região de Florestas Estacional Decidual, com vegetação Floresta Submontana, formação florestal caracterizada pela ocorrência de espécies decíduais, juntamente as que compõem o estrato superior. Essa unidade fitofisionômica apresenta-se com uma estrutura arbórea homogênea, o dossel superior compõe árvores com altura de 20 metros (ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

O Contato Região de Florestas Estacional Decidual, com Encraves / Formações: região de contato entre as Formações de Savana - Arbórea densa e Florestas Estacional Decidual - Floresta Submontana (ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

Nas áreas próximas aos cursos d'água, predominam as matas ripárias bem preservadas, essenciais para a manutenção da qualidade hídrica e da biodiversidade local. Já nas áreas mais elevadas ou de solos mais rasos, predominam as formações do Cerrado, com vegetação arbustiva e árvores de pequeno porte. A variedade de vegetação está diretamente ligada às diferenças altimétricas e aos tipos de solo da bacia, além de ser fundamental para a estabilidade ecológica da região, que abriga rica fauna e flora adaptadas a ambientes de alta transparência e pureza hídrica (ATLAS MULTIRREFERENCIAL, 1990).

Essas áreas são ricas em biodiversidade e oferecem habitat para muitas espécies de flora e fauna, sendo fundamentais para a conservação ambiental da região. A vegetação ao longo dos

rios, como o Formoso e seus afluentes, desempenha um papel essencial na proteção das margens, além de contribuir para a regulação do fluxo hídrico, filtrando sedimentos e melhorando a qualidade da água (BATTILANI *et. al.*, 2005).

Estudos de sensoriamento remoto mostram que, apesar da importância ecológica, a vegetação da bacia sofre impacto devido à expansão agrícola e ao turismo. Isso tem resultado na perda de áreas de vegetação nativa, com consequente aumento da vulnerabilidade ambiental, afetando a estabilidade dos solos e a qualidade das águas (ALVES, 2021).

Além disso, pesquisas recentes destacam a importância de corredores ecológicos para preservar a conectividade entre os habitats e minimizar os efeitos da fragmentação das florestas locais (MUCHAILH *et. al.*, 2010).

3.1.7 Uso e ocupação do Solo

O uso do solo na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF), em Bonito, Mato Grosso do Sul, tem intensificado bastante nos últimos anos, principalmente por causa do crescimento do turismo e das atividades agrícolas. A criação de gado e o cultivo da soja, por exemplo, têm avançado sobre áreas que antes eram cobertas por vegetação nativa. Essa substituição da vegetação natural por pastagens e lavouras contribui para o desgaste do solo e o acúmulo de sedimentos nos rios, o que prejudica a qualidade da água e compromete os ecossistemas aquáticos (BAPTISTA-MARIA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 1996).

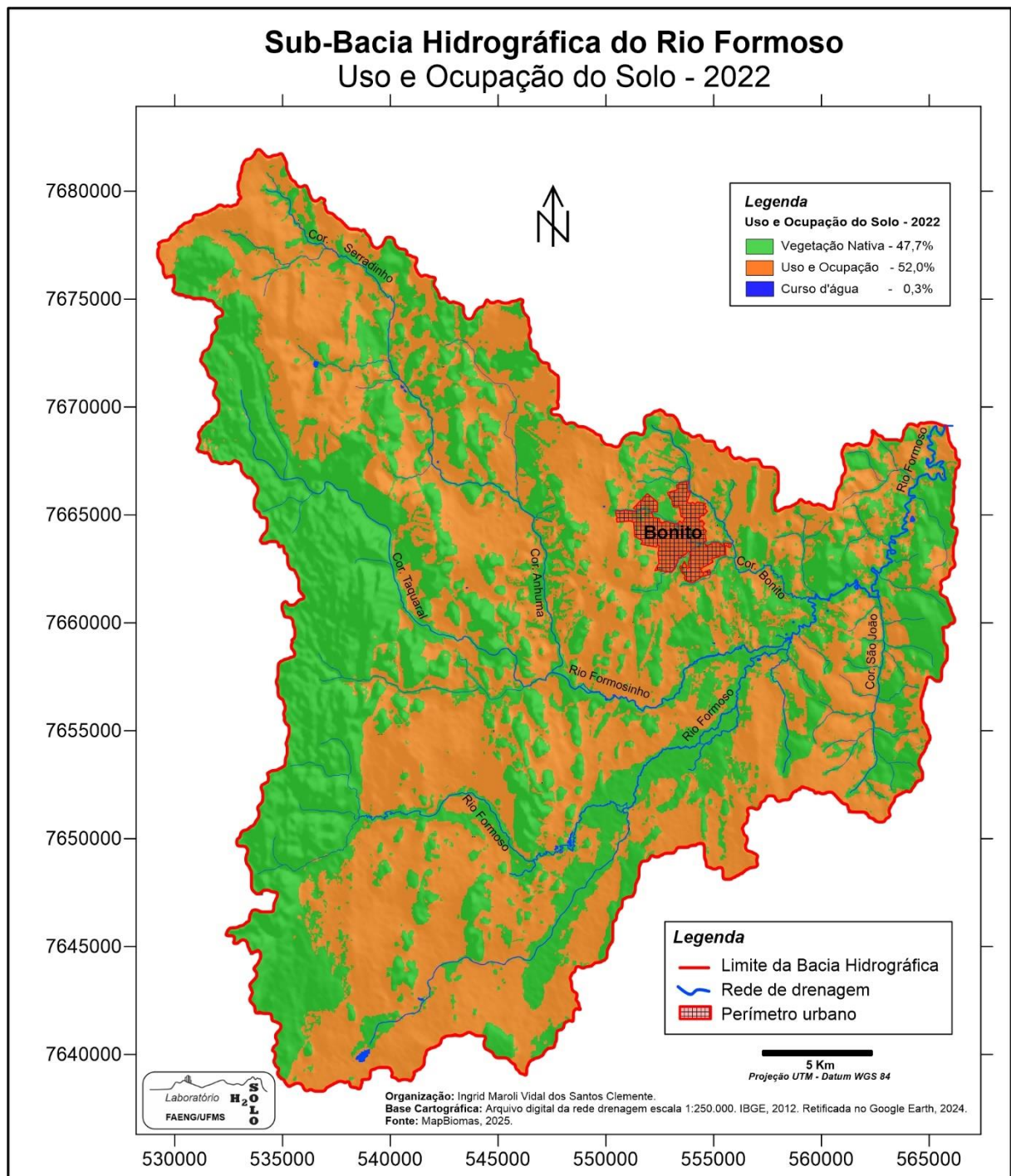
O turismo, embora muitas vezes associado à preservação ambiental, também tem trazido impactos. Bonito - MS se tornou um destino famoso pelo ecoturismo, o que estimulou a construção de estradas, pousadas e outras estruturas. Essas mudanças exigiram a retirada de vegetação nativa em algumas áreas, o que alterou a paisagem e trouxe consequências indiretas para os rios e nascentes da região (BAPTISTA-MARIA *et al.*, 2009; BRUGNOLLI; CHÁVEZ, 2022).

Mesmo com esses desafios, ainda existem porções significativas de vegetação nativa na sub-bacia, especialmente em áreas de difícil acesso, como as encostas e partes altas da Serra da Bodoquena. Nesses locais, o solo é raso, há muitas pedras (rochas) e o relevo é bastante acidentado, o que dificulta o uso para agricultura ou pecuária. Por isso, essas áreas acabam funcionando como “refúgios naturais”, mantendo partes preservadas do Cerrado e da Floresta Estacional, que são fundamentais para proteger a biodiversidade e ajudar no equilíbrio do clima e da água da região (ICMBIO, 2016).

No entanto, a maior parte dessa vegetação remanescente está justamente em áreas que não interessam economicamente, enquanto as regiões mais planas e férteis continuam sofrendo desmatamento. Um estudo de Teruya Junior (2007) mostrou que entre 1989 e 2005, cerca de 10% da vegetação original da sub-bacia foi substituída por pastagens e plantações. Isso aumenta a vulnerabilidade ambiental e piora a qualidade da água.

O cenário do uso e ocupação do solo da SBHRF apresentou estabilização conforme dados de 2022 (MapBiomas, 2025), mostrando que a vegetação nativa ocupava 47,7% da área da bacia e o uso e ocupação do solo 52 % (pastagem, agricultura, área urbana e área sem vegetação) 0,3% ocupado pelos cursos d'água (Figura 8), esses dados corroboram com as informações do ICMBIO, 2016, que a preservação da vegetação nativa está vinculada diretamente a áreas de proteção e de relevo muito acidentado.

Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025.

CAPÍTULO III



MATERIAIS E MÉTODOS

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudar a dinâmica das águas superficiais da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso foram organizados em três etapas principais de trabalho:

a) A primeira etapa, voltada para a revisão bibliográfica, elaboração de mapas, e a organização de um banco de dados históricos com registros de medidas (parâmetros físico-químicos) e resultados (análises) de dados secundários;

b) A segunda etapa, envolve a realização de trabalhos de campo, incluindo a coleta de amostras de água e medidas de parâmetros físico-químicos;

c) A terceira refere-se a análise das amostras de água em laboratório compreendendo a seguintes análises: química (elementos maiores (cátions e ânions) e alcalinidade) e física (quantificação dos sólidos suspensos totais – TSS e identificação da matéria orgânica dissolvida MOD).

4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

4.1.1 Banco de dados

A primeira etapa do trabalho envolveu a criação de mapas digitais da rede de drenagem, da geologia, geomorfologia, vegetação nativa e dos tipos de solos e ainda uso e ocupação a partir de dados secundários e utilizando base cartográfica já disponíveis, com o auxílio e suporte de software voltado ao geoprocessamento.

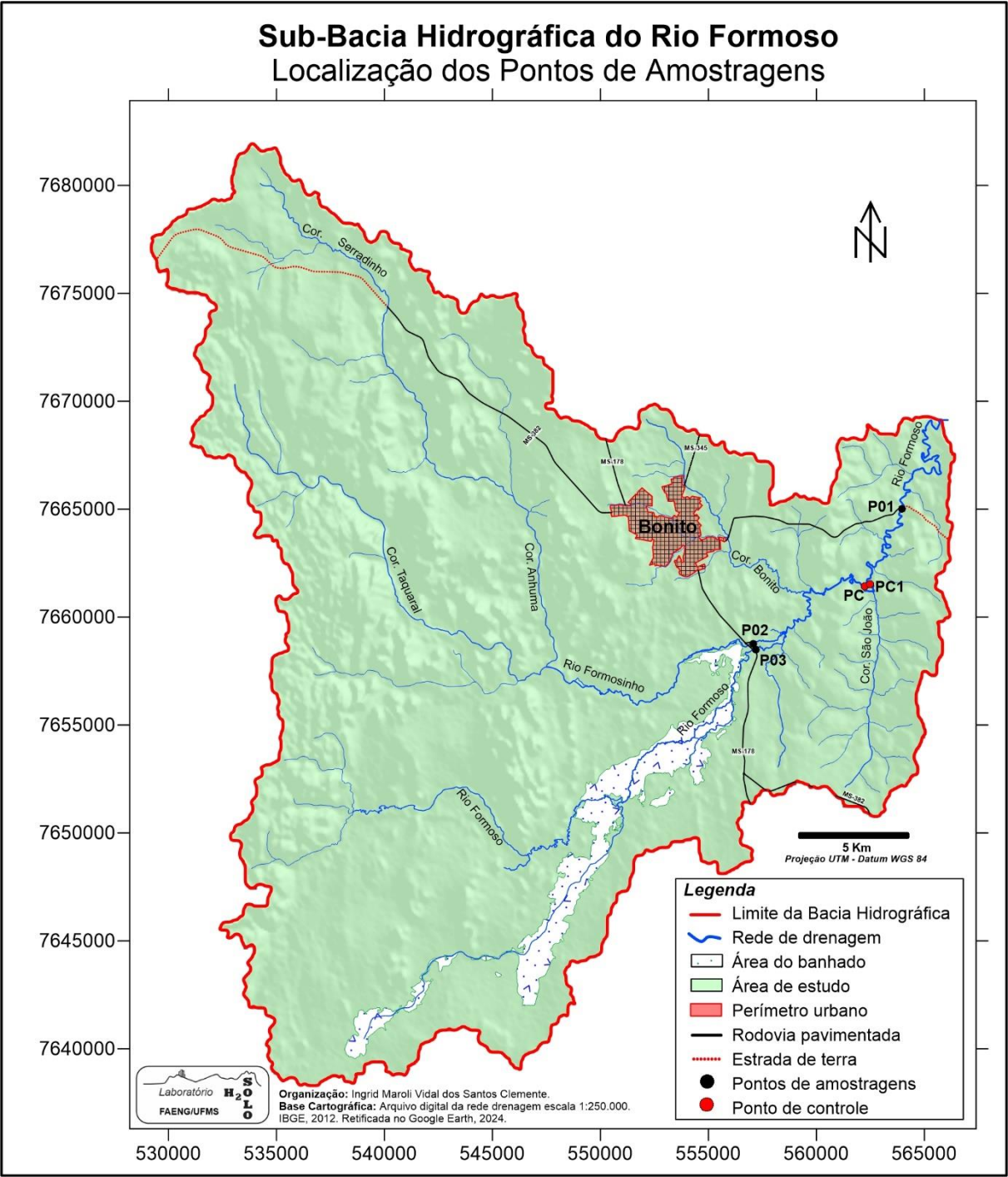
Para a criação de um banco de dados, foram utilizados arquivos digitais da rede de deriva (IBGE, 2012; escala 1:250.000), geológicas (CPRM, 2006) Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso do Sul, escala 1:1.000.000, MapBiomass, 2025. A organização do banco de dados foi realizada com o auxílio dos softwares ArcViewGis, ArcExibe, TrackMaker, Global Mapper, Google Earth, Corel Draw e Surfer.

Com o banco de dados constituído, fez-se a digitalização e a retificação da rede de drenagem utilizando imagens de satélite disponíveis no Google Earth. Em seguida, foram inseridas as rodovias e a localização da cidade, formando uma base digital organizada. Essa estrutura possibilitou que as informações fossem disponibilizadas, cruzadas e sobrepostas durante a elaboração dos mapas.

4.1.2 Pontos de Amostragem e Coleta

A partir das informações geradas, foram identificados pontos de amostragem e coleta, levando em consideração os principais cursos d'água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (Rios Formoso e Formosinho), o tipo de geologia local e as vias de acesso (Figura 9).

Figura 9: Mapa de localização dos pontos de amostragem e coleta de água.



Fonte: Autora, 2025.

A escolha dos pontos de amostragem foram feitas de modo a aproveitar os cruzamentos entre os cursos d'água e as estradas, facilitando o acesso e as coletas e medidas.

Inicialmente foram selecionados 3 pontos de amostragem (Tabela 1), P01 jusante do Rio Formoso, P02 no Rio Formosinho e P03 no Rio Formoso próximo ao Balneário. Em uma coleta em 2025 foram feitas coletas e medidas em 2 pontos de controle (PC e PC1).

Tabela 1: Localização dos pontos de amostragem e coleta.

Pontos	Localização	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
P01	Rio Formoso (ponte)	21° 6' 53.58" S	56° 23' 2.99" W
P02	Rio Formosinho	21° 10' 17.66" S	56° 27' 0.93" W
P03	Rio Formoso (balneário)	21° 10' 26.52" S	56° 26' 56.08" W
PC	Rio Formoso (Ilha Bonita)	21° 8' 43.54" S	56° 24' 0.48" W
PC1	Rio Formoso (Ilha Bonita)	21° 8' 42.56" S	56° 23' 58.89" W

Fonte: Autora, 2025.

4.2 MISSÃO DE CAMPO

4.2.1 Medidas e Coletas de Amostras

As medidas dos parâmetros físico-químico das águas em campo e as coletas de amostras foram realizadas a partir de outubro de 2022 até maio de 2025.

Durante as missões de campo foram realizadas as seguintes atividades:

a) Medidas dos parâmetros físico-químicos in situ:

Após a coleta da amostra de água com o auxílio de um em balde de inox os parâmetros físico-químicos, como Condutividade Elétrica (CE), pH (Potencial Hidrogeniônico), Temperatura (T °C) e Turbidez (NTU), foram medidos diretamente em campo utilizando um pHmetro, um condutivímetro da marca HANNA, modelos HI98140, HI 9835 e um turbidímetro, da marca DEL LAB, modelo DLT-WV (Fotos 1 e 2).

b) Coleta de amostra de água para análises de parâmetros ambientais em laboratório.

Durante as etapas de campo, foram coletadas amostras de água dos cursos d'água selecionados utilizando a garrafa de Van Dorh de 2 litros. As amostras foram identificadas, classificadas e acondicionadas em frascos de 250 ml (análise química: análise dos elementos maiores (cátions e ânions), alcalinidade e identificação da matéria orgânica dissolvida) e 500 ml (análise física: quantificação de sólidos suspensos totais (TSS)) e armazenadas em frascos

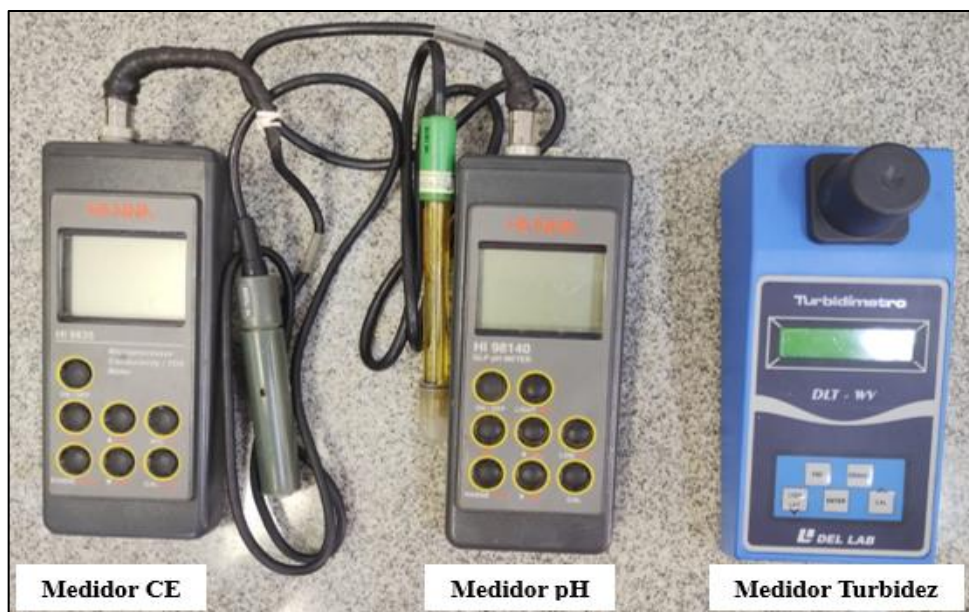
adequados para cada tipo de análise e posteriormente submetidas a um processo de filtração (Fotos 3 e 4).

Foto 1: Medição dos parâmetros in situ no Rio Formoso (P01).



Fonte: Autora, 2025.

Foto 2: Equipamentos utilizados nas medidas dos parâmetros físico-químicos.



Fonte: Autora, 2025.

Foto 3 e 4: Coleta de amostra de água com garrafa de Van Dorn

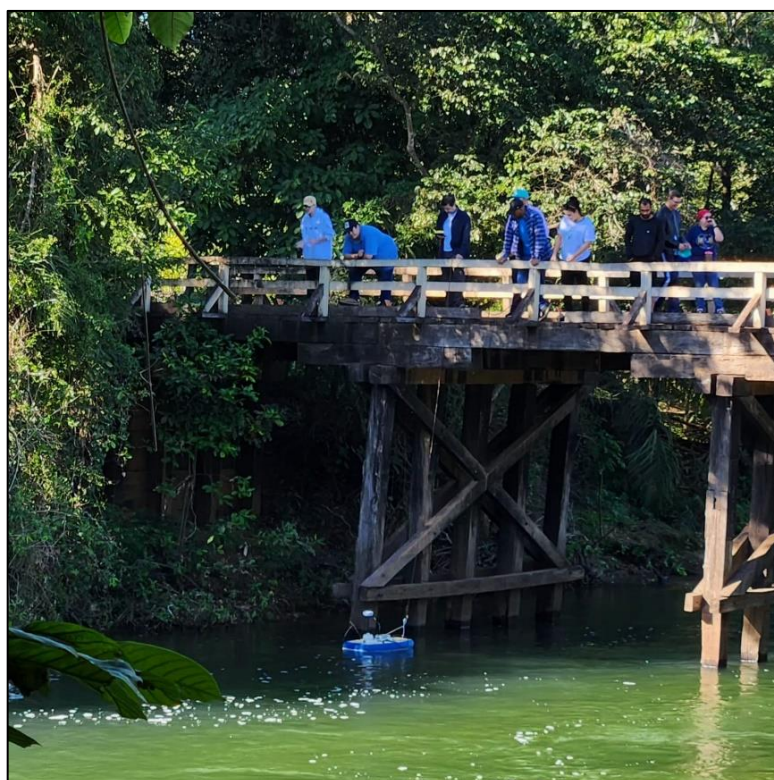


Fonte: Autora, 2025.

c) Medidas de vazão dos rios com ADCP – M9:

As medidas de vazão dos rios foram feitas com um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), modelo M9, marca SONTEK (Foto 5) em outubro de 2022. Este aparelho constitui um sistema acústico projetado para realizar levantamentos batimétricos e medidas de vazão.

Foto 5: Medida de vazão com ADCP no rio Formoso (P01) em 2022.

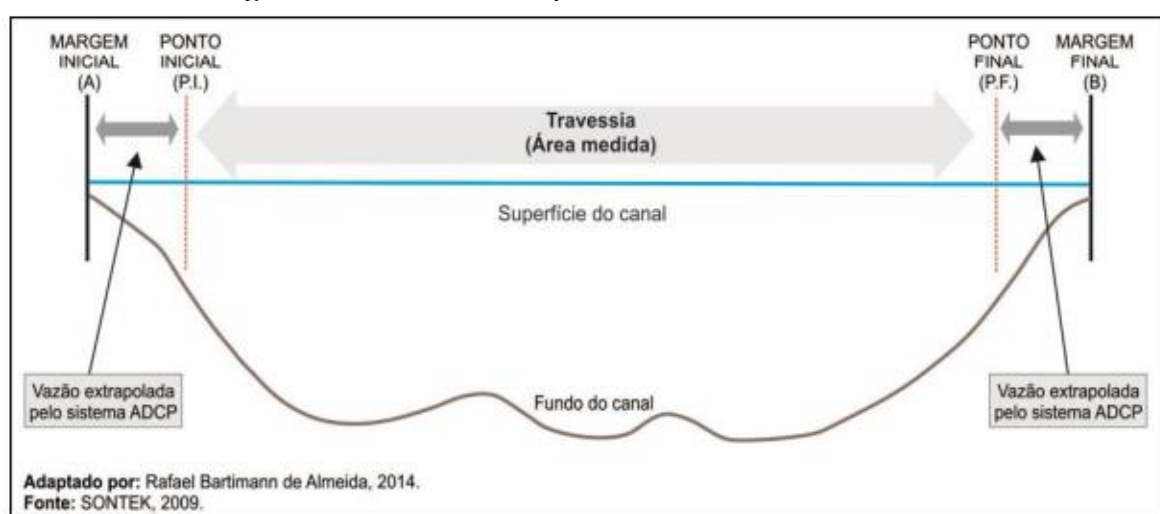


Fonte: Autora, 2025.

O procedimento de medidas de vazão com ADCP deve ser feito no mínimo com quatro travessias regulares, composta sempre de ida e volta, cujo resultado preliminar pode ser observado em tempo real no computador ou no smartphone, durante a travessia.

O perfil do rio e a vazão são determinados pelo sistema ADCP, levando em conta a travessia feita entre os pontos previamente determinados (Figura 11). A vazão entre os pontos e as margens reais serão automaticamente extrapolados pelo sistema do ADCP através de uma técnica conhecida como Extrapolação do Perfil de Velocidade, que permite ainda avaliar e extrapolar as áreas não medidas na superfície e no fundo do rio (ALMEIDA, 2015).

Figura 10: Procedimento para medir vazão com o ADCP.



Fonte: Almeida, 2014.

4.3 ANÁLISES EM LABORATÓRIO

4.3.1 Preparo de amostras: Armazenamento e Filtragem

As amostras de água foram previamente armazenadas em geladeiras no laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS.

Em procedimento de rotina no laboratório H₂O-SOLO as amostras foram filtradas, conforme a sua análise distinta, por meio de um conjunto de equipamentos formado por uma bomba à vácuo elétrico, modelo 121, marca Prismatec, acoplada ao sistema de filtração de polycarbonato, marca Sartorius Stedim Biotech, (Foto 6).

Foto 6: Conjunto de Filtração; Bomba a vácuo e unidade de filtração.



Fonte: Autora, 2025.

Para filtração das amostras para análises químicas foram utilizados com filtros de 0,42 μm de acetato de celulose. Já para a análises de material em suspensão na água foram utilizados filtros fibra de vidro borossilicato com retenção de partículas $< 1 \mu\text{m}$ (Foto 7).

Foto 7: Filtração das amostras em laboratório.



Fonte: Autora, 2025.

4.3.2 Análise Química

As amostras de água destinadas as análises químicas (elementos maiores) previamente filtradas e armazenadas em frascos de 125 ml.

a) Elementos maiores

A análise dos elementos maiores: ânions (F^- , Cl^- , NO_3^- , e SO_4^{2-}) e cátions (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), foram analisados por Cromatografia Iônica modelo 930 Compact IC Flex, Marca METROHM (Foto 8) no Laboratório LP5/INQUI/UFMS.

Foto 8: Cromatografia Iônica – Laboratório LP5 – INQUI/UFMS.



Fonte: Autora, 2025.

b) Alcalinidade

Já análise da alcalinidade do carbonatada (Alcc) das águas refere-se à soma iônica (HCO_3^-) + (CO_3^{2+}). Esse parâmetro será determinado no Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS, por ácida (HCl, 0,1N). Por meio do Titulador Automático modelo HI 901 de marca HANNA Instrument (Foto 9), baseada no método de Gran (1952).

Foto 9: Titulador de Alcalinidade – Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS.



Fonte: Autora, 2025.

O cálculo do ponto de equivalência é calculado pela equação:

$$G = (V_0 + V_i 10^{-pH_i}) \quad (1)$$

Onde:

G = função de Gran

V₀ = volume titulado da solução;

V_i = volume de ácido adicionado; e

pH_i = pH correspondente a V_i.

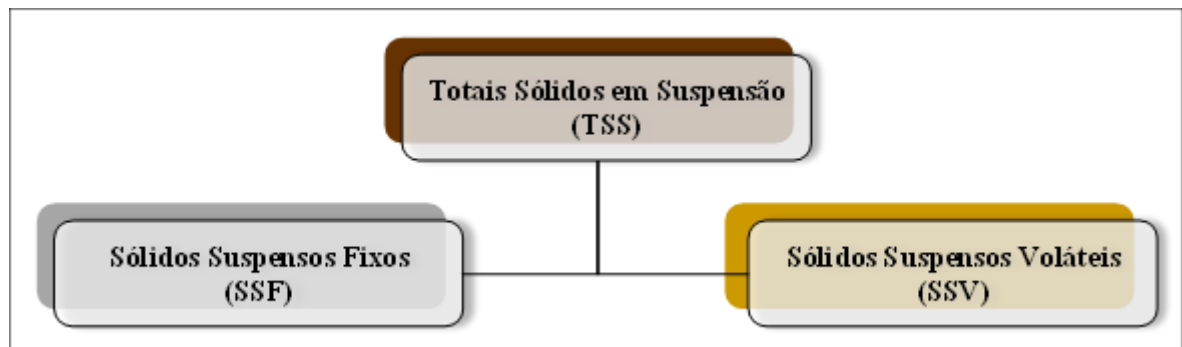
4.3.3 Análise Física – Quantificação de Sólidos Suspensos Totais (TSS)

A quantificação da carga total de material sólidos em suspensão foi realizada a partir das amostras de água armazenadas nos frascos de 500 ml, no Laboratório H₂O-SOLO FAENG/UFMS.

A análises de sólidos em suspensão envolve a retenção do material sólidos em suspensão na amostra de água no filtro, para isto, utilizando um sistema de filtração a vácuo com filtro de fibra de vidro com porosidade < 1 µm.

Para a determinação dos sólidos suspensos totais e diferenciação dos sólidos suspensos fixos e dos sólidos suspensos voláteis adotou o método gravimétrico (APHA, 2005), conforme o fluxograma (Figura 11).

Figura 11: Fluxograma dos sólidos suspensos totais (fixos e voláteis).



Fonte: Autora, 2025.

Para a quantificação da carga sólidos suspensos totais adotou os seguintes procedimentos:

1. Antes do início da filtragem colocou o filtro umedecido para calcinar em mufla a 550°C por 15 minutos;
2. Após a calcinação o filtro foi retirado da mufla e colocado no dissecador para o seu resfriamento;

3. Em seguida o filtro foi pesado em balança analítica 4 casas decimais para obter o peso da massa do filtro (P1F);
4. Após a filtração da amostra, o filtro foi para estufa para retirar toda umidade a 105° C por um período de 2 horas; e
5. Colocando novamente no dessecador para o seu resfriamento;
6. O filtro novamente pesado para termos o peso da massa do filtro mais os totais sólidos em suspensão (P2FTSS).
7. Após a pesagem do filtro com totais sólidos em suspensão o filtro foi levado para novamente para mufla para calcinar a 550°C por 15 minutos;
8. Após a calcinação o filtro foi retirado da mufla e colocado no dessecador para o seu resfriamento;
9. Em seguida o filtro foi pesado em balança analítica 4 casas decimais para obter o peso da massa do filtro (P3FSSF);

Para calcular os totais sólidos em suspensão (TSS), os sólidos suspensos fixos (SSF) partículas inorgânicas e os sólidos suspensos voláteis (SSV) partículas orgânicas foram utilizadas as seguintes equações:

$$TSS = (P2FTSS - P1F) / V \times 1000 \text{ (mg/L - 1)} \quad (2)$$

$$SSF = (P3F_{ssv} \times 100) / P2FTSS \text{ (\%)} \quad (3)$$

$$SSV = 100 - SSF \text{ (\%)} \quad (4)$$

Onde:

TSS = carga total de sólidos em suspensão;

SSF = sólidos em suspensão fixos;

SSV = sólidos em suspensão voláteis;

P1F = Peso Inicial do Filtro;

P2FTSS = Peso Final do Filtro com materiais sólidos retidos;

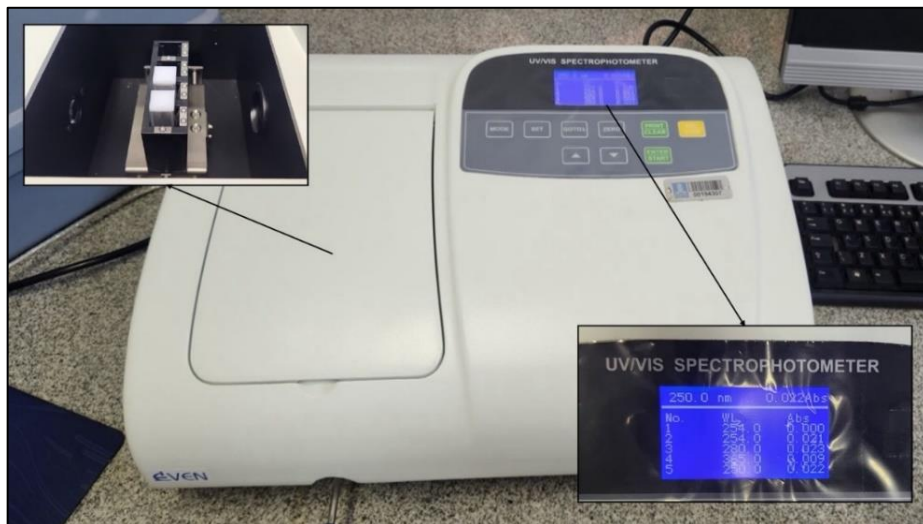
P3FSSF = Peso Final do Filtro calcinado;

V: Volume da Amostra Filtrada;

4.3.4 Análise Física – Determinação a Concentração de Matéria Orgânica Dissolvida (MOD)

Para identificar compostos orgânicos nas amostras de água foi utilizado o método de análise UV-Vis (Ultravioleta-Visível) de matéria orgânica (Foto 10).

Foto 10: Spectrophotometer UV/VIS Laboratório H2O-SOLO/FAENG/UFMS.



Fonte: Autora, 2025.

Essa análise determina a concentração de matéria orgânica dissolvida em amostras de água, avalia a presença de compostos aromáticos e insaturados, comuns em substâncias húmicas e fúlvicas. No estudo em questão, o objetivo foi identificar fontes de poluição orgânica (agrícola vs. natural).

Para calcular a razão E2/E3, deve-se medir a absorbância (A) da amostra em 254 nm (A254) e 365 nm (A365) usando o espectrofotômetro UV-Vis. Foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Preparação da Amostra:
 - a) Filtragem da amostra (filtro 0,45 μm) para remover partículas que interferem na leitura.
 - b) Diluição da amostra (se necessário) para garantir que a absorbância esteja na faixa linear do equipamento (ideal: $A < 0,8$).
2. Medição da Absorbância - Ajuste do espectrofotômetro para os comprimentos de onda:
 - a) 254 nm (A254) $\rightarrow$ Detecta compostos orgânicos simples (ligações C=C, C=O).
 - b) 365 nm (A365) $\rightarrow$ Sensível a estruturas complexas (ácidos húmicos, compostos aromáticos condensados).
3. Inserção da amostra na cubeta de quartzo (caminho óptico de 1 cm).

4. Registro dos valores de absorvância para A254 e A365.

Aplicou-se o seguinte cálculo para obter a razão de absorvâncias:

$$E2/E3 = A254 / A365 \quad (5)$$

Onde:

E2/E3 = razão de absorvâncias

E2 = Absorvância a 254 nm (A250)

E3 = Absorvância a 365 nm (A365)

Para interpretação da razão E2/E3 (A250/A365) para inferir característica da matéria orgânica dissolvida (MOD), com peso molecular, grau de humificação e origem baseada no quadro de referência (Quadro 6) adaptado de Helms et al. (2008).

Quadro 6: Quadro de Referência Simplificado: Razão E2/E3 e Tipo de MOD.

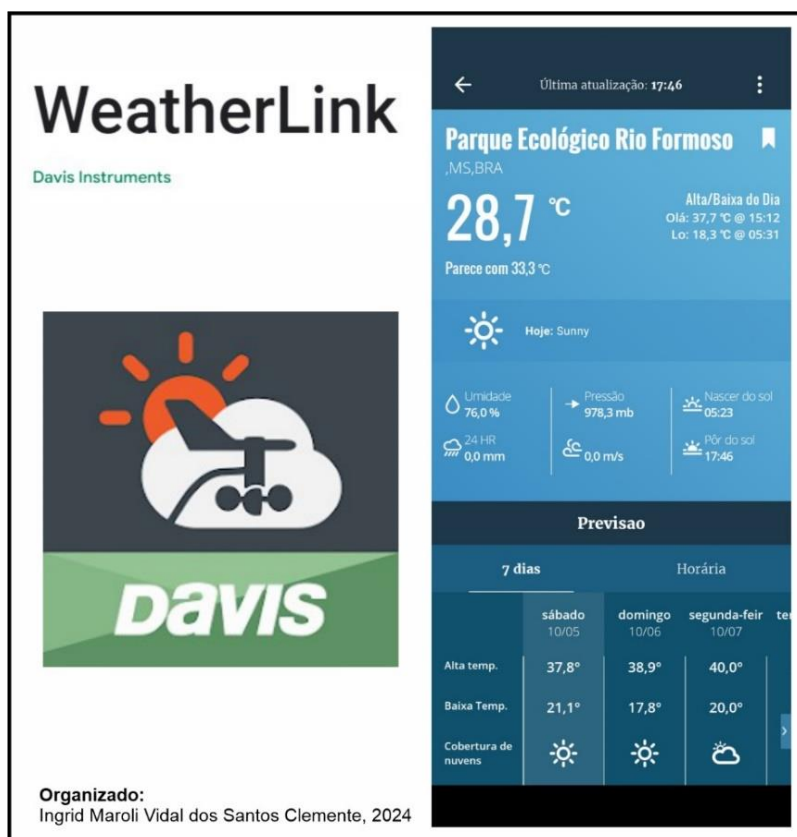
Valor de E2/E3	Tipo de Matéria Orgânica Dissolvida (MOD)
< 3,5	MOD humificada (alto peso molecular, substâncias húmicas complexas).
3,5 – 5,0	MOD mista (combinação de material fresco e humificado).
> 5,0	MOD fresca (baixo peso molecular, como compostos derivados de decomposição recente de plantas ou resíduos agrícolas).

Fonte: Adaptado pela Autora, 2025.

4.4 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A série histórica das chuvas foram obtidas a partir de 2022 por meio do aplicativo WeatherLink (Figura 12), que disponibiliza gratuitamente dados da estação pluviométrica, a estação consultada foi a do Parque Ecológico Rio Formoso, por estar mais próxima da área de estudo.

Figura 12: App com acesso a Estação Meteorológica do Parque Ecológico do rio Formoso.



Fonte: Autora, 2025.

4.5 TRATAMENTOS DOS DADOS

4.5.1 Determinação de HCO_3^- , CO_3^{2-}

O cálculo das concentrações de HCO_3^- (bicarbonato) e CO_3^{2-} (carbonato) foi feito a partir dos dados de alcalinidade total, obtida por titulação ácido-base, e do valor de pH das amostras de água. Com esses dados, aplicaram-se as equações de equilíbrio químico do sistema carbonato-bicarbonato, considerando as constantes de dissociação e o pH da amostra, para separar e quantificar as frações de HCO_3^- e CO_3^{2-} presentes na água.

O cálculo foi feito a partir das fórmulas:

$$[\text{HCO}_3^-] = A \cdot \frac{1}{1 + 10^{(\text{pH} - \text{pK}_2)} + 10^{(\text{pK}_1 - \text{pH})}} \quad (6)$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = A \cdot \frac{10^{(\text{pH} - \text{pK}_2)}}{1 + 10^{(\text{pH} - \text{pK}_2)} + 10^{(\text{pK}_1 - \text{pH})}} \quad (7)$$

Onde:

- A: alcalinidade total (mg/L como CaCO_3);
- $\text{pK}_1 = 6,35$ e $\text{pK}_2 = 10,33$ (constantes de dissociação do ácido carbônico a 25°C).

4.5.2 Assinatura química da água - Diagrama de Piper

A assinatura química da água por meio do Diagrama de Piper é realizada a partir da análise das concentrações dos principais íons dissolvidos na amostra de água. O procedimento pode ser resumido nos seguintes passos:

1. Análise Laboratorial: Primeiramente, realiza-se a análise físico-química da água para determinar as concentrações dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , entre outros);
2. Conversão para Percentual em Miliequivalentes por Litro (meq/L): Os valores das concentrações dos íons são convertidos para miliequivalentes por litro e expressos em porcentagem do total de cátions e ânions;
3. Plotagem no Diagrama de Piper:

a) O diagrama é composto por dois triângulos (um para cátions e outro para ânions) e um losango central.

b) Cada amostra é representada por um ponto nos triângulos, de acordo com a porcentagem relativa de cada íon.

c) Os pontos dos triângulos são então projetados para o losango central, onde se visualiza a classificação hidroquímica da água, permitindo identificar o tipo dominante (por exemplo, águas bicarbonatadas cálcicas, sulfatadas sódicas etc.)

4. Interpretação: A posição da amostra no diagrama permite identificar a assinatura química da água, ou seja, seu tipo hidroquímico dominante, o que auxilia na avaliação de processos naturais e possíveis contaminações.

4.5.3 Cálculo da Saturação da Água (Fenômeno Whiting)

Para determinar o Índice de Saturação de Langelier (LSI), foi utilizado o seguinte cálculo:

$$\text{LSI} = \text{pH}_{\text{medido}} - \text{pH}_s \quad (8)$$

Onde:

- a) $\text{pH}_{\text{medido}}$: pH real da amostra de água.
- b) pH_s : pH de saturação, que é o pH teórico no qual a água estaria em equilíbrio com o CaCO_3 , ou seja, nem precipitaria nem dissolveria carbonato de cálcio.

Interpretação do LSI:

- a) $\text{LSI} > 0$: Água supersaturada — tendência à precipitação de CaCO_3 (incrustação, whiting).

- b)** $LSI = 0$: Água em equilíbrio — nem precipita nem dissolve $CaCO_3$.
- c)** $LSI < 0$: Água subsaturada — tendência à dissolução de $CaCO_3$ (corrosiva).

CAPÍTULO IV



RESULTADOS E DISCUSSÕES

5. RESULTADOS

Os resultados foram apresentados em 3 etapas para delinear as discussões:

- (1) a Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso;
- (2) a mudança do uso e ocupação do solo 2013 e 2022; e
- (3) a dinâmica hídrica 2013 a 2025.

5.1 A SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO

A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF) abrange uma área aproximada de 1.475,36 km² e é caracterizada por um sistema hidrológico singular, formado por rios superficiais e subterrâneos, sumidouros e ressurgências, todos fortemente influenciados pela presença de rochas calcárias e dolomíticas típicas de regiões cársticas. É composta principalmente pelas microbacias dos rios Formoso e Formosinho, que desempenham papel central na dinâmica hídrica local, além de contar secundariamente com a contribuição dos córregos São João e Mateus e/ou Rio Bonito.

O rio Formoso, com cerca de 97,00 km de extensão, nasce na Serra da Bodoquena e recebe as águas do Formosinho, além de outros afluentes menores, formando um sistema de drenagem que sustenta a maior parte dos atrativos turísticos da região. A rede hidrográfica da sub-bacia é complementada por esses afluentes, que contribuem para a manutenção da biodiversidade aquática e para a recarga dos aquíferos subterrâneos, essenciais para a transparência e qualidade das águas que tornaram Bonito - MS um dos principais destinos de ecoturismo do Brasil.

Considerando a dinâmica das águas da SBHRF foi arbitrado 3 pontos de amostragem o ponto (P01) correspondendo quase a totalidade da área da bacia, enquanto ponto (P02) abrange a área de influência do rio Formosinho, já o ponto (P03) a área de influência do rio Formoso e o banhado (Tabela 2 e Figura 13).

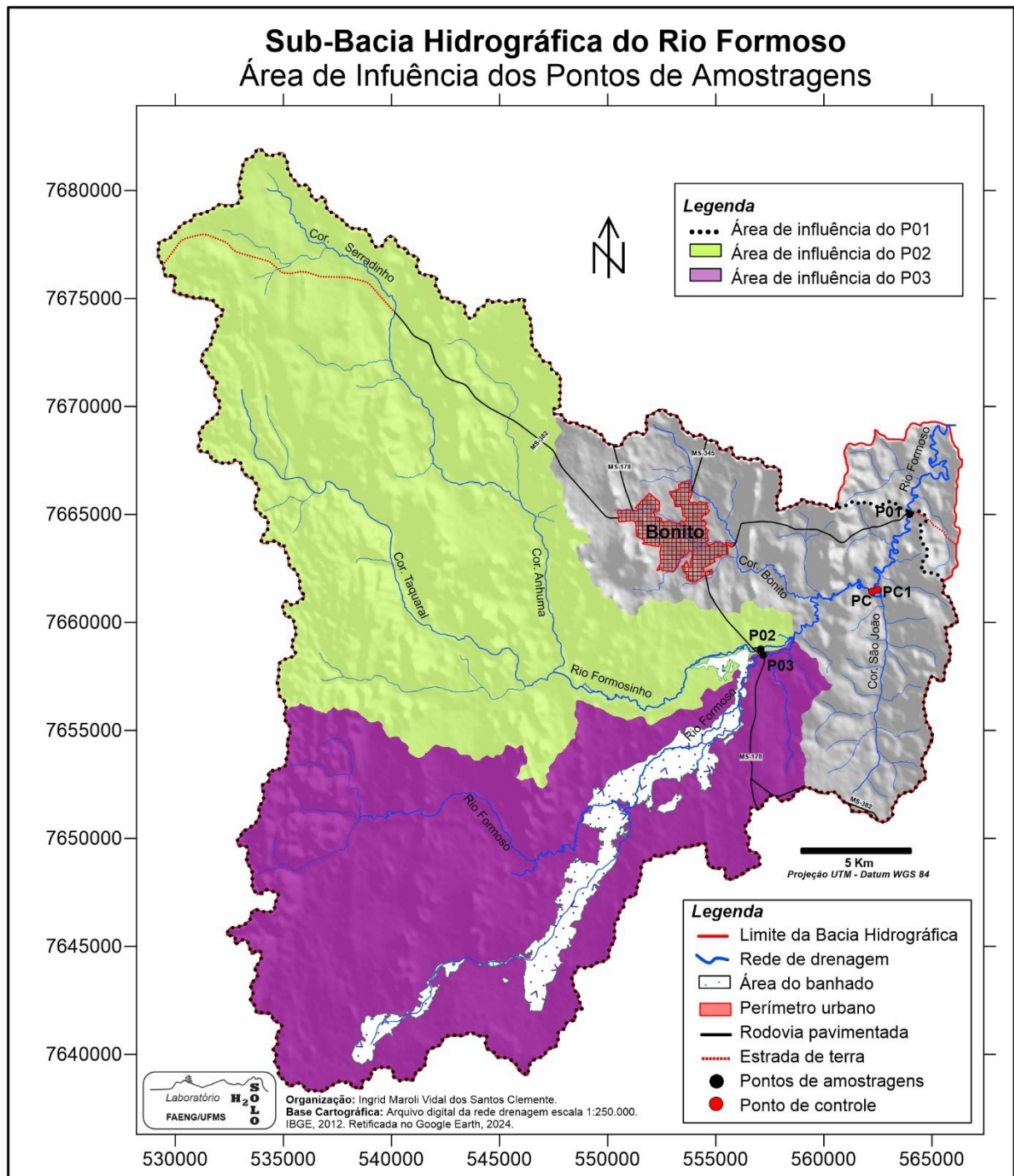
Tabela 2: Área de influência de cada Ponto de Amostragem em relação a área da SBHRF.

Ponto	Identificação	Perímetro	Área	Área Influência
		Km	Km ²	(%)
P01	Rio Formoso (ponte)	179,16	853,79	97,4
P02	Rio Formosinho	121,23	383,75	43,8
P03	Rio Formoso (balneário)	111,91	306,26	35,0
----	Bacia Hidrográfica do Rio Formoso	187,11	876,38	100

Fonte: Autora, 2025.

As de influências do P02 rio Formosinho com 43% da área da sub-bacia e seguida pela área do ponto P03 rio Formoso (balneário) 35% e de área de influência e ponto P01 rio Formoso (ponte) com 97,4% da área da sub-bacia, e 18,6% representam toda a mistura das águas provenientes do escoamento da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.

Figura 13: Mapa das áreas de influência de cada Ponto de amostragem (SBHRF).



Fonte: Autora, 2025.

5.1.2 Percurso das águas e suas misturas

Além da contribuição de cada área de influência de cada ponto amostrado também foi contabilizado o percurso dessa água até sua confluência com o Rio Formoso e por fim até o ponto final (P01) da bacia amostrado. Assim avaliando o comportamento da mistura das águas (Tabela 3).

Tabela 3: Distância de Percurso da entre os pontos de amostragens.

Ponto	Identificação	Percurso das águas após o Ponto de Amostragem				Total
		Km	Confluência	Ponto	Km	
P02	Rio Formosinho	2,27	Rio Formoso	→ P01	16,95	19,22
P03	Rio Formoso (balneário)	2,56	Rio Formosinho	→ P01	16,95	19,51

Fonte: Autora, 2025.

A distância entre o ponto (P02) a sua confluência como rio formoso é de 2,27 km e a distância do (P03) até a confluências com rio Formosinho e 2,56 km, assim os percursos das águas entre os pontos (P02 e P03) até o ponto P01 tem distâncias próximas entre 19,22 e 20,19 km de percurso.

5.2 AS MODIFICAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO FORMOSO (2013 A 2022)

A partir dos dados adquiridos da plataforma do MapBiomas foi possível quantificar e observar a evolução das classes classificadas no período de 2013 a 2022 (Tabela 4).

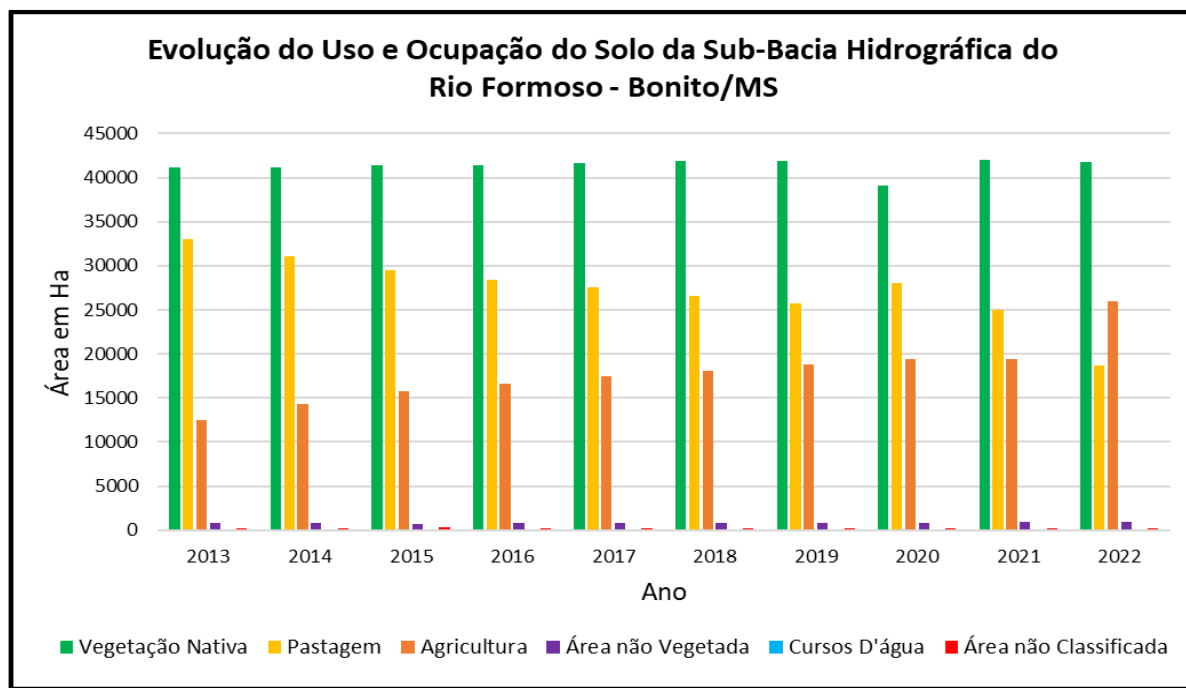
Tabela 4: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da SBHRF - Bonito/MS 2013 a 2022.

ANO	Vegetação	Pastagem	Agricultura	Área Não Vegetada	Cursos d'água	Área Não Classificada
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
2013	41129.7	32969.5	12475.8	780,9	41,3	237,8
2014	41197.3	31100.2	14269.9	788,3	41,5	237,8
2015	41368.3	29432.5	15758.8	750,3	40,1	285,0
2016	41435.0	28431.0	16664.1	823,4	43,8	237,7
2017	41589.3	27499.3	17430.2	827,0	44,9	244,3
2018	41859.3	26530.7	18111.9	831,3	56,8	245,0
2019	41934.1	25749.8	18796.4	855,2	53,6	245,9
2020	39086.4	28045.8	19413.3	810,8	33,4	245,3
2021	42003.7	24993.8	19446.8	888,7	46,1	255,9
2022	41791.5	18630.9	26011.7	908,2	47,8	244,9

Fonte: MapBiomas, 2025.

Visualmente os dados (Gráfico 1) evidencia as classes identificadas na classificação supervisionada nas imagens de satélites pelo MapBiomass.

Gráfico 1: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso - Bonito/MS 2013 a 2022.



Fonte: MapBiomass, 2025.

A classe da vegetação nativa, por exemplo, se manteve nos mesmos patamares no período analisados sem muita oscilação, já as áreas de pastagens tiveram uma diminuição gradual sofrendo a maior perda área no ano de 2022. Enquanto as áreas ocupadas pela agricultura tiveram um aumento gradual ao longo do período e ultrapassando as áreas de pastagem no ano de 2022.

Outro fato que chama atenção são os dados do ano de 2020, em particular, neste ano a apresenta redução da vegetação nativa em contrapartida um aumento das áreas de pastagem e seguido por um pequeno aumento das áreas ocupada pela agricultura, e uma grande redução na área dos corpos d'água (Tabela 5).

Tabela 5: Evolução do Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso - Bonito/MS 2013 a 2022.

Classe	2019 (ha)	Variação 2019–2020	2020 (ha)	Variação 2020–2021	2021 (ha)
Vegetação Nativa	41.934,1	-6,8%	39.086,4	+7,5%	42.003,7
Pastagem	25.749,8	+8,9%	28.045,8	-10,9%	24.993,8
Cursos D'Água	53,6	-37,7%	33,4	+38,0%	46,1

Fonte: Autora, 2025.

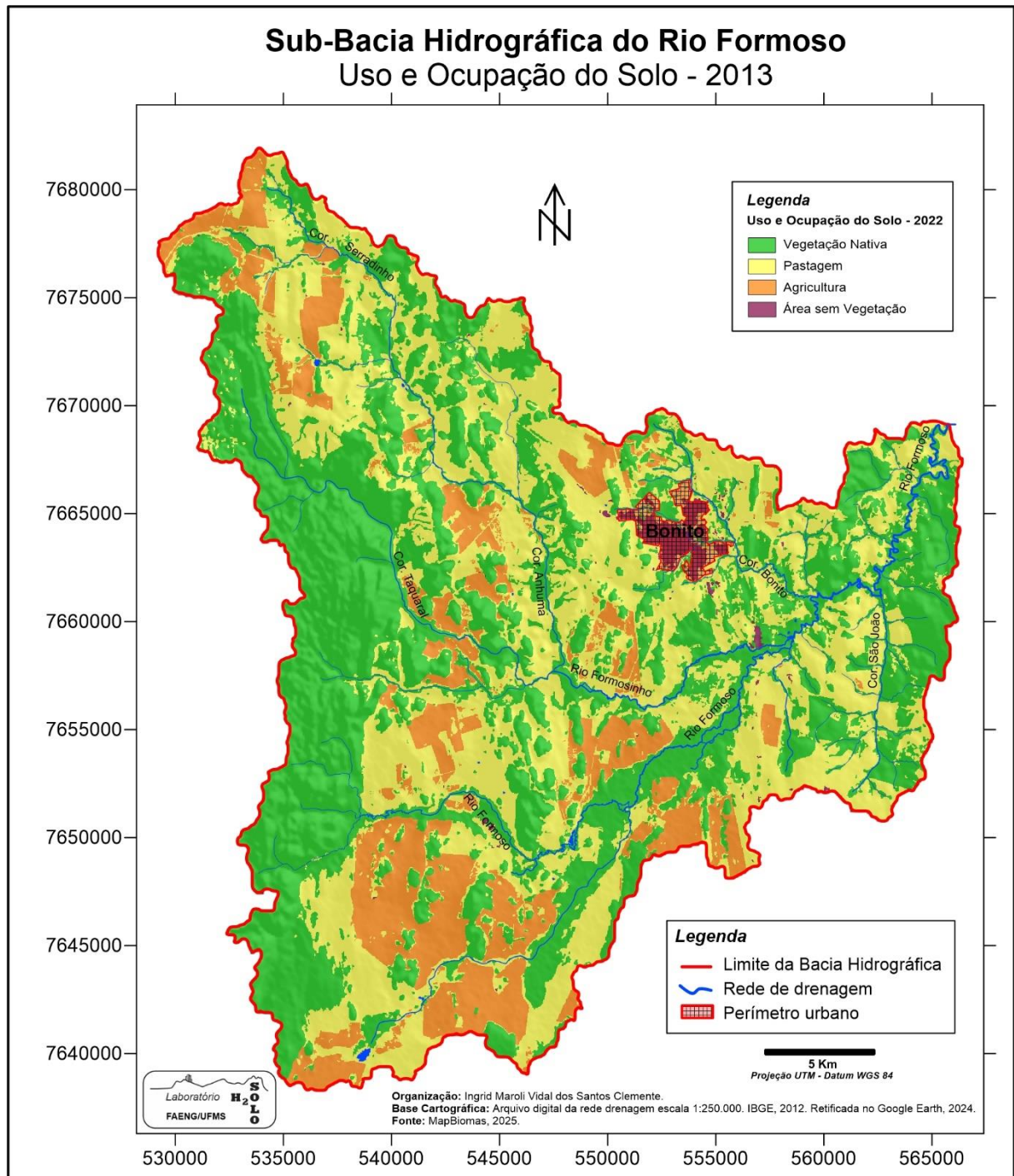
Os dados demonstram que a perda de 6,8% da classe de vegetação nativa em 2020 em relação a 2019 pode estar ligada ao comportamento climático regional, pois da mesma forma comportou a classe dos cursos d'água com perda acentuada de 37,7%, assim de forma oposta a pastagem tem um ganho de área de 8,9%.

Já no ano de 2021 comparado ao de 2020 a relação é oposta com índices próximos que reforça que dados de 2020 teve uma forte influência climática na classificação e quantificação das áreas das classes, principalmente nas classes vegetação nativa com a de pastagem.

5.2.1 O avanço da Agricultura na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (2013–2022)

Em 2013 a pastagem ocupava cerca de 62,2 % da área ocupada pelo uso do solo da SBHRF enquanto a agricultura com 37,8% da mesma área (Figura 14).

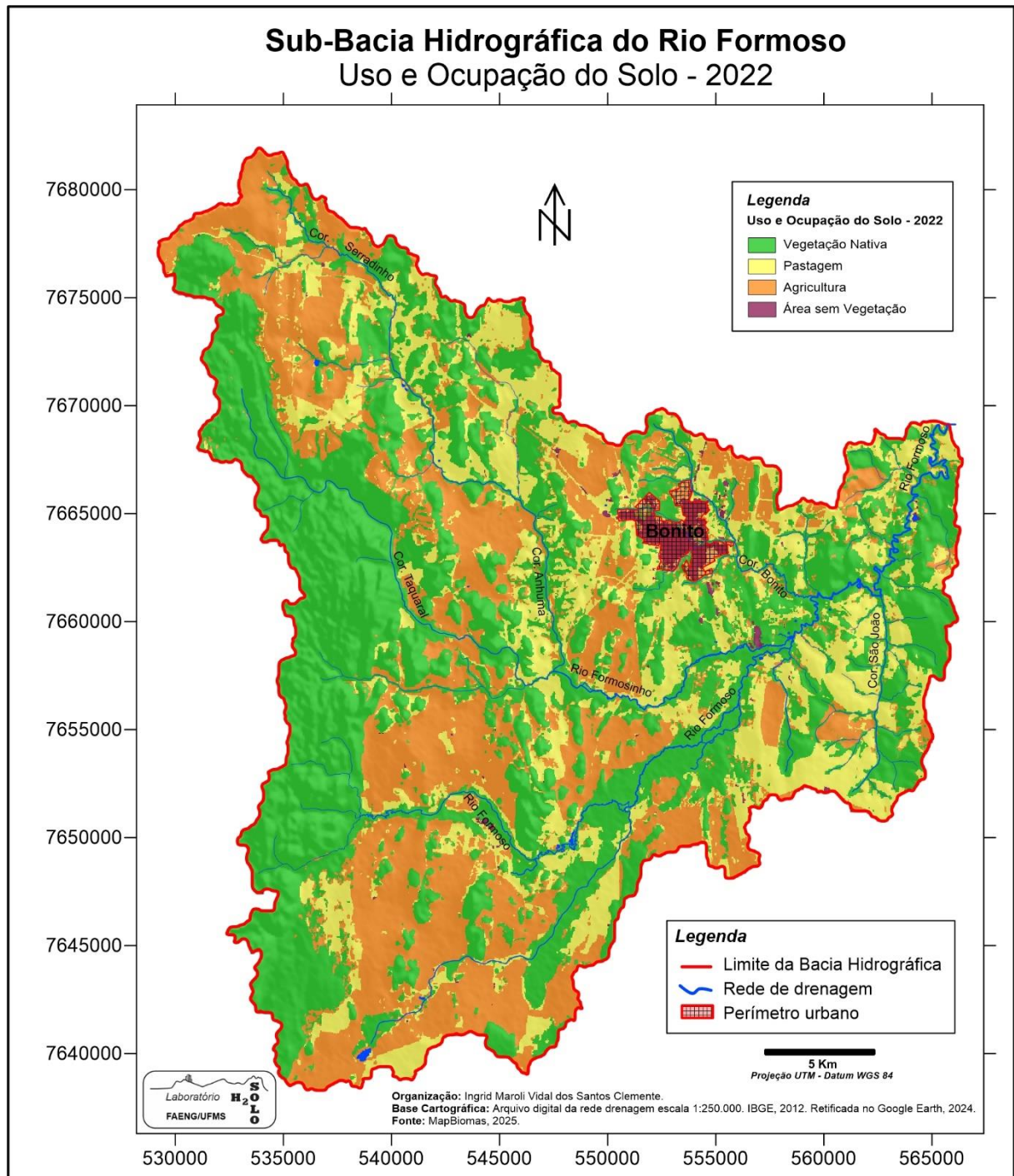
Figura 14: Mapa do uso e ocupação do solo na SBHRF - 2013.



Fonte: Autora, 2025.

Já em 2022 houve um avanço da agricultura de 108,6% sobretudo nas áreas ocupadas pela pastagem já consolidadas em 2022 (Figura 15).

Figura 15: Mapa do uso e ocupação do solo na SBHRF - 2022.



Fonte: Autora, 2025.

Dessa forma, a Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso passou por mudanças significativas no uso e ocupação do solo entre 2013 e 2022, (Tabela 6).

Tabela 6: Dados das classes da classificada supervisionada (2013-2022) pelo MapBiomias.

Classes	2013 (ha)	2022 (ha)	Variação (ha)	Variação (%)
Vegetação Nativa	41.129,7	41.791,5	+661,8	+1,6%
Pastagem	32.969,5	18.630,9	-14.338,6	-43,5%
Agricultura	12.475,8	26.011,7	+13.535,9	+108,6%
Áreas Sem Vegetação	780,9	908,2	+127,3	+16,3%
Corpos d'Água	41,3	47,8	+6,5	+15,7%

Fonte: MapBiomias, 2025.

Os dados demonstram que no intervalo de 10 anos houve um aumento da área de agricultura com incremento de 13.535,9 ha das áreas plantadas, e ao mesmo tempo a pastagem sofreu uma grande redução de área a 14.338,9 ha. Enquanto a vegetação nativa manteve estável com um incremento de 1,6% que pode estar ligada a regeneração natural em áreas abandonadas e/ou Erros de classificação em imagens de satélite (ex.: pasto sujo vs. vegetação secundária).

5.2.3 O Comportamento Hidrológico da Sub-Bacia do Rio Formoso (2013 - 2022)

Com avanço da agricultura sobretudo sobre a área de pastagem foram desgastados dados do ponto (P01) ponto final, ou seja, próximo a confluência do rio Formoso com o rio mimoso que delimita esta área de estudo, também estudado por Almeida, 2015.

5.2.3.1 Dados Vazão (2013 – 2022)

Foram resgatados da dissertação de Almeida, 2015 medidas de vazão, ponto R3 do rio formoso, utilizando o ADCP-M9, esse ponto corresponde ao ponto (P01) desta pesquisa (Tabela 7).

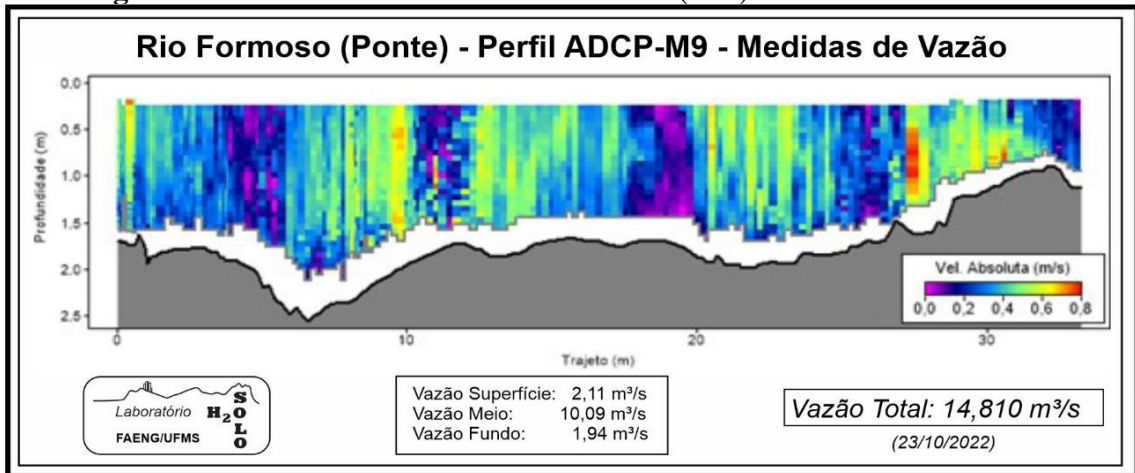
Tabela 7: Medidas de vazão com ADCP-M9 do rio Formoso (Almeida, 2015).

Ponto	Identificação	Data	Vazão (m³/s)
R3	Rio Formoso (ponte) P01	20/07/2013	14,549

Fonte: Almeida, 2015.

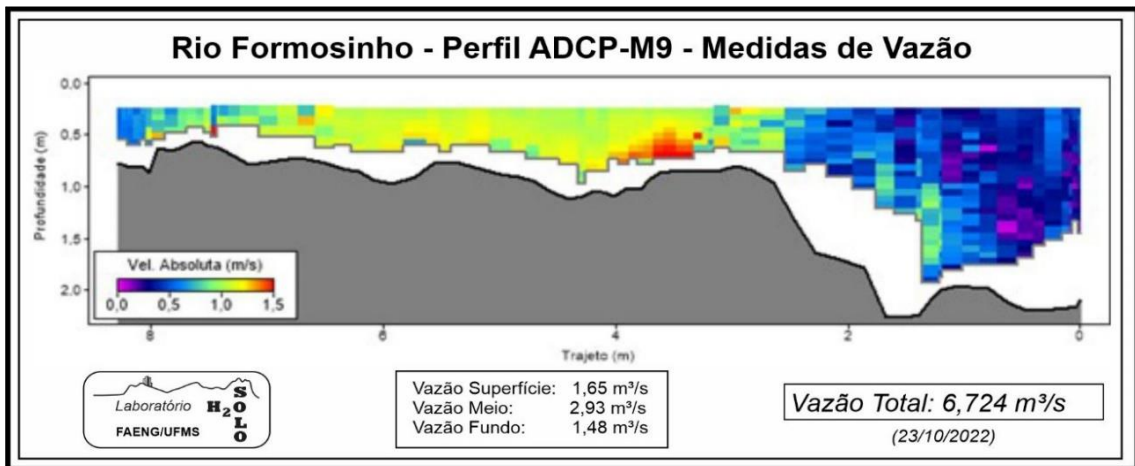
Da mesma forma foram resgatados do banco de dados do laboratório H₂O-SOLO medidas de vazão dos pontos P01, P02 e P03, que faz parte deste estudo, obtidos durante a missão de campo de 23/10/2022 na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (Figuras 16, 17 e 18).

Figura 16: Medida de vazão do Rio Formoso (P01) com uso do ADCP-M9.



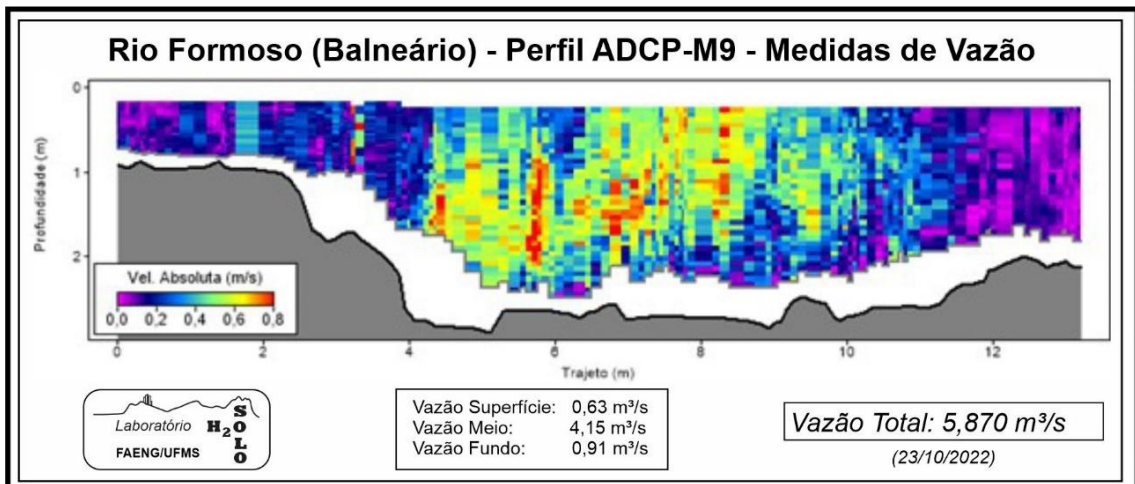
Fonte: Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS, 2022.

Figura 17: Medida de vazão do Rio Formosinho (P02) com uso do ADCP-M9.



Fonte: Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS, 2022.

Figura 18: Medida de vazão do Rio Formoso (P03) com uso do ADCP-M9.



Fonte: Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS, 2022.

O dado de vazão (R3) de Almeida, 2015, demonstrou que a medida foi feita em período após chuvas (20/07/2013) que corrobora com a medida no mesmo ponto (P01) de 23/10/2022 após evento de chuvas de acumulados de chuvas de 78,54 mm nos 5 dias que antecederam a medida.

5.2.3.2 O Comportamento da Turbidez da Água em 2022

Considerando a turbidez da água o parâmetro físico-químico de grande relevância no estudo, os dados de turbidez medido em *in situ* durante a missão de campo em 23/10/2022 ao longo da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso em cada ponto de amostragem (Tabela 8).

Tabela 8: Valor da turbidez da água (P01, P02 e P03).

Data	Ponto	Localização	Turbidez
			(NTU)
23/10/2022	P01	Rio Formoso (ponte)	17,4
23/10/2022	P02	Rio Formosinho	8,76
23/10/2022	P03	Rio Formoso (balneário)	1,41

Fonte: Lab. H₂O-SOLO, 2022.

Os dados de turbidez nas amostragens de 23/10/2022 os apresentaram valores elevados de turbidez. Esses valores têm relação direta entre a transparência da água e carga de sólidos suspensos totais na água refletindo nos valores de Turbidez (Figuras 19).

Figura 19: Relação do valor da turbidez com o de turvamento da água (P01, P02 e P03).



Fonte: Autora, 2025.

Desta forma, o grau de turvamento das águas da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso tem uma forte relação com os índices de chuvas na região.

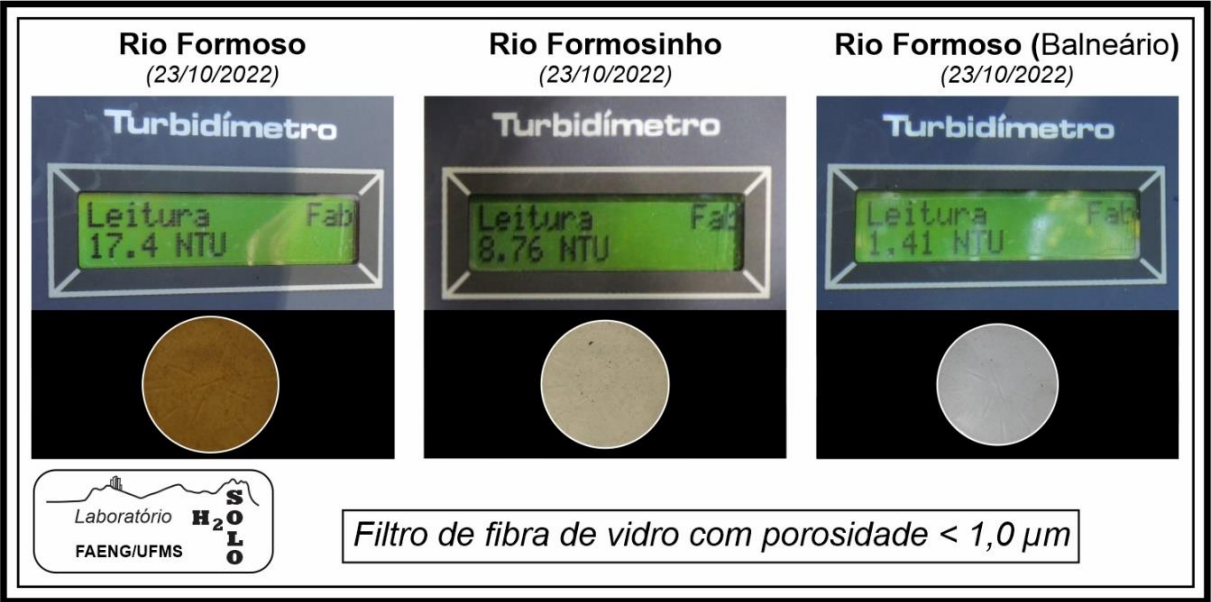
5.2.4 Dados das Análises em Laboratório

5.2.4.1 Análises dos Sólidos Suspensos Totais (TSS) - 2022

Os resultados dos sólidos suspensão totais (TSS) foram realizados a partir das amostras coletadas na missão de campo de 23/10/2022, nos pontos de maior vazão dos rios da Sub-Bacia

Hidrográfica do Rio Formoso, após evento de chuva e com valores elevados de turbidez (Figura 20).

Figura 20: Relação dos valores de turbidez e dos sólidos suspensos totais retidos no filtro.



Fonte: Autora, 2025.

Os resultados da análise física dos sólidos suspensos totais da amostragem da missão de campo de 23/10/2022, após evento de chuvas com 78,54 mm acumulados nos 5 dias que antecederam a coleta das amostras, foi determinado a sua quantificação em laboratório pelo método gravimétrico (Tabela 9).

Tabela 9: Resultados da quantificação dos sólidos suspensos totais (TSS) na água.

Amostragens - 23/10/2022			
Data	Ponto	Identificação	TSS (mg/L ⁻¹)
23/10/2022	P01	Rio Formoso (ponte)	21
23/10/2022	P02	Rio Formosinho	6
23/10/2022	P03	Rio Formoso (balneário)	9

Fonte: Laboratório H₂O-SOLO/FAENG/UFMS, 2022.

Almeida (2015) também analisou sólidos suspensos totais (TSS) na água do rio Formoso, na mesma localização do ponto P01 desta pesquisa (Tabela 10).

Tabela 10: Resultados da quantificação do material sólidos em suspensão (TSS) na água.

Amostragens – 2013 por Almeida, 2015			
Data	Ponto	Identificação	TSS (mg/L ⁻¹)
20/07/2013	R3	Rio Formoso (ponte) P01	21

Organização: Autora, 2024. **Fonte:** Almeida, 2015.

O resultado apresentado por Almeida (2015) corrobora com os dados analisados em 2022, e ainda demonstram uma forte correlação entre a quantidade de sólidos suspensos totais quantificado nas amostras e sua relação direta com a eventos de chuvas.

Dessa forma foram tabulados uma síntese dos dados de vazão, turbidez e sólidos suspensos totais da amostragem de 2022 (Figura 11).

Tabela 11: Síntese dos resultados de vazão, turbidez e TSS sólidos suspensos totais.

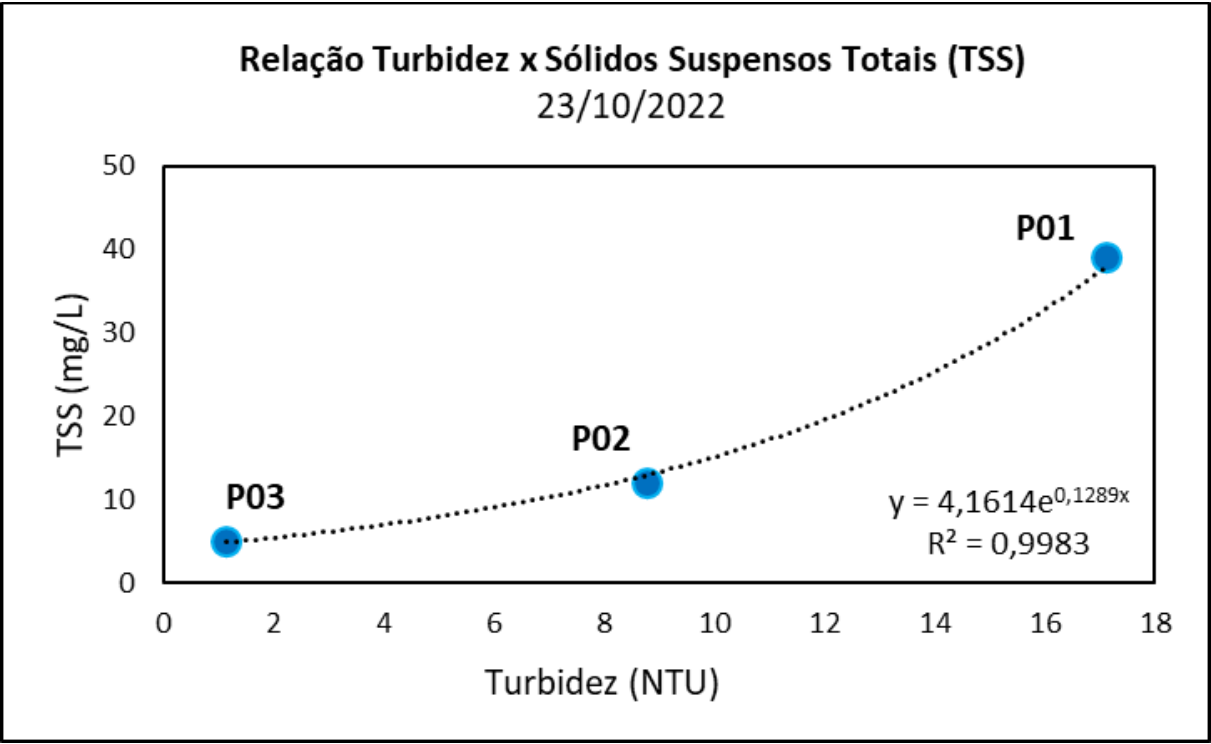
Amostragens - 23/10/2022				
Ponto	Identificação	Vazão (m³/s)	Turbidez (NTU)	TSS (mg/L ⁻¹)
P01	Rio Formoso (ponte)	14.810	17,1	39
P02	Rio Formosinho	6.724	8,76	12
P03	Rio Formoso (balneário)	5.870	1,14	5

Fonte: Autora, 2025.

Os dados demonstram que o aumento da vazão está diretamente correlacionado com o aumento do valor de turbidez e consequentemente o aumento da quantidade de sólidos suspensos totais transportado pela água.

Outro aspecto a ser considerado é a relação dos valores de turbidez e a quantidade de sólidos suspensos totais (Gráfico 2).

Gráfico 2: Relação entre turbidez e sólidos suspensos totais na água.



Fonte: Autora, 2025.

No gráfico o coeficiente de correlação é forte com um valor de 0,9965, indicando claramente que existe uma relação entre a turbidez e os valores de sólidos suspensos totais na água dos rios da bacia hidrográfica do rio Formoso.

Já os resultados de Almeida (2015), não traz o valor de turbidez apenas com dados de vazão e quantificação de sólidos suspensos totais (Tabela 13).

Tabela 12: Síntese dos resultados de vazão, sólidos suspensos totais 2013.

Amostragens – 2013 por Almeida, 2015					
Data	Ponto	Identificação	Vazão	*Turbidez	TSS
			(m ³ /s)	(NTU)	(mg/L ⁻¹)
20/07/2013	R3	Rio Formoso (ponte) P01	14.549	---	21

Organização: Autora, 2025.

O dado de vazão de Almeida (2015) indicou que a amostragem de 20/07/2013 foi medida durante ou mesmo após eventos de chuvas. Esse fato é fortemente corroborado com os dados de sólidos suspensos totais identificado na amostra de água.

Assim utilizando a curva de correlação entre turbidez e sólidos suspensos totais 2022 (Gráfico 2) pode-se inferir o valor de turbidez ao dado (Tabela 13) de Almeida (2015) conforme os resultados (Tabela 13 e Gráfico 3).

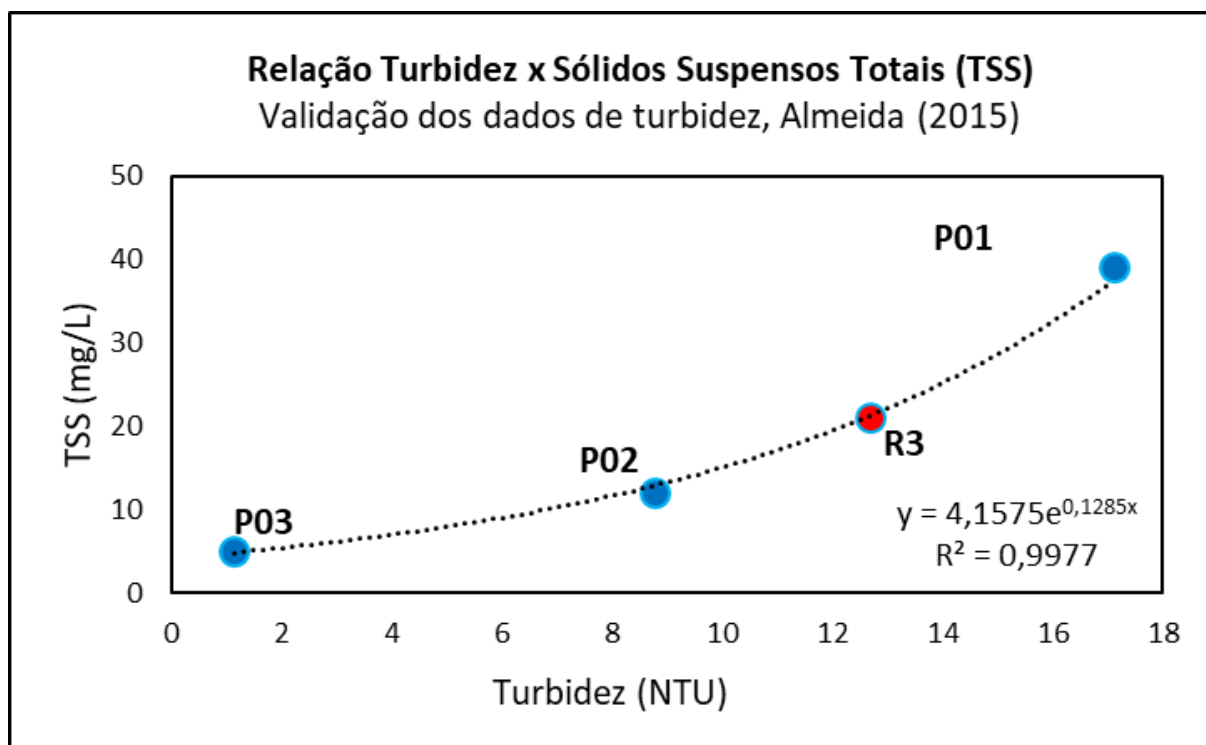
Tabela 13: Resultados de turbidez da água a partir dos dados de materiais sólidos em suspensão de Almeida (2015) calculado pela curva de calibração.

Amostragens – 2013 por Almeida, 2015				
Data	Ponto	Identificação	*Turbidez	TSS
			NTU	Mg/L ⁻¹
20/07/2013	R3	Rio Formoso (ponte) P01	12,7	21

* Dados calculados a partir da curva de calibração entre a turbidez e TSS nas amostras de 2022.

Fonte: Autora, 2025

Gráfico 3: Cálculo dos valores de turbidez dos dados Almeida (2015) via curva de calibração.



Fonte: Autora, 2025.

Os ajustes para inferir os valores de turbidez a partir dos dados de sólidos suspensos totais de Almeida (2015) foram plotados na curva de calibração e foram efetuados ajustes respeitando o valor do coeficiente da curva inicial.

5.3 A DINÂMICA DAS ÁGUAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO (2013 A 2025)

Entre 2022 e 2025 foram efetuadas cinco (5) missões de campo (23/10/2022, 04/06/2023, 23/11/2024, 01/02/2025 e 25/05/2025), além dos dados de Almeida, 2015 (20/07/2013) assim os dados de parâmetro físico-químico e as análises em laboratório, retrataram diferentes cenários de turbidez, informação central para entender a dinâmica das águas circulantes na bacia hidrográfica do rio Formoso.

5.3.1 Dados Pluviométricos

A partir do aplicativo *WeatherLink*, com acesso livre, disponível a partir de 17/06/2022, aos dos dados pluviométricos da estação meteorológica Parque Ecológico do Rio Formoso, foi possível resgar as condições do tempo e os dados pluviométricos de 5 dias antes das amostragens *in situ* nos pontos na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (Quadro 7).

Quadro 7: Resumos dos dados de chuvas no período de 5 dias antes da amostragem.

Data da Amostragem	Estação Pluviométrica	Data	Chuva (mm)
23/10/2022	Parque Ecológico do Rio Formoso	18/10/2022	78,74
		19/10/2022	0,80
		20/10/2022	0,00
		21/10/2022	0,00
		22/10/2022	0,00
		TOTAL	78,54
04/06/2023	Parque Ecológico do Rio Formoso	30/05/2023	15,20
		31/05/2023	0,00
		01/06/2023	0,30
		02/06/2023	0,30
		03/06/2023	0,30
		TOTAL	16,10
23/11/2024	Parque Ecológico do Rio Formoso	18/11/2024	0,00
		19/11/2024	0,00
		20/11/2024	18,00
		21/11/2024	0,00
		22/11/2024	0,00
		TOTAL	18,00
01/02/2025	Parque Ecológico do Rio Formoso	27/01/2025	0,30
		28/01/2025	0,00
		29/01/2025	5,10
		30/01/2025	35,80
		31/01/2025	0,30
		TOTAL	41,50
25/05/2025	Parque Ecológico do Rio Formoso	20/05/2025	0,00
		21/05/2025	0,30
		22/05/2025	0,30
		23/05/2025	0,30
		24/05/2025	0,30
		TOTAL	1,20

Fonte: WeatherLink, 2025.

Durante as amostragens podemos observar períodos que as aquisições dos dados foram em períodos distintos, por exemplos as amostragens (23/10/2022 e 01/02/2025), após evento de chuvas, enquanto a amostragens (04/06/2023, 23/11/2024) ambas tiverem apenas um dia de

precipitação, a de 04/06/2023 teve 16,10 mm de chuva cinco dias antes da coleta e a de 23/11/2024 18 mm a 3 dia da amostragem, enquanto a amostragem de 25/05/2025 foi em período de estiagem.

5.3.2 Parâmetros Físico-químicos (2013 – 2022)

Os parâmetros físico-químicos medidos durante as missões de campo e os dados 2013 (Almeida, 2015) e 2022 pelo laboratório H₂O-SOLO, em aula de campo da disciplina de Hidrologia do curso de graduação em Geografia – Bacharelado, foram medidos em *in situ*. Assim podemos ter uma fotografia do comportamento desses parâmetros, uma vez que as medidas foram realizadas em período pós eventos de chuvas e em período de estiagem na área de captação de água da bacia (Tabela 14).

Tabela 14: Parâmetros físico-químicos medidos no Campo (2013 a 2025).

Data	Ponto	Identificação	pH	CE	Temp.	Turbidez
				μS/cm	°C	NTU
20/7/2013	R03	Rio Formoso (ponte) P01	8,25	395	18,3	12,7*
	P01	Rio Formoso (ponte)	8,81	429	23,3	17,4
23/10/2022	P02	Rio Formosinho	8,41	435	23,8	8,76
	P03	Rio Formoso (balneário)	8,80	463	20,5	1,47
04/06/2023	P01	Rio Formoso (ponte)	8,80	463	20,5	3,20
	P02	Rio Formosinho	8,64	530	21,1	3,45
	P03	Rio Formoso (balneário)	8,56	435	21,0	0,73
23/11/2024	P01	Rio Formoso (ponte)	8,48	429	27,9	0,04
	P02	Rio Formosinho	8,45	513	27,5	0,04
	P03	Rio Formoso (balneário)	8,43	464	27,1	0,04
01/02/2025	P01	Rio Formoso (ponte)	8,49	437	27,0	3,04
	P02	Rio Formosinho	8,45	549	26,5	1,89
	P03	Rio Formoso (balneário)	8,38	454	25,9	0,93
	P C	Rio Formoso (ilha bonita)	8,43	430	26,7	5,22
	PC1	Rio Formoso (ilha bonita)	8,27	457	27,3	11,47
25/05/2025	P01	Rio Formoso (ponte)	8,65	460	22,6	1,57
	P02	Rio Formosinho	8,50	549	21,4	2,20
	P03	Rio Formoso (balneário)	8,47	409	22,0	3,05

* Dado de turbidez calculado a partir da curva de TSS vs. Turbidez dos dados de 2022.

Fonte: Autora, 2025, Lab. H₂O-SOLO, 2022 e Almeida, 2015.

Os dados de condutividade elétrica (CE) das águas amostradas apresentaram variação de 376 a 530 $\mu\text{S/cm}$ que são características de águas alcalinas carbonatada, cuja composição está ligada a dissolução do magnésio e carbonato de cálcio das rochas dolomíticas e calcíticas.

Da mesma forma o pH das águas que variaram 7,92 a 8,81 que está ligado a elevada alcalinidade das águas de regiões carstícas. A temperatura depende principalmente da hora de coleta e temperaturas baixa reflete também nas características das águas cristalinas e é apresentada aqui apenas como um indicador na hora da amostragem.

A turbidez apresentou valores diversos de 0,04 a 17,4 NTU, indicando que as coletas foram realizadas em períodos específicos retratado a dinâmica das águas da bacia hidrográfica do rio Formoso frente as transformações ocorridas no uso e ocupação do solo no período analisado.

5.3.3 Análises Química das amostras de água (2013 a 2025)

Os resultados das análises químicas dos elementos maiores (cátions e ânions) das amostras coletadas *in situ* durante as missões de campos e os dados de Almeida, 2015 e do Laboratório H₂O-SOLO em 2022 obtiveram os seguintes resultados (Tabela 15).

Tabela 15: Análises química das águas dos pontos amostrados entre 2013 e 2025.

Data	PT	CE	pH	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Alc	Dur
		$\mu\text{S/cm}$		Ânions (mg/L)				Cátions (mg/L)				mg/L	mg/L
07/2013	R03	395	8,25	0,00	1,32	0,19	0,63	1,05	0,45	61,22	8,57	181,55	188,19
23/10 2022	P01	429	8,81	0,14	1,60	1,52	2,48	1,11	7,97	53,89	11,04	167,96	180,00
	P02	435	8,41	0,11	1,21	1,41	3,90	0,71	0,88	52,29	12,02	217,56	180,01
	P03	463	8,80	0,16	1,67	1,08	1,97	0,85	0,74	39,38	9,54	185,95	137,56
04/06 2023	P01	463	8,80	0,10	1,62	0,00	1,00	1,10	0,70	20,28	11,75	187,57	98,88
	P02	530	8,64	0,87	1,55	0,41	1,40	0,85	0,49	18,10	17,16	160,02	115,61
	P03	435	8,56	0,21	1,53	0,21	0,87	1,32	0,88	35,89	14,97	117,77	151,10
23/11 2024	P01	429	8,48	0,12	2,31	0,48	1,19	1,62	0,66	46,05	20,50	240,70	199,18
	P02	513	8,45	0,08	1,31	1,41	1,24	0,66	0,59	46,09	34,39	202,46	256,22
	P03	464	8,43	0,12	1,39	1,12	1,50	0,60	0,56	31,43	16,82	192,16	147,54
01/02 2025	P01	437	8,49	0,14	3,70	3,68	1,57	2,00	0,87	76,31	18,77	167,11	267,73
	P02	549	8,45	0,10	1,47	1,59	1,89	0,83	0,77	77,55	28,82	301,61	312,04
	P03	454	8,38	0,14	1,69	1,50	1,18	0,63	0,50	68,92	15,25	271,73	234,83
	P C	430	8,43	0,13	2,32	1,32	1,68	0,99	0,79	91,70	20,43	188,95	313,01
	PC1	457	8,27	0,15	2,14	2,05	2,12	1,27	0,86	72,78	16,38	176,51	249,11
25/05 2025	P01	460	8,65	0,13	2,48	2,04	1,44	1,02	0,56	78,41	17,96	268,82	269,66
	P02	549	8,50	0,08	1,53	2,01	1,44	0,73	0,55	75,16	26,65	274,66	297,17
	P03	409	8,47	0,13	1,80	1,71	1,30	0,55	0,44	85,57	13,22	220,38	268,13

Fonte: Autora, 2025

Nos resultados das análises de 2013 e 2022 percebe-se uma certa modificação na química da água dos rios com maior vazão da Bacia Hidrográfica do rio Formoso, no período após eventos de chuvas e com água com maiores valores de turbidez podemos observar nos dados ligados aos cátions apresentaram uma estabilidade no sódio (Na) entre 2013 e 2022, uma diminuição da presença do cálcio (Ca) e um aumento no magnésio (Mg), mas o que chamou a atenção foi o aumento expressivo do potássio (K) de 0,45 em 2013 para 7,97 mg/L em 2022 uma elevação na casa de 10x. Enquanto nos ânions em 2022 em comparação aos dados 2013, apenas o cloreto (Cl) apresentou um aumento moderado já o nitrato (NO₃) e sulfato (SO₄) com aumentos expressivos de 700% e 294% respectivamente.

Os resultados das análises analíticas (elementos maiores – ânions e cátions) 2022 a 2025 podemos destacar alguns elementos químicos que sobressaíram na amostragem de 01/02/2025 o cloreto (Cl) 3,7; o nitrato (NO₃) 3,68; o sulfato (SO₄) 2,12; o sódio (Na) 2,0 e o cálcio (Ca) 91,7 mg/L após evento de chuva. Podemos destacar ainda a amostragem de 25/05/2025 o comportamento isolado do cálcio (Ca) 85,57 mg/l em amostragem no período de estiagem.

5.3.3.1 Análise de Saturação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃)

A partir dos parâmetros físico-químicos das amostragens de 06/2023 e de 05/2025, por apresentarem turbidez semelhantes (3,20 e 3,04), respectivamente, foi calculado o Índice de Saturação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) pelo Índice de Langelier (LSI).

A Saturação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) foi calculada com base nos dados dos parâmetros físico-químicos e dados analíticos (Tabela 16).

Tabela 16: Dados para o cálculo do Índice de Langelier (LSI).

Data	CE <i>μS/cm</i>	pH	Ca²⁺ <i>mg/L</i>	Mg²⁺ <i>mg/L</i>	Alc <i>mg/L</i>	Dur <i>mg/L</i>	Saturação CaCO ₃
06/2023	463	8,80	20,28	11,75	187,57	98,88	+0,21
05/2025	409	8,47	85,57	13,22	220,38	268,13	+0,39

Fonte: Autora, 2025.

O resultado de Saturação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) em 06/2023 foi de +0,21, demonstrou tendência a saturação, mas o valor de 98,88 de dureza não é suficiente para demonstrar a precipitação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃). Enquanto os resultados de 05/2025 apresentou +0,39 LSI e uma dureza de 268,13 amplamente favorável a precipitação do Carbonato de Cálcio (CaCO₃). As análises de TSS neste ponto revelou uma distribuição

equilibrada, composta por 50% de material volátil e 50% de material fixo. A concentração de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) dissolvido na água foi de 3,2 mg/L.

5.3.4 Assinatura Química da Água (2013 a 2025)

Para a análise hidroquímica das águas da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso foi necessário calcular o HCO_3^- e CO_3^{2-} a partir dos resultados dos dados cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e a Alcalinidade (Tabela 17).

Tabela 17: Resultados calculados de HCO_3^- e CO_3^{2-} das amostras analisadas SBHRF.

Identificação	Data	pH	Alcalinidade	HCO_3^-	CO_3^{2-}
			(mg/L CaCO_3)	(mg/L)	(mg/L)
ANUAL	07/2013	8,25	181,55	217,8	1,8
	10/2022	8,81	167,96	146,7	20,3
	06/2023	8,80	187,57	163,8	22,7
	11/2024	8,43	192,16	183,1	9,0
	02/2025	8,27	176,51	211,0	2,4
	05/2025	8,47	220,38	209,3	11,0
SBHRF 23/11/2024	P01	8.48	240.70	285,5	4,0
	P02	8.45	202.46	240,6	3,1
	P03	8.43	192.16	228,6	2,8

Fonte: Autora, 2025.

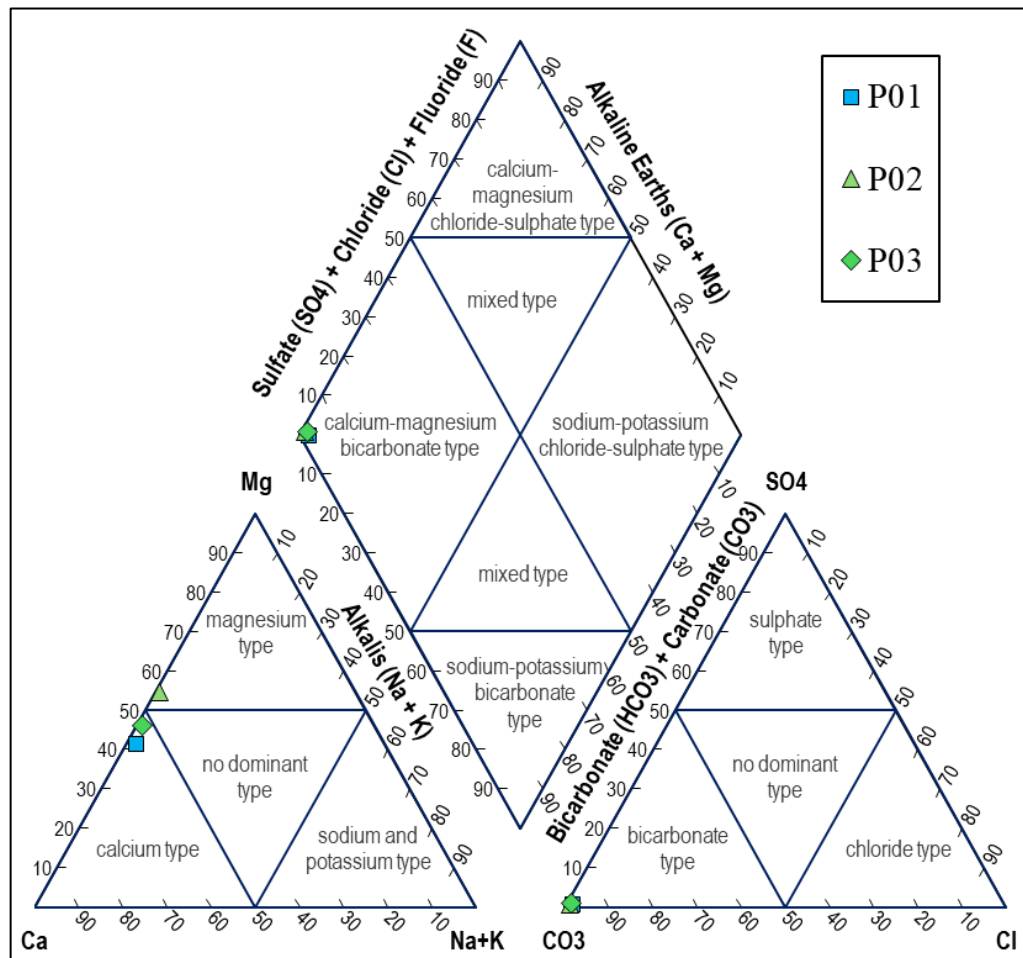
Com os dados complementares de pH, CE e as concentrações iônicas (Tabela 16), foi possível identificar a assinatura química de cada amostra plotando os dados no Diagrama de Piper.

5.3.4.1 Assinatura Química da Água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso

Os dados da amostragem dos pontos P01, P02 e P03 de (23/11/2024) e utilizado Diagrama de Piper foi possível identificar a assinatura química das águas circulantes na bacia hidrográfica do rio Formoso (Figura 21).

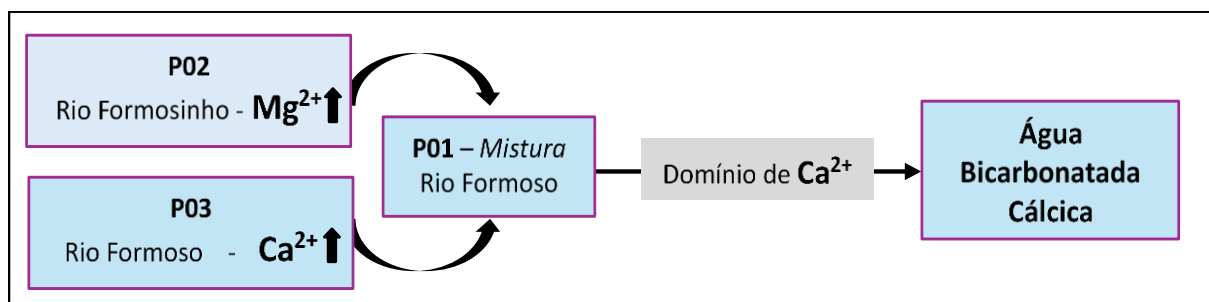
A predominância dos íons bicarbonato (HCO_3^-) e cálcio (Ca^{2+}), associada a pH levemente alcalino, posiciona as amostras (P01 e P03) na região correspondente às águas do tipo bicarbonatada cálcica, enquanto os íons bicarbonato (HCO_3^-) e cálcio (Mg^{2+}), associada a pH alcalino da amostra (P02) correspondente às águas do tipo bicarbonatada magnesiânica, essas assinaturas são típicas de regiões com influência cárstica (Figura 22).

Figura 21: Diagrama de Piper das amostras P01, P02 e P03 da amostragem de 23/11/2024.



Fonte: Autora, 2025

Figura 22: Fluxograma da assinatura química da água da SBHRF – Diagrama de Piper.

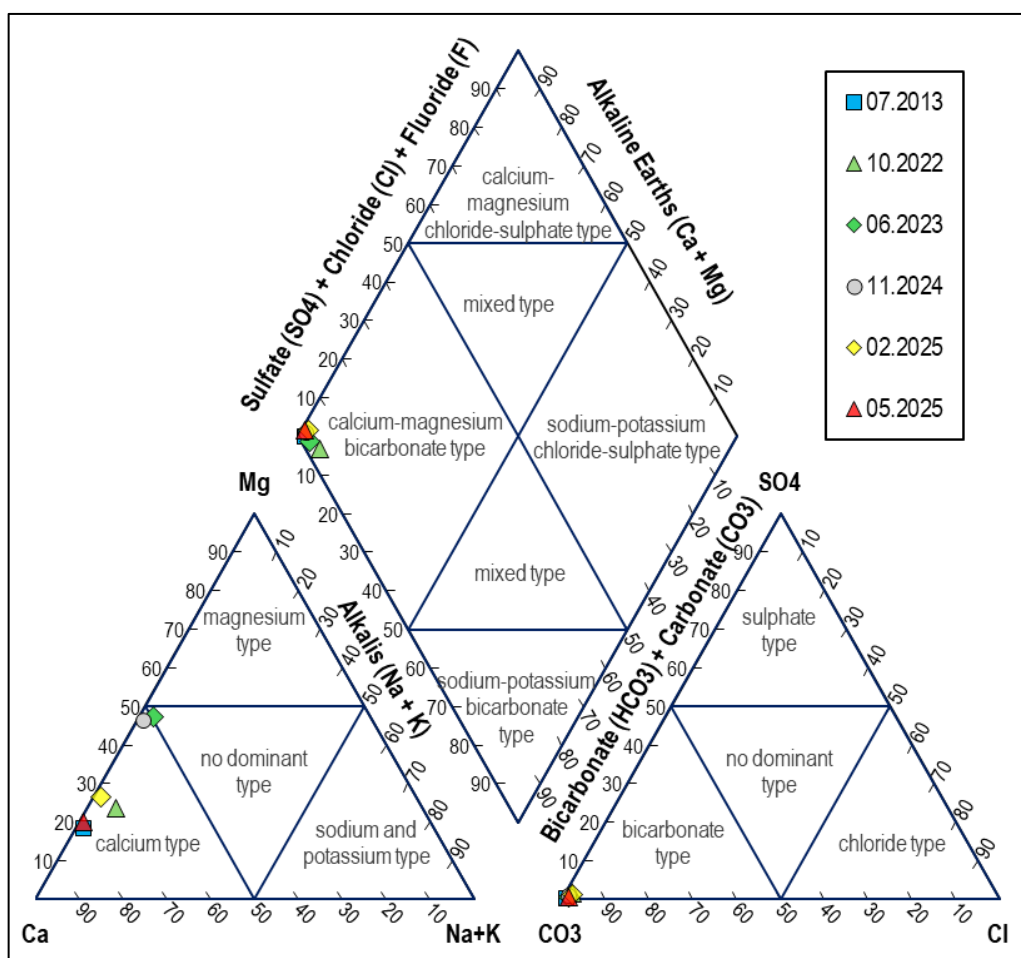


Fonte: Autora, 2025.

5.3.4.2 A dinâmica da Assinatura Química da Água 2013 a 2025

O comportamento da química da água nos períodos analisados de 2013 a 2025 em períodos distintos de amostragem (períodos chuvoso e de estiagem) apresentaram pequenas variações (Figura 23).

Figura 23: Diagrama de Piper das amostras do período de 2013 a 2025.



Fonte: Autora, 2025.

Aparentemente apenas a amostragem de 06/2023 apresentou um perfil químico diferente das demais amostragem enquadrando em posição intermediária entre o perfil do Cálcio (Ca) e do Magnésio (Mg).

As variações nos teores de CO_3^{2-} , ainda que secundárias, indicam episódios pontuais de alcalinidade forte, possivelmente relacionados à variação do nível de saturação dos carbonatos em períodos secos ou de baixa recarga. O agrupamento das amostras no diagrama reforça a homogeneidade do sistema hidroquímico na bacia, embora com algumas oscilações atribuídas à sazonalidade, uso do solo e possíveis interferências antrópicas localizadas. Esses dados são compatíveis com a presença de aquíferos carbonáticos e o papel da matriz rochosa como principal controladora da composição iônica da água.

5.3.5 A Turbidez da Água (2013 a 2025)

A turbidez da água do rio Formoso entre 2013 a 2025 apresentou diversos valores nos momentos de medidas e amostragem de água (Tabela 18).

Os dados de turbidez apresentaram uma fotografia da dinâmica das águas circulante na bacia hidrográficas do rio formoso refletindo o uso e ocupação do solo em períodos distintos, e ainda marcados por coleta em períodos chuvosos, e períodos de estiagem.

Tabela 18: Valores de Turbidez 2013 a 2025.

Data	Turbidez (NTU)
07/2013	12,7
10/2022	17,4
06/2023	3,20
11/2024	0,04
02/2025	11,47
05/2025	3,04

Fonte: Autora, 2025.

5.3.6 A Relação da Turbidez da Água com Sólidos Suspensos Totais (2013 a 2025)

O TSS quantificado nas amostras de água analisadas da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, aparentemente apresentaram comportamento diferentes entre a turbidez nos períodos de amostragem (Tabela 19).

Tabela 19: Valores de Turbidez e Sólidos suspensos totais 2013 a 2025.

Data	Turbidez (NTU)	Sólidos suspensos totais (mg/L)
07/2013	12,7	21
10/2022	17,4	39
06/2023	3,20	1,6
11/2024	0,04	0,2
02/2025	11,47	7,8
05/2025	3,04	3,9

Fonte: Autora, 2025.

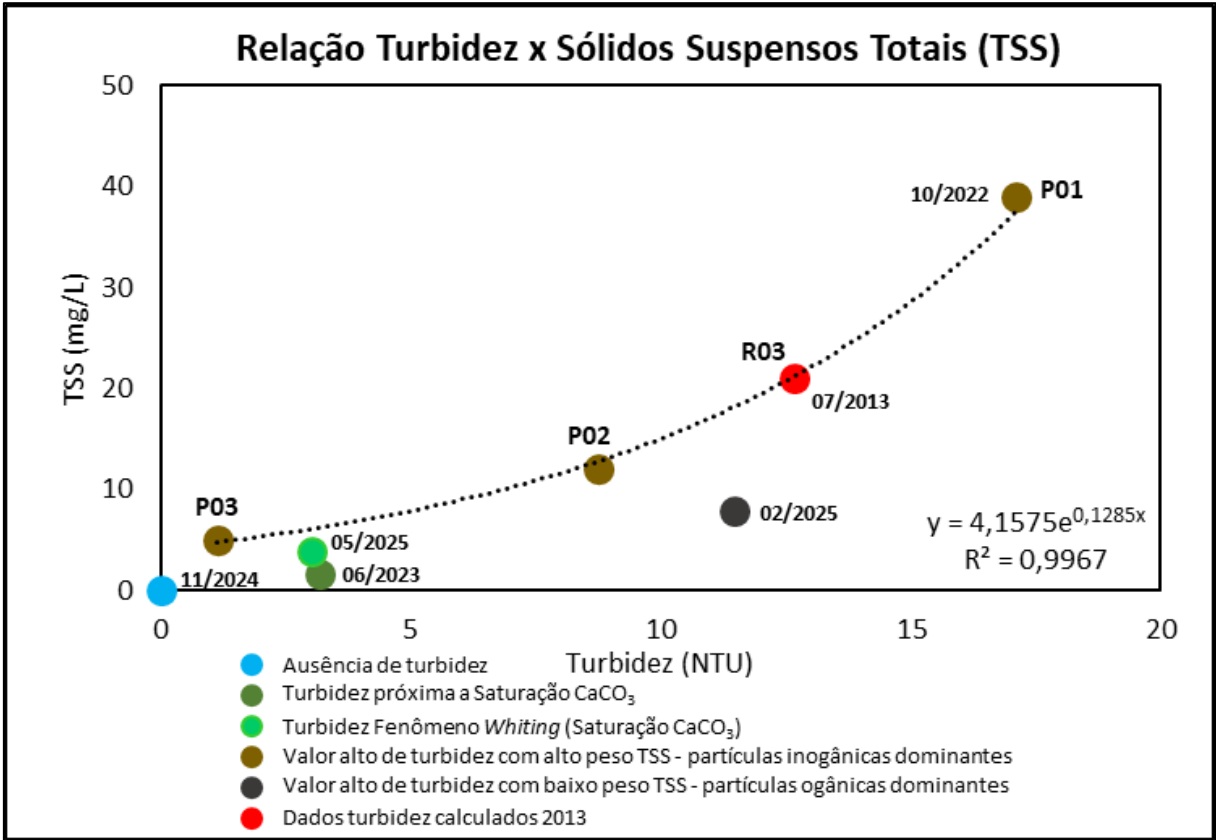
Os valores de TSS de 2013 em relação a 2022 teve um aumento de 86%, essa variação considerável entre os períodos analisados, sugerindo alterações nas condições hidrossedimentológicas da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. Em 10/2022, por exemplo, a turbidez atingiu 17,4 NTU, acompanhada de um valor elevado de TSS (39 mg/L), indicou maior aporte de partículas em suspensão em relação a 2013 com valor de 21 mg/L de TSS.

Em 11/2023, os valores de turbidez e sólidos suspensos totais (TSS) apresentaram um comportamento que difere dos demais períodos analisados. A turbidez registrada foi de 3,20 NTU, enquanto o TSS foi de apenas 1,6 mg/L. Essa baixa correlação entre a turbidez e a massa de sólidos em suspensão indica a predominância de partículas coloidais leves ou matéria orgânica dissolvida, típicas do escoamento subsuperficial, sem significativa contribuição de sedimentos minerais mais densos.

Já em 02/2024, a turbidez foi quase nula, com TSS igualmente baixos, refletindo um cenário de equilíbrio entre as águas circulantes, marcada pela ausência de eventos de precipitação intensa. Outro fato que chama atenção nos dados é a turbidez de 11,47 NTU e o valor baixo TSS de apenas 7,8 mg/L em 02/2025, não condizente com os resultados de 10/2022.

Em 05/2025, durante um período prolongado de estiagem, foi observado um quadro atípico, a turbidez atingiu 3,04 NTU, mesmo na ausência de chuvas recentes, enquanto o TSS foi de 3,8 mg/L. A análise detalhada dos sólidos suspensos totais revelou concentração de carbonato de cálcio (CaCO₃) precipitados de 3,2 mg/L e apenas 0,7 mg/L de outras partículas solidas das quais teve uma distribuição equilibrada, com 50% de sólidos suspensos voláteis (orgânico) e 50% de sólidos suspensos fixos (inorgânico (Gráfico 4)).

Gráfico 4: Valores de Turbidez e TSS (partículas inorgânicas x partículas orgânicas).



Fonte: Autora, 2025.

5.3.7 A Relação da Turbidez da Água com Matéria Orgânica Dissolvida (2022 a 2025)

Com a mudança de comportamento entre a turbidez e o sólidos suspensos totais na água e sua discrepância em 02/2025 turbidez de 11,47 e apenas 7,8 mg/L de sólidos suspensos totais, implicando uma menor carga de partículas inorgânica na influência da turbidez e ao mesmo tempo a turbidez poderia estar influenciada pela carga de matéria orgânica dissolvida e para isso foi necessário fazer análise das amostras UV-VIS (Espectrofotometria de Ultravioleta-Visível) para identificar e caracterizar a assinatura da matéria orgânica dissolvida na água e correlacionar com a turbidez.

A relação entre turbidez e matéria orgânica dissolvida (MOD) medida por espectrofotometria UV-Vis (relação E254/E365) nas amostras coletadas entre 2022 e 2025. Observa-se que os valores de turbidez variam consideravelmente entre os períodos 2,3 a 6,7, identificando matéria orgânica dissolvidas distintas desde alto peso molecular, tipicamente de origem terrestre (< 3,5) a valores altos (> 5,0) com baixo peso molecular, como compostos mais simples (Quadro 8).

Quadro 8: Valores de Turbidez e MOD Uv-Vis E254/E365 (Classificação e Origem).

Data	Turbidez (NTU)	E254/E365	Classificação da MOD	Possível Origem/Fator Influyente
10/2022	17,4	2,3	MOD humificada (alto peso molecular)	Escoamento superficial (solo, erosão).
06/2023	3,20	6,5	MOD fresca (baixo peso molecular)	Predomínio de material autóctone.
11/2024	0,04	4,3	Mista (moderada aromaticidade)	Fonte variada ou diluição.
02/2025	11,47	6,0	MOD fresca com contribuição terrestre	Predomínio de material autóctone.
05/2025	3,04	6,7	MOD fresca (baixo peso molecular)	Predomínio de material autóctone.

Fonte: Autora, 2025.

A razão E254/E365, indicaram predominância de MOD fresca (baixo peso molecular) com valores crescentes nos últimos registros, podendo estar relacionada com a decomposição

dos tratos culturais da agricultura e aumente a atividade microbiana no solo, sugerindo possíveis influências de processos de decomposição orgânica do manejo do solo adotado.

5.2 DICUSSÕES DOS RESULTADOS

5.2.1. A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso

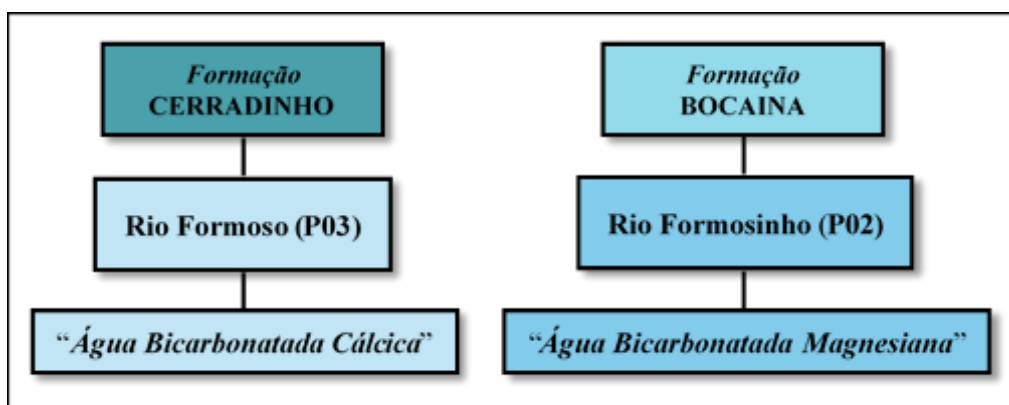
A Sub-bacia Hidrográfica do Rio Formoso (SBHRF), apresentou uma dinâmica hídrica fortemente influenciada por sua geologia cárstica. Os pontos de amostragem foram definidos estrategicamente para captar a contribuição dos dois principais afluentes: o Rio Formosinho (P02) e o Rio Formoso (P03), que juntos formam o corpo principal avaliado no ponto P01. Este último, com 97,4% da área de influência da bacia, sintetiza o comportamento das águas que percorrem toda a SBHRF.

5.2.1.1 Assinatura química das águas da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso

Desta forma, a assinatura, ou seja, os perfis químicos das águas circulantes na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso foram identificados e classificados a partir das amostras de águas (11/2024) por apresentarem cristalinas e com turbidez 0,04 NTU que representam a beleza cênica do turismo de Bonito - MS.

Foram identificadas duas famílias químicas, a do rio Formosinho (P02) ligada ao perfil químico dominante de águas do tipo Bicarbonatada Magnésiana provenientes da dissolução de rochas dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ocorrendo processo de dissolução simplificada: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$ com a maior contribuição da Formação Geológica Bocaina. Enquanto o rio Formoso (P03 – Balneário Municipal) o perfil químico identificado dominante do tipo de águas Bicarbonatada Cálcica derivada da dissolução de rochas calcárias (compostas principalmente por calcita - CaCO_3) ocorrendo a seguinte reação de dissolução: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ proveniente da Formação Geológica Cerradinho (Figura 24).

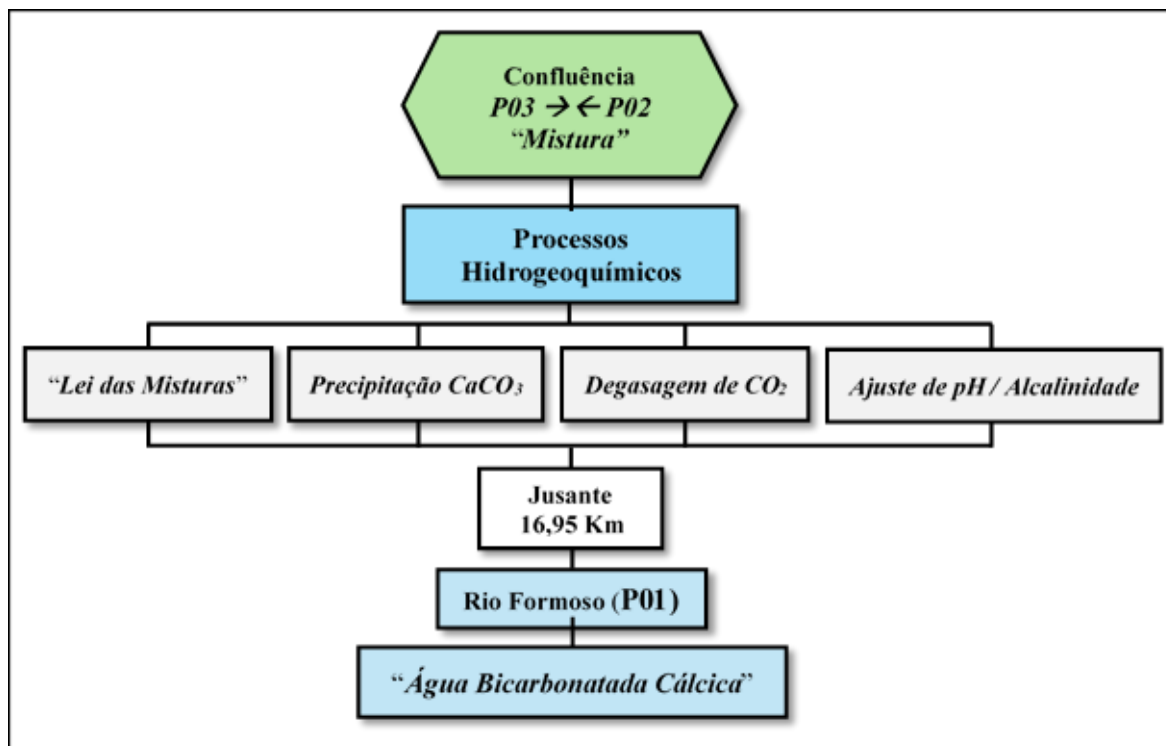
Figura 24: Fluxograma do Perfil Químico das águas dos Rios Formoso e Formosinho.



Fonte: Autora, 2025.

Já no ponto final (P01) do rio Formoso após mistura de todas as águas circulantes na Sub-bacia do rio Formoso o perfil dominante foi do tipo de águas Bicarbonatada Cálcica, com o domínio na mistura do íon Cálcio (Ca^{2+}) sobre o Magnésio (Mg^{2+}) nos processos hidrogeoquímicos desencadeados no percurso de 16,95 Km (Figura 25).

Figura 25: Fluxograma Lei da Mistura - Perfil Químico das águas do Rio Formoso (P01).



Fonte: Autora, 2025.

5.2.2 As Modificações do Uso e Ocupação do Solo: 2013 a 2022

As análises das modificações do uso e ocupação do solo na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso entre os anos de 2013 a 2022, identificaram uma transformação significativa no uso e ocupação. Na área de pastagem houve uma diminuição de 43,5% que representa 32.969,50 ha em 2013 para 18.630,90 ha. Ao mesmo tempo foi possível notar a expansão da agricultura, com um aumento expressivo de 108,6% sobre as áreas de pastagens, dividido em três períodos: (1) 2014 e 2015 com 24,31%; (2) 2015 a 2021 de 21,49% e (3) 2022 com 33,76%.

Esses períodos corroboram com a mudança de comportamento da dinâmica das águas da sub-bacia do Rio Formoso, uma vez que a substituição da pastagem pela agricultura, o cultivo de soja e outras culturas anuais aceleram os processos de mecanização agrícola favorecendo a remoção da parte superficial do solo antes protegido pelas gramíneas cultivadas das pastagens.

Esses períodos de evolução da expansão da agricultura na SBRF são condizentes com as questões ambientais e sociais ocorridas ao longo do período. A maior expressão evidenciada nesta análise é o ano de 2022 com o aumento de 33,76% da área plantada, fato esse que levanta a hipótese relacionada ao avanço das áreas plantadas pós pandemia da COVID-19.

Outro fato relevante é a vegetação nativa que manteve relativamente estável, com pouco aumento, isto se deve ao fato de que os locais onde estão disponíveis estas vegetações nativas não são economicamente viáveis para o cultivo de soja, por exemplo. Trata-se de áreas de preservação permanentes (APP) e regiões de serras/morros, locais ainda inacessíveis para este tipo de uso.

Um ponto de atenção é para a análise do ano de 2020, onde observou-se uma redução acentuada na classificação das áreas de vegetação nativa (- 6,8%) seguido do aumento das áreas de pastagens (+ 8,9%), mas ao mesmo tempo uma redução das áreas dos corpos d'água (- 37,7%). Ao verificar a perda de área da vegetação nativa e condizente com o avanço da pastagem o que levanta a hipótese desses dados está fortemente ligado ao déficit hídrico, assim regiões de vegetação nativa, por exemplo, “campo sujo” foram identificadas e classificadas como áreas de pastagens, essa hipótese é reforçada com os dados de 2021 onde as áreas de vegetação nativa teve um ganho de área (+ 7,5%) bem como a perda das áreas de pastagem (- 10,9%) e pôr fim a recuperação das áreas dos cursos d'água (+ 38,0%). De fato, essa discrepância nos dados do ano 2020 está correlacionado com as condições climáticas que teve grande influência na disponibilidade hídrica e com isso um erro considerável na classificação das imagens de satélites.

5.2.3 Mudança do Uso e Ocupação do Solo: 2013 vs. 2022

A SBHRF destaca-se por sua sensibilidade ambiental devido à predominância de rochas carbonáticas e solos altamente permeáveis, o que torna o sistema hídrico particularmente vulnerável a alterações no uso do solo. Entre 2013 e 2022, a região passou por uma transformação significativa, marcada pela redução das áreas de pastagem e pelo avanço expressivo da agricultura, principalmente do cultivo de soja. Essa mudança impactou diretamente a dinâmica hídrica, na qualidade da água e, consequentemente, o turismo ecológico, que depende da transparência das águas locais.

Em 2013, as pastagens dominavam o uso do solo na SBHRF, ocupando cerca de 62,2% da área, enquanto a agricultura representava 37,8%¹. A dinâmica da sub-bacia refletia um funcionamento tradicional, com predomínio de pastagens consolidadas e menor impacto do

escoamento superficial, uma vez que as gramíneas protegiam o solo contra a erosão e reduziam o aporte direto de sedimentos aos cursos d'água.

Os dados de 2013 foram coletados após um evento intenso de chuva, fato evidenciado pela elevada vazão registrada no ponto P01 (referente ao ponto R3 de Almeida, 2015), que atingiu valores compatíveis com períodos de precipitação significativa. Nessa ocasião, o total de sólidos em suspensão (TSS) foi de 21 mg/L e a turbidez, inferida pela curva de correlação de 2022, ficou em torno de 12,7 NTU. Essa relação direta entre vazão, TSS e turbidez demonstra que, naquele panorama, a principal fonte de turbidez era o escoamento superficial, transportando partículas inorgânicas do solo após chuvas intensas

Entre 2013 e 2022, a SBHRF apresentou uma profunda alteração no uso do solo. A área ocupada por pastagens sofreu uma redução de 43,5%, caindo de 32.969,5 ha para 18.630,9 ha. Em contrapartida, a agricultura expandiu-se 108,6%, totalizando 26.011,7 ha em 2022. Esse avanço ocorreu principalmente sobre áreas antes destinadas à pecuária, especialmente após 2020, quando a agricultura ultrapassou a pastagem como principal uso antrópico do solo. A vegetação nativa, por sua vez, manteve-se relativamente estável, concentrando-se em áreas de preservação permanente (APPs) e regiões de difícil acesso, o que limitou sua conversão para fins agrícolas ou pecuários.

Já no ano de 2022, os dados de campo também foram obtidos após eventos de chuvas significativos, permitindo uma comparação direta com o cenário de 2013 por meio das vazões do rio Formoso que foram semelhantes (14,549 e 14,810 m³/s respectivamente). Observou-se um aumento substancial nos valores de turbidez (17,4 NTU) e de TSS (39 mg/L), indicou maior aporte de partículas em suspensão em relação a 2013. De 21 mg/L. A forte correlação entre vazão, turbidez e TSS permaneceu, mas, neste contexto, o aumento da turbidez está associado ao transporte de sedimentos inorgânicos, mas também a presença de matéria orgânica dissolvida humificada provenientes do arraste da mesma das áreas ripárias, ou seja, áreas de preservação permanentes (APPs).

Além disso, a análise química da água revelou um aumento expressivo nos teores de potássio, nitrato e sulfato, sugerindo influência direta do uso de fertilizantes e do escoamento superficial agrícola. Esses resultados indicam que, além do efeito físico do transporte de partículas, a expansão da agricultura alterou a assinatura química das águas da bacia, potencializando riscos de contaminação e eutrofização dos corpos hídricos.

Dessa forma, a substituição da pastagem por agricultura mecanizada, principalmente o cultivo da soja, intensificou o escoamento superficial e aumentou a carga de sedimentos e

nutrientes nos rios da SBHRF. Enquanto em 2013 a turbidez estava fortemente relacionada ao aporte de partículas inorgânicas após chuvas, em 2022 observou-se uma elevação não apenas na quantidade, mas também na diversidade das partículas transportados, incluindo matéria orgânica dissolvida e elementos químicos associados à atividade agrícola, neste caso o aumento 10x do valor do Potássio.

A análise comparativa entre 2013 e 2022 evidencia que a mudança do uso e ocupação do solo na SBHRF, com a substituição da pastagem pela agricultura, resultou em alterações profundas na dinâmica hídrica, na qualidade da água e na assinatura química dos rios. O aumento da turbidez e dos sólidos em suspensão, associado ao incremento de nutrientes e matéria orgânica dissolvida, compromete a transparência das águas e ameaça a sustentabilidade do turismo e dos ecossistemas aquáticos locais.

5.2.4 Curva de Correlação entre Turbidez e TSS

A relação entre turbidez e o TSS na SBHRF revela nuances importantes sobre os processos de transporte de partículas e a dinâmica hídrica local, especialmente frente às transformações recentes no uso do solo.

A curva de correlação entre turbidez e TSS apresenta um ajuste muito forte quando a turbidez é dominada por partículas inorgânicas, como argila, silte e coloides minerais. Esse padrão foi observado principalmente após eventos de chuvas intensas, quando o escoamento superficial carrega partículas minerais do solo para os cursos d'água. Nesses casos, a razão TSS/Turbidez varia entre 1 e 3, indicando que a maior parte da turbidez está associada a partículas de alta densidade e fácil sedimentação. Por exemplo, em outubro de 2022, após um evento de chuva (78,54 mm em cinco dias), a turbidez atingiu 17,4 NTU com TSS de 39 mg/L, resultando em uma razão de 2,24 e coeficiente de correlação de 0,9965, o que evidencia a predominância do transporte de partículas minerais pelo escoamento superficial.

Já num segundo momento, a correlação entre turbidez e TSS se perde quando a turbidez é causada principalmente por partículas orgânicas ou matéria orgânica dissolvida (MOD). Nessas situações, mesmo com valores elevados de turbidez, com baixo peso de TSS, isso justifica porque as partículas orgânicas têm menor densidade e não sedimentam facilmente. Um exemplo claro ocorreu em fevereiro de 2025, quando a turbidez foi de 11,47 NTU, mas o TSS foi de apenas 7,8 mg/L (razão TSS/Turbidez de 0,68). A análise espectrofotométrica indicou predominância de MOD de baixo peso molecular, típica de decomposição de resíduos agrícolas e atividade microbiana intensificada pelo plantio direto. Esse padrão é característico de cenários

onde o escoamento subsuperficial predomina, transportando matéria orgânica dissolvida e colóides orgânicos, sem grande aporte de partículas minerais inorgânicas.

Por fim, temos os períodos de estiagem, quando a turbidez elevada está relacionada à precipitação química de carbonato de cálcio (CaCO_3), fenômeno conhecido como *whiting*. Nessa condição, a turbidez pode ser moderada a alta, mesmo com baixos valores de TSS, pois a água atinge saturação de CaCO_3 devido à interação entre águas profundas ricas em ácidos húmicos e o substrato rochoso carbonático. Em maio de 2025, por exemplo, a turbidez foi de 3,04 NTU com TSS com 3,9 mg/L, dos quais apenas 0,7 mg/L, estão relacionados com partículas sólidas em suspensão (inorgânicas e orgânicas), enquanto 3,2 mg/L representa diretamente a precipitação do Ca^{2+} . Neste caso, a dureza e o índice de saturação de CaCO_3 eram elevados, favorecendo a precipitação do mineral e a formação de uma turbidez leitosa, típica do *whiting*. Nesses episódios, a relação direta entre turbidez e TSS deixa de existir, pois a turbidez está mais ligada à química da água do que ao transporte físico de partículas.

Em síntese, a curva de correlação entre turbidez e TSS é um excelente indicativo da natureza das partículas em suspensão e dos processos hidrológicos dominantes. Uma correlação forte aponta para o predomínio de partículas minerais transportadas pelo escoamento superficial. Já a perda dessa correlação, seja por aumento de matéria orgânica dissolvida ou por precipitação química de CaCO_3 , indica mudanças profundas na dinâmica hídrica, muitas vezes associadas à intensificação do uso agrícola, adoção de práticas conservacionistas e alterações no balanço entre escoamento superficial, subsuperficial e profundo.

5.2.5 A assinatura da matéria orgânica na turbidez das águas da SBRF

A assinatura da matéria orgânica dissolvida (MOD) na turbidez das águas da SBHRF revela uma dinâmica complexa, diretamente influenciada pelas mudanças no uso do solo, pelo regime de chuvas e pelas práticas de manejo conservacionista adotadas na região. As análises espectrofotométricas (UV-Vis) realizadas entre 2022 e 2025 permitiram identificar três principais grupos de MOD: matéria orgânica humificada de alto peso molecular, matéria orgânica fresca de baixo peso molecular e uma faixa intermediária com características mistas.

Já a faixa mista, composta por MOD de características intermediárias, ocorre em situações de transição, como após chuvas moderadas ou em áreas onde coexistem vegetação nativa e agricultura. Nesses casos, a turbidez pode ser moderada a alta, com proporções variáveis de sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão.

Por outro lado, a matéria orgânica fresca, de baixo peso molecular, é marcante em períodos imediatamente após eventos de chuva e em áreas sob manejo agrícola intensivo,

especialmente onde se adotou o sistema de plantio direto. Nesses cenários, a decomposição acelerada dos resíduos culturais e a intensa atividade microbiana promovem a liberação de ácidos húmicos e fúlvicos, que são rapidamente lixiviados no solo e transportados pelo escoamento subsuperficial para os cursos d'água. Isso resulta em episódios de turbidez elevada, mas com baixo peso de sólidos em suspensão (TSS), pois a MOD é composta por partículas finas e coloides orgânicos de baixa densidade. Um exemplo desse comportamento foi observado em fevereiro de 2025, quando a turbidez atingiu 11,47 NTU, mas com TSS foi de 7,8 mg/L, desses 62,8% eram sólidos em suspensão volátil (composto orgânico).

A adoção de práticas conservacionistas, como o terraceamento e o sistema de plantio direto, alterou profundamente a dinâmica da MOD na SBRF. O terraceamento reduz o escoamento superficial e direciona parte da água para o escoamento subsuperficial, por meio da infiltração no solo, enquanto o plantio direto intensifica a produção de matéria orgânica ao manter resíduos vegetais na superfície do solo e favorecer a atividade microbiana. Esses processos promovem o acúmulo e a mobilização de ácidos húmicos e fúlvicos, que, ao infiltrarem no solo, intensifica a dissolução de carbonatos de cálcio em solos calcários, levando a formação de microfissuras e microtúbulos, e aumentando a velocidade de transferência de MOD para os corpos d'água.

Assim, a assinatura da matéria orgânica na turbidez das águas da SBRF é resultado da interação entre o uso do solo, o regime de chuvas e as práticas de manejo agrícola. A MOD varia de humificada a fresca, com comportamento distinto da turbidez em função do tipo de escoamento predominante. O avanço da agricultura, aliado ao terraceamento e ao plantio direto, intensificou a produção e o transporte de MOD, alterando a dinâmica hídrica e a qualidade das águas.

5.2.6 A química das águas da SBRF

A assinatura química das águas da SBRF manteve, em geral, um padrão hidroquímico de regiões cársticas, com predominância de águas do tipo bicarbonatada cálcica. Essa dominância reflete a interação entre a água e as rochas carbonáticas (calcários e dolomitos), que compõe a geologia da região.

Os resultados encontrados revelaram uma consistência em níveis de alcalinidade total e pH alcalino, que variaram entre 167,96 e 301,61 mg/L (alcalinidade) e 8,27 e 8,81 (pH). Isso indica um meio propício à dissolução e posterior saturação de carbonato de cálcio, sobretudo em períodos de estiagem.

É possível notar também uma certa oscilação dos teores de cálcio e magnésio ao longo do período, com destaque para o ano de 2025 que revelou um aumento significativo, revelando um enriquecimento iônico possivelmente associado a maior contribuição subsuperficial e lixiviação em profundidade. Os resultados das amostras com Índice de Saturação de Carbonato de Cálcio (LSI) positivos sugerem a precipitação de Carbonato de Cálcio, um forte indicativo da ocorrência do fenômeno *whiting*.

O diagrama de Piper revelou que, embora predomine a assinatura bicarbonatada cálcica, a amostra de 06/2023 apresentou deslocamento em direção ao tipo bicarbonatada magnésiana, sugerindo influência diferenciada no balanço iônico naquele momento, possivelmente atribuída à sazonalidade e à alteração temporária da fonte de recarga (ex. maior contribuição de águas de contato com dolomitos).

As variações nos teores de HCO_3^- e CO_3^{2-} , por sua vez, indicaram que a dinâmicas da alcalinidade, ora reforçam a estabilidade do sistema, ora revelam alterações sazonais associadas à recarga hídrica, dissolução de carbonatos e processos de evapoconcentração.

A expansão significativa da agricultura na região, coincide com o aumento expressivo nos teores de potássio, nitrato e sulfato, especialmente sobre áreas antes destinadas à pastagem, processo que intensificou o uso de fertilizantes e o manejo do solo. A hipótese mais consistente para explicar esse aumento dos elementos químicos é justamente a intensificação do uso agrícola, que favorece a lixiviação e o escoamento superficial de nutrientes e insumos para os corpos d'água, principalmente após eventos de chuva.

Embora esses valores estejam, até o momento, dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2, que preconiza, por exemplo, limite máximo de 10 mg/L para nitrato e 250 mg/L para sulfato, a tendência de crescimento reforça a necessidade de monitoramento contínuo. A ausência de limites específicos para potássio na legislação não diminui sua importância como indicador de impacto agrícola.

Assim, a substituição de pastagens por culturas anuais, como a adoção do cultivo da soja, e ainda com adoção de práticas conservacionista de manejo de solo como o sistema plantio direto e o terraceamento (curvas de níveis), embora importantes para o controle da erosão, acabam potencializando a transferência de compostos químicos e/ou orgânicos do solo para a água, refletindo diretamente na elevação dos teores desses elementos nos principais rios da sub-bacia.

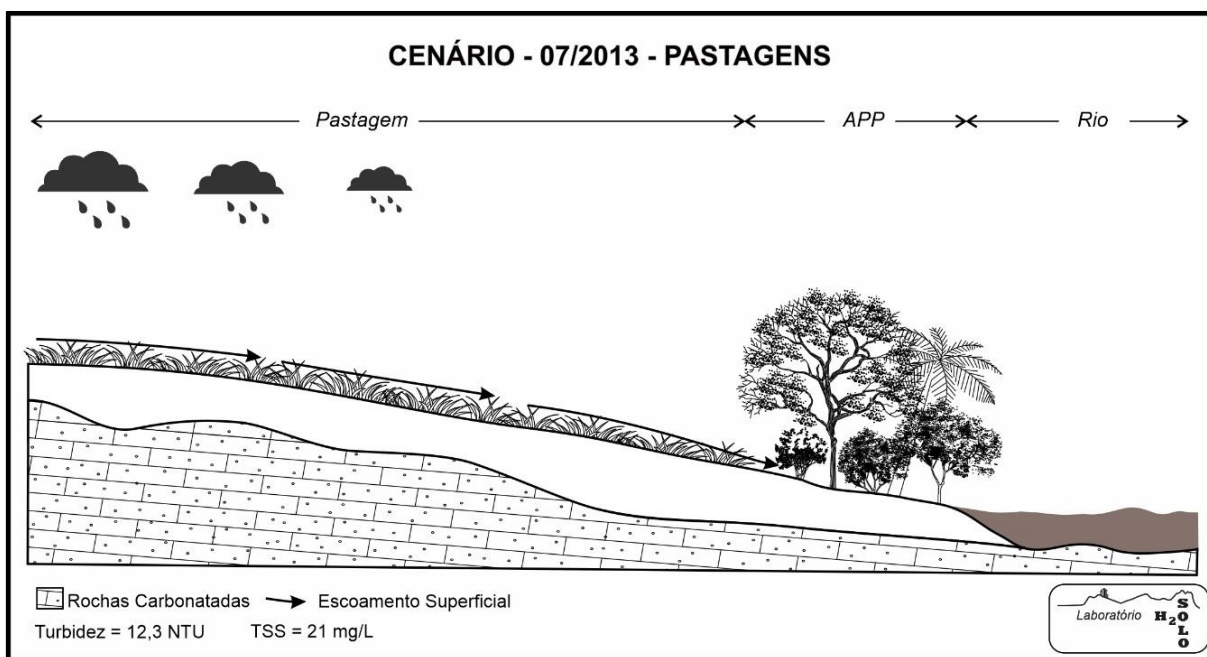
5.2.7 Dinâmica Hídrica: 2013 a 2025

A análise da dinâmica hídrica da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso entre 2013 e 2025 foi construída a partir de coletas pontuais, realizadas em momentos estratégicos de alteração da turbidez das águas, e não por meio de um monitoramento contínuo. Essa abordagem, embora limitada, permitiu observar cenários contrastantes, influenciados por eventos de chuva, mudanças no uso do solo e adoção de práticas conservacionistas.

Cenário 07/2013 – Domínio das Áreas de Pastagens

Os dados 2013 utilizados como referência para a análise da evolução da dinâmica das águas da SBRF partiram como referência o valor de peso de TSS correlacionando com os dados de vazão medido. Em tempo houve a ausência do dado de turbidez que foi inferido a partir dos dados de correlação entre a vazão medida em 2013 com a vazão medida em 2022, mostrando que a bacia mantinha um mesmo comportamento hídrico, ou seja, os dados tanto de 2013 e 2022 foram adquiridos após eventos de precipitação intensa evidenciando que a causa e o efeito da turbidez estavam diretamente relacionados com a dinâmica do escoamento superficial (Figura 26).

Figura 26: Esquema hipotético da dinâmica hídrica sobre o domínio da área de pastagem.



Fonte: Autora, 2025.

Cenário 10/2022 – Domínio das Áreas de Agricultura

No cenário de 2022, a turbidez elevada (17,4 NTU) e o alto peso de sólidos totais em suspensão (TSS = 39 mg/L) refletiram um padrão hidrossedimentológico marcado pelo transporte intensivo de partículas inorgânicas (Foto 11).

Foto 11: Turbidez da água do rio Formoso em 22/10/2022.



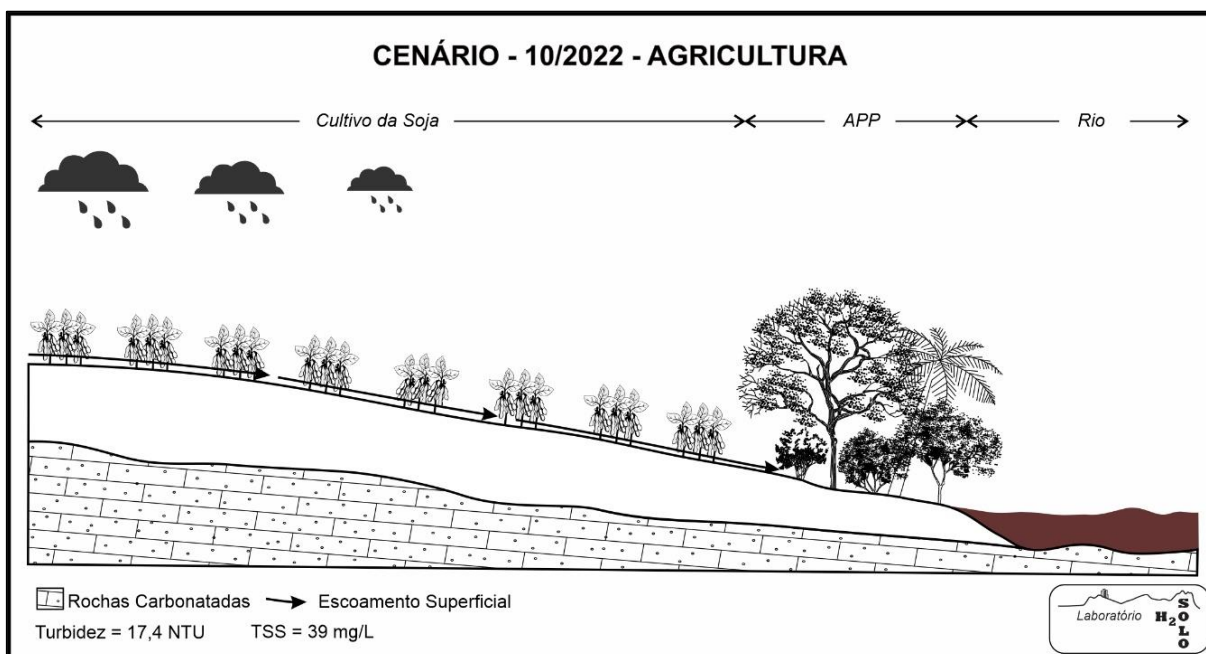
Fonte: Autora, 2025.

Esse fenômeno ocorreu após um evento chuvoso significativo (78,54 mm acumulados em 5 dias), que intensificou o escoamento superficial em áreas agrícolas. O aumento expressivo de potássio, 10 vezes superior aos níveis de 2013, juntamente com incrementos de nitrato e sulfato, evidencia a influência direta de fertilizantes agrícolas.

A correlação entre turbidez e TSS confirmou a predominância de partículas minerais (argila/silte) no transporte hídrico. No entanto, a presença simultânea de matéria orgânica dissolvida, identificada por espectrofotometria UV-Vis (razão $E_{254}/E_{365} = 2,3$), sugere que a presença de matéria orgânica humificada provenientes principalmente do arraste do escoamento superficial das áreas de vegetação nativas (riparias) próxima aos cursos d'água.

Essa combinação de fatores resultou em uma turbidez associada tanto ao aporte físico de material sólidos em suspensão e vinculado a matéria orgânica dissolvida com alto peso molecular (humificada) quanto à dissolução química de nutrientes, caracterizando um cenário de degradação hídrica vinculado à expansão agrícola sobre antigas áreas de pastagem (Figura 27).

Figura 27: Representação esquemática do cenário de 10/2022.



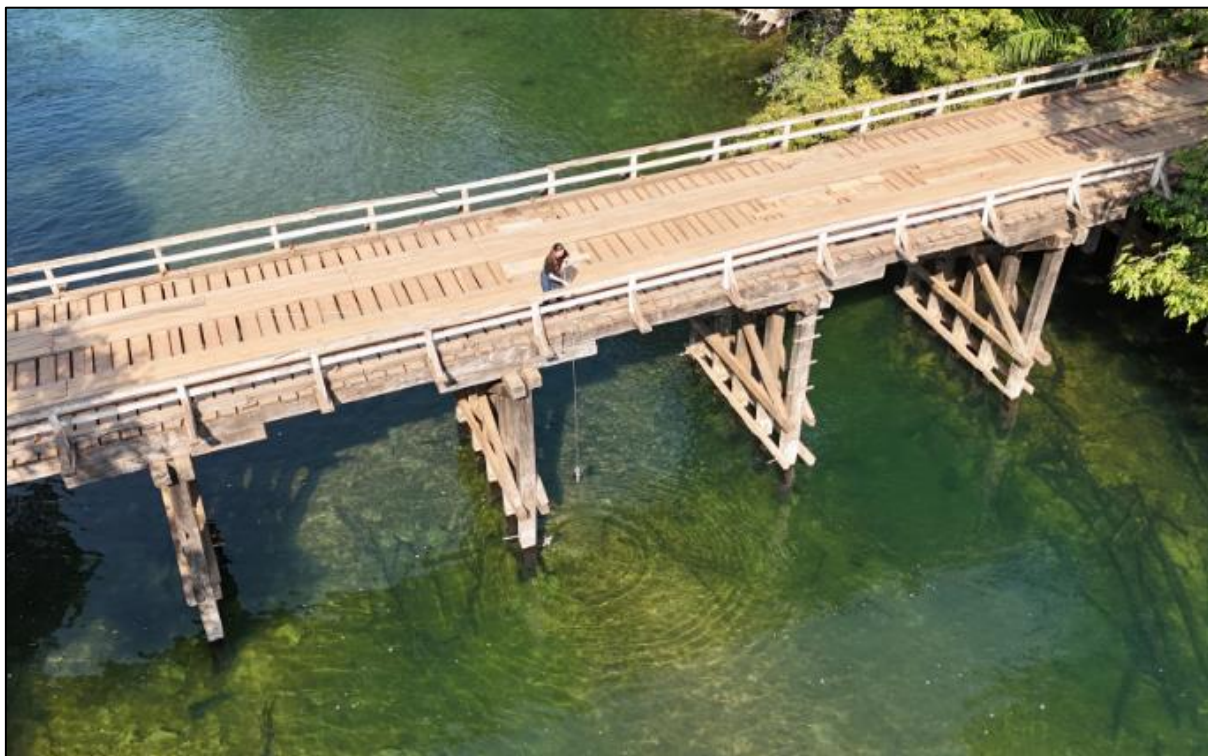
Fonte: Autora, 2025

Cenário 11/2024 – Equilíbrio da Dinâmica do Sistema Cársstico

Em 2024, a dinâmica hídrica da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Formoso apresentou as condições consideradas ideais para a região, especialmente sob a ótica da conservação ambiental e do turismo ecológico. As coletas realizadas nesse período registraram turbidez praticamente nula (0,04 NTU) e baixos valores de sólidos totais em suspensão, refletindo um equilíbrio entre os processos de escoamento superficial, subsuperficial e profundo. Esse quadro foi favorecido pela ausência de eventos de precipitação intensa nos dias que antecederam a amostragem, o que minimizou o aporte de sedimentos e nutrientes aos corpos d'água (Foto 12).

Do ponto de vista químico, as águas mantiveram a assinatura típica de regiões cársticas, com predomínio de íons bicarbonato e cálcio, pH levemente alcalino e baixa concentração de elementos associados à atividade agrícola, como potássio, nitrato e sulfato. A presença de matéria orgânica dissolvida de forma discreta, com predominância de compostos misto (fonte variadas) MOD humificada (alto peso molecular), característicos de ambientes preservados e com vegetação nativa estável, e MOD fresca (baixo peso molecular), mas, contudo, marcada mesmo de forma singular a presença de composto orgânico proveniente da agricultura.

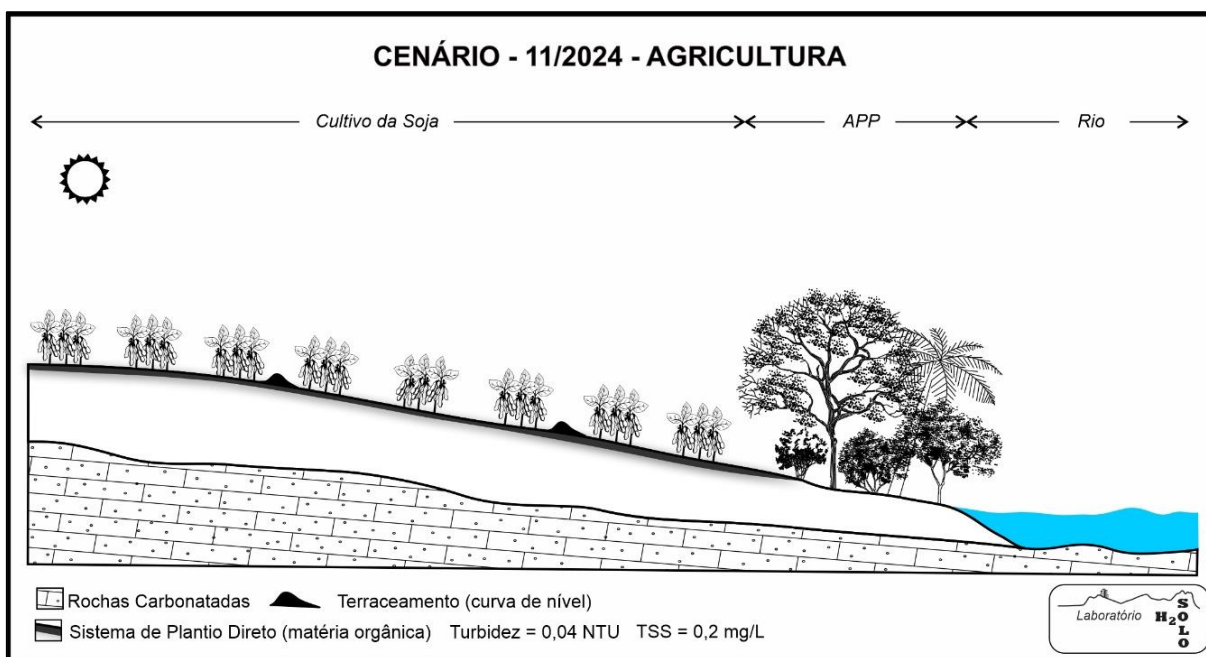
Foto 12: Rio Formoso 23/11/2024.



Fonte: Autora, 2025.

Esse cenário representa o equilíbrio da dinâmica do sistema cárstico ideal para a manutenção da transparência das águas e demonstra a importância do equilíbrio entre uso do solo, práticas conservacionistas e proteção das áreas de vegetação nativa (Figura 28).

Figura 28: Representação esquemática do cenário de 11/2024.



Fonte: Autora, 2025.

Cenário 02/2025 – Práticas conservacionistas consolidadas

No cenário de 02/2025, a dinâmica hídrica da Sub-Bacia do Rio Formoso apresentou um quadro bastante distinto dos anos anteriores, refletindo os efeitos combinados do manejo do solo, do avanço da agricultura e das condições climáticas do período (Foto 13).

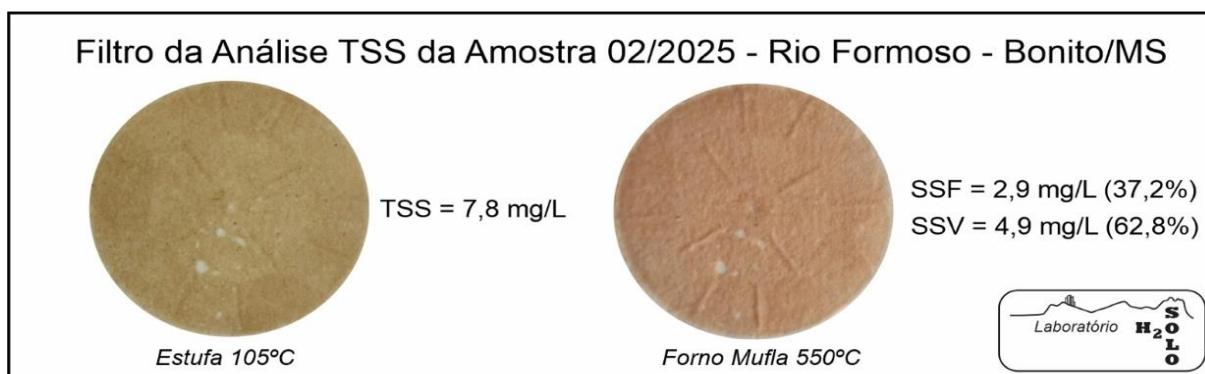
Foto 13: Turbidez da água do rio Formoso em 01/02/2025 (Ilha Bonita).



Fonte: Autora, 2025.

A amostragem realizada após uma precipitação intermediária apresentou valores elevados de turbidez (11,47 NTU), porém com baixo peso de sólidos suspensos totais (TSS = 7,8 mg/L). O dado mais expressivo foi a composição do TSS dos quais 62,8% eram constituídos por (SSF) sólidos suspensos voláteis (composto orgânica), indicando que a turbidez estava fortemente associada à presença de partículas orgânicas finas e não sedimentáveis, e não ao aporte de sedimentos minerais como em anos anteriores (Figura 29).

Figura 29: Filtro TSS antes e após retidos e SSF após calcinação em forno Mufla 550°C.



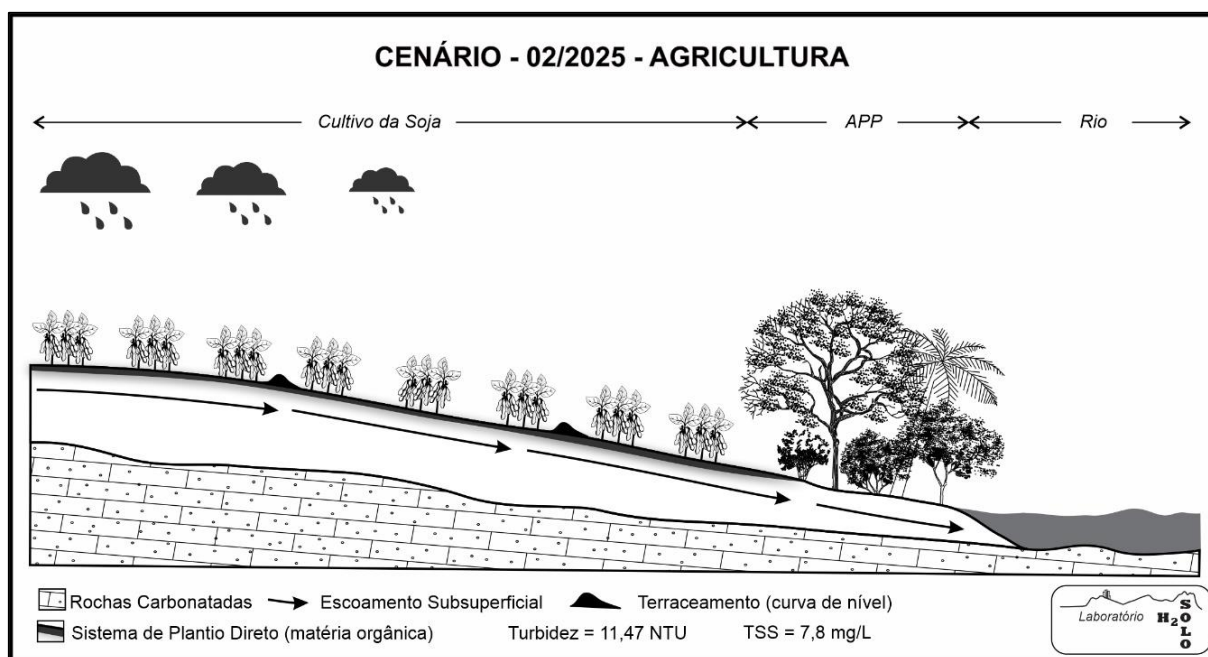
Fonte: Autora, 2025.

Esse padrão de turbidez alta e baixo peso de TSS está diretamente relacionado ao predomínio do escoamento subsuperficial, favorecido pela adoção do sistema de plantio direto no cultivo da soja e pela construção de terraços nas áreas agrícolas. O plantio direto, ao manter a cobertura de palhada sobre o solo, intensifica a produção de matéria orgânica e a atividade microbiana, resultando na geração de ácidos húmicos e fúlvicos que são facilmente lixiviados do solo para os cursos d'água durante e após eventos de chuvas. O terraceamento, por sua vez, redireciona parte do escoamento superficial para infiltrar no solo, ampliando ainda mais o transporte de matéria orgânica dissolvida para os rios.

A assinatura da matéria orgânica dissolvida, identificada revelou predominância de compostos frescos de baixo peso molecular (razão E254/E365 = 6,7), típicos da decomposição recente de resíduos culturais agrícolas. Além disso, as análises químicas das amostras de água mostraram aumento significativo nos teores de sulfato (2,12 mg/L) e nitrato (3,68 mg/L), reforçando a influência da lixiviação de fertilizantes e da decomposição da matéria orgânica sobre a qualidade da água.

Esses elementos, associados ao manejo intensivo do solo e à maior infiltração proporcionada pelo plantio direto, evidenciam uma mudança no padrão da dinâmica hídrica: o aporte de nutrientes e compostos orgânicos passou a ser dominado pelo fluxo subsuperficial, em contraste com a predominância do escoamento superficial observada em anos anteriores (Figura 30).

Figura 30: Representação esquemática do cenário 02/2025.



Fonte: Autora, 2025.

Esse novo cenário ressalta a complexidade da dinâmica hídrica em regiões cársticas sob uso agrícola intensivo. Apesar das práticas conservacionistas terem reduzido a erosão superficial, elas intensificaram a produção e o transporte de matéria orgânica dissolvida, prolongando episódios de turbidez e alterando a qualidade das águas do rio Formoso.

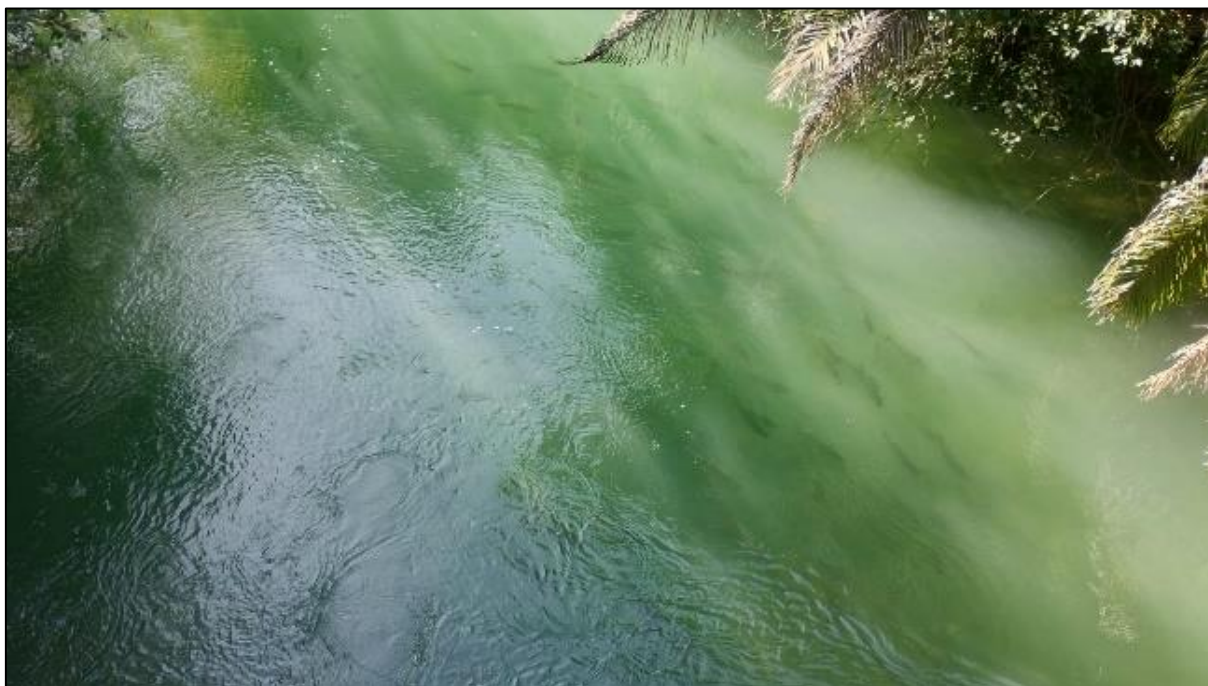
Cenário 05/2025 – Fenômeno Whiting

No cenário 05/2025, houve uma dinâmica hídrica singular, marcada por mais de 20 dias consecutivos de estiagem. Essa ausência prolongada de chuvas resultou em uma significativa redução da vazão dos rios, que passaram a ser alimentados quase exclusivamente pelos fluxos de escoamento profundo, provenientes das camadas mais internas do solo e do contato direto com as rochas carbonatadas da região cárstica. O rebaixamento do lençol freático e das águas subsuperficiais intensificou a circulação interna profunda, especialmente na interface solo-rocha, promovendo condições ideais para processos de dissolução química.

Diante disso, a percolação de matéria orgânica dissolvida (MOD), especialmente rica em ácidos húmicos e fúlvicos oriundos do manejo agrícola e da decomposição de resíduos culturais do plantio direto, teve papel um fundamental nessa dinâmica. Esses compostos orgânicos, ao infiltrarem-se no solo, aumentaram a reatividade química na superfície das rochas carbonatadas, acelerando a dissolução e promovendo a liberação de grandes quantidades de carbonato de cálcio (CaCO_3) para as águas subterrâneas e, conseqüentemente, para os cursos d'água superficiais. Com a redução do volume de água e a intensificação desse processo, os rios atingiram rapidamente o limite de saturação de CaCO_3 e com isso a formação de cristais (calcita e aragonita) proveniente da precipitação de carbonato de cálcio (Fotos 14 e 15).

A consequência direta desse cenário foi a ocorrência do fenômeno *whiting*, caracterizado pela precipitação de carbonato de cálcio na coluna d'água, conferindo-lhe aspecto leitoso e turbidez moderada (3,04 NTU), mesmo em plena estiagem e sem aporte de sedimentos por chuvas. As análises químicas registraram valores elevados de cálcio (85,57 mg/L) e dureza total (268,13 mg/L), além de um Índice de Saturação de Langelier positivo (+0,39), confirmando a condição de supersaturação e favorecendo a formação do *whiting*.

Foto 14: Rio Formoso com baixa visibilidade (-10cm de profundidade) em período de estiagem em 25/05/2025.



Fonte: Autora, 2025.

Foto 15: Rio Formoso (visibilidade apenas na superfície) em período de estiagem em 25/05/2025.

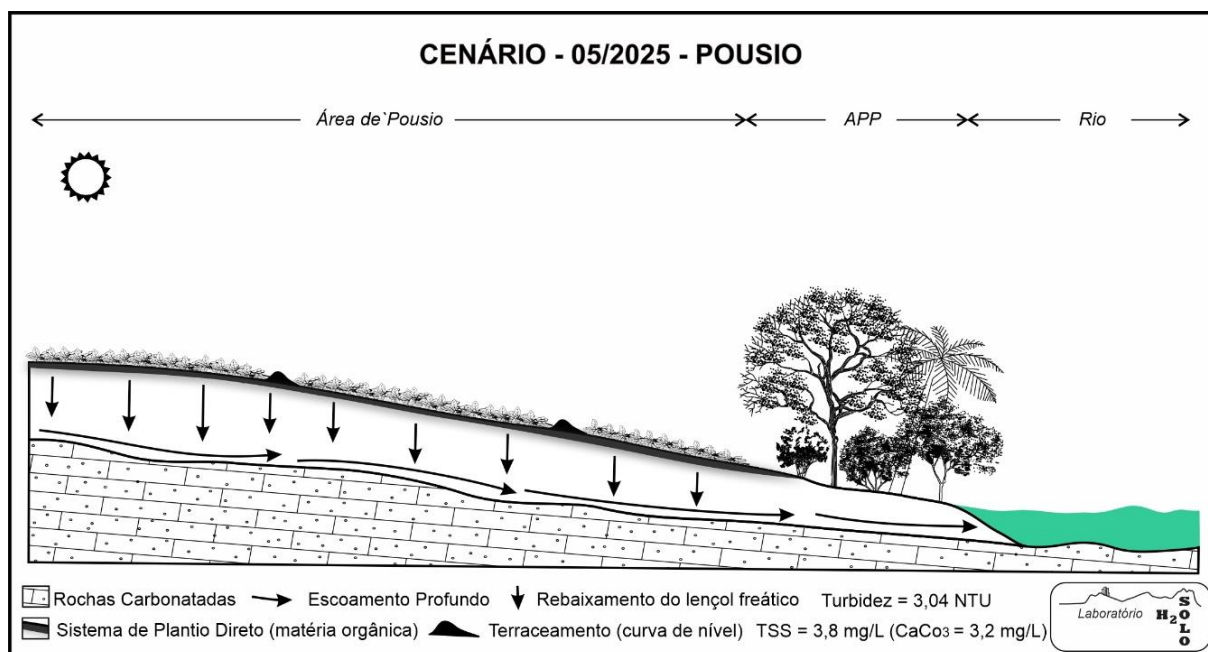


Fonte: Autora, 2025.

Esse cenário sustenta que, mesmo na ausência de precipitação, o manejo intensivo do solo e a produção de matéria orgânica associada ao plantio direto podem alterar profundamente

a dinâmica hídrica e química dos sistemas cársticos, favorecendo processos de dissolução e precipitação mineral que impactam diretamente a transparência das águas (Figura 31).

Figura 31: Representação esquemática do cenário de 05/2025.



Fonte: Autora, 2025.

Quando a turbidez tem uma boa correlação com TSS está relacionada diretamente com escoamento superficial com domínio de partículas inorgânicas (argila + coloides minerais). Enquanto a turbidez é influenciada pelo alto teor de partículas suspensas voláteis (matéria orgânica + coloides orgânicos) pode estar relacionada com fluxos de água subsuperficiais, durante ou após período de chuvas.

Agora em pleno período de estiagem, o aparecimento de turbidez em águas cristalinas com influência de regiões carstica está ligada diretamente com o "fenômeno *whiting*", ou seja, levantando a hipótese do rebaixamento do lençol freático rico em matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) proveniente do sistema de plantio direto do cultivo principalmente da soja, neste caso, esses compostos orgânicos entram em contato com a superfície das rochas carbonatadas e acelera a decomposição da rocha por intemperismo químico e a liberação do carbonato de cálcio que são carregados por meio do escoamento profundo para curso d'água saturando a água, com isso a precipitação do carbonato de cálcio torna a água esbranquiçada, gerando turbidez em período de estiagem.

Neste caso pode-se relacionar a turbidez em período de estiagem ao "fenômeno *whiting*" diretamente ligado com o escoamento profundo a nível de base (contato solo-rocha).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revelou que o avanço da agricultura (108 %), em substituição às áreas de pastagens na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, principalmente com o cultivo da soja, vem alterando a dinâmica das águas dessa bacia hidrográfica. Isso tem se refletido no aumento da turbidez das águas dos principais rios, o Formoso e o Formosinho, em diferentes épocas do ano, prolongando o tempo em que as águas permaneceram turvas.

A correlação entre a turbidez da água e os sólidos suspensos totais (TSS) na SBHRF demonstrou comportamentos distintos ao longo dos anos analisados, refletindo os diferentes mecanismos de transporte de partículas. Em períodos como em 10/2022, a turbidez esteve fortemente associada à presença de partículas minerais densas, transportadas por escoamento superficial em áreas de uso antrópico. Já em momentos em que a turbidez esteve elevada, mas o TSS foi baixo (como em 02/2025 e 06/2023), observou-se a predominância de partículas finas e coloidais, típicas de fluxos subsuperficiais e processos de lixiviação.

A análise hidroquímica da SBHRF evidenciou que a composição química das águas é predominantemente do tipo bicarbonatada cálcica, resultado direto da interação entre a água e as rochas carbonáticas do sistema cárstico. No entanto, essa composição varia de acordo com o substrato geológico associado aos principais rios da bacia. O Rio Formoso (P03) e seu exutório (P01) refletem a influência da dissolução dos calcários da Formação Cerradinho, com predominância de íons cálcio e bicarbonato. Já o Rio Formosinho (P02) apresenta concentrações mais elevadas de magnésio, o que caracteriza águas do tipo bicarbonatadas magnesianas, influenciadas pelas rochas dolomíticas da Formação Bocaina. Após a confluência desses cursos d'água, o padrão bicarbonatado cálcico permanece dominante, evidenciando o forte controle exercido pela litologia sobre a composição química da água. Apesar de variações pontuais e sazonais associadas à recarga hídrica e às atividades agrícolas, o sistema manteve uma relativa homogeneidade hidroquímica ao longo dos períodos analisados. Assim, a hidroquímica da SBHRF é diretamente condicionada pelas características litológicas dos diferentes compartimentos cársticos, com o Rio Formosinho sob domínio dolomítico/magnesiano e o Rio Formoso sob influência das rochas calcárias.

Assim o comportamento da turbidez nas águas circulantes na SBHRF frente às novas transformações no uso e ocupação do solo mostrou uma dinâmica contrastante. De um lado, observou-se uma turbidez associada ao aumento dos sólidos suspensos totais (TSS) na água, evidenciando o escoamento superficial decorrente de eventos de precipitação intensa. E do

outro, uma turbidez marcada pela presença de compostos orgânicos dissolvidos, resultantes da lixiviação do solo por meio do escoamento subsuperficial das águas de chuva retidas no solo, especialmente em áreas onde adotaram práticas de conservação do solo (terraceamento e sistema de plantio direto) durante os períodos chuvosos.

Essas modificações apontaram para uma quebra do equilíbrio da dinâmica água-solo, provocada pela inserção de fertilizantes e pela produção de matéria orgânica a partir da implementação do sistema de plantio direto. Essa prática, embora benéfica para a manutenção da umidade e da fertilidade do solo, promoveu a retenção das águas pluviais e estimulou a produção de matéria orgânica dissolvida.

Em regiões cársticas, o aumento substancial da produção de ácidos húmicos e fúlvicos pela ação microbiana, transporta esses compostos orgânicos por meio de microfissuras e microtúbulos para os horizontes mais profundos dos solos ricos em carbonato. Consequentemente, esses ácidos ao atingirem a superfície das rochas carbonatadas no contato solo-rocha, por meio do rebaixamento do lençol freático, intensifica o intemperismo químico, e promove maior aporte de CaCO_3 aos cursos d'água. Assim, o escoamento profundo carregado de íons cálcio ao somar-se com as águas do rio favorece a precipitação de carbonato na água, fenômeno conhecido como *whiting*, caracterizado pela turbidez da água com aspecto esbranquiçado, mesmo em período seco, que traz preocupação, pois ele impacta diretamente a cadeia do turismo na região de Bonito (MS), que depende da transparência e beleza das águas para sua sustentabilidade.

Com isto, urge a necessidade de fazer um monitoramento para mitigar os impactos identificados neste estudo, recomendando a adoção de estratégias integradas voltadas à proteção dos recursos hídricos e à sustentabilidade do uso do solo.

Uma das principais medidas sugeridas é o aumento das áreas de amortecimento entre as lavouras e as Áreas de Preservação Permanente (APPs), promovendo o retorno da pastagem nessas faixas. Essas zonas de pastagem funcionam como filtros naturais, capazes de reter parte dos sedimentos e da matéria orgânica dissolvida circulante no escoamento subsuperficial, antes que alcancem os corpos d'água, reduzindo tanto o aporte de sólidos em suspensão quanto de compostos orgânicos que contribuem para a turbidez, especialmente em regiões de intensa atividade agrícola.

Além disso, é fundamental implementar um programa de monitoramento contínuo da qualidade da água e dos processos hidrogeoquímicos e hidrossedimentológicos na bacia. O

presente estudo, ao analisar diferentes momentos e condições hidrológicas, evidenciou a necessidade de acompanhamento sistemático para detectar rapidamente alterações nos padrões de turbidez, sólidos em suspensão e composição química das águas. O monitoramento regular permitirá identificar tendências, avaliar a eficácia das práticas conservacionistas e ajudar a ajustar o manejo com adoção de práticas conservacionistas adequadas as especificidades das regiões cársticas, onde a dinâmica entre água, solo e rocha é especialmente sensível.

Por fim, destaca-se a importância de aperfeiçoar e adequar as práticas conservacionistas já adotadas, como o sistema de plantio direto e o terraceamento, levando em conta as particularidades do ambiente cárstico.

É necessário buscar um equilíbrio entre a manutenção da produtividade agrícola e a proteção dos recursos hídricos, promovendo a rotação de culturas, o manejo adequado dos resíduos agrícolas e o uso racional de fertilizantes. Essas ações, associadas ao fortalecimento das zonas tampão e ao monitoramento contínuo, são essenciais para preservar a transparência das águas, a sustentabilidade do turismo e a integridade dos ecossistemas aquáticos na região de Bonito -MS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO EM DIA.** Biólogo alerta para o impacto da soja nos rios e no ecoturismo em Bonito (MS). *Agro em Dia*, 29 jul. 2023. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/2023/07/29/biologo-alerta-para-o-impacto-da-soja-nos-rios-e-no-ecoturismo-em-bonito-ms/>.
- ALBERTI, M., BOOTH, D., HILL, K., COBURN, B., AVOLIO, C., COE, S. et al. (2007). **O impacto dos padrões urbanos nos ecossistemas aquáticos: uma análise empírica nas sub-bacias da planície de Puget.** *Plano Urbano Paisagístico*, 80 (4), 345–361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.08.001>
- ALLAN, J. D. **Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems.** *The Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic*, 2004. DOI: [10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122)
- ALMEIDA, R. B. **Variabilidade físico-química das águas da sub-bacia do rio Miranda-MS.** 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Três Lagoas, Três Lagoas, 2015.
- ALMEIDA, F. F. M. de. **Estudo geológico da Formação Cerradinho.** *Revista Brasileira de Geociências*, 1945.
- ALVES, V.M. **Perdas estimadas de solos por erosão sob diferentes dinâmicas de mudança de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, em Bonito - MS.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, Mo. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. **Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil.** *Ciência Rural*, v. 6, p. 1791-1797, nov./dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600045>
- BAFFAUT, C.; BENSON, V. W. **Modeling flow and pollutant transport in a karst watershed with SWAT.** *Transactions of the ASABE*, v. 52, n. 2, p. 469–479, 2009.
- BANDA B. **Águas turvas afetam turismo em Bonito (MS) e passeios são cancelados.** Banda B, 5 out. 2023. Disponível em: <https://www.bandab.com.br/nacional/aguas-turvas-afetam-turismo-em-bonito-ms-e-passeios-sao-cancelados/>. Acesso em 30 de set. 2024.
- BAPTISTA-MARIA, VR; SARTORI, ALB; VIEIRA, M.F. **Composição florística de florestas estacionais ribeirinhas no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.** *Acta Botânica Brasileira*, Belo Horizonte, v. 23, p. 535-548, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000200025>
- BARBOSA, M. A. C.; ZAMBONI, R. A. **Formação de um ‘Cluster’ em torno do Turismo de Natureza Sustentável em Bonito – MS.** Texto para discussão n. 772. Brasília: IPEA, 2000. 47p. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2248>
- BATENI, F. **Rangeland degradation and its impacts on water quality in Zayandehroud River Basin,** 2012. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/261703193_Rangeland_Degradation_and_Its_Impacts_on_Water_Quality_in_Zayandehroud_River_Basin

BATTILANI, J.L.; SCREMIN-DIAS, E.S.; SOUZA, A.L.T. **Fitossociologia de um trecho da mata ciliar do rio da Prata, Jardim, MS, Brasil**. Acta Botânica Brasileira, Belo Horizonte, v. 19, p. 597-608, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300021>

BETTEL, L. **Sediment Transport Investigation in a Karst Basin Defines Governing Transport Processes and Explains Hysteresis Patterns**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Kentucky, 2021. Disponível em: https://uknowledge.uky.edu/ce_etds/114/

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. V.3, Ed. UFSC, Florianópolis, 2003.

BOGGIANI, P. C.; ALMEIDA, F. F. M.; BORGES, M. S. **Geologia da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul**. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Orgs.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. p. 291-300.

BRADEN, J., SHORTLE, J. (2013). **Agricultural Sources of Water Pollution**. 10.1016/B978-0-12-375067-9.00111-X. DOI: [10.1016/B978-0-12-375067-9.00111-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00111-X)

BRASIL. **Manual de procedimentos em vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Altera a portaria de nº 56/1977**. Diário Oficial da União, 20 jan. 1990.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, n. 18, 2001.

BRENDAN J. HICKS e GLEN A. STICHBURY e LARS K. **Hindcasting clareza da água de imagens de satélite Landsat de lagos rasos não monitorados na região de Waikato, Nova Zelândia**. Environ Monit Assess, 2013. DOI: [10.1007/s10661-013-3098-2](https://doi.org/10.1007/s10661-013-3098-2)

BRUGNOLLI, R. M; CHÁVEZ, E. S. **O potencial das paisagens de uma região cárstica para o turismo: a bacia hidrográfica do rio Formoso, Bonito/MS**. GEOgrafia, v. 52, 2022. DOI: 10.22409/GEOgraphia2022.v24i52.a46589

CAMARGO, L. J. J. et al. **Análise da sustentabilidade do turismo ecológico no município de Bonito, Mato Grosso do Sul na promoção do desenvolvimento regional**. Sociedade & Natureza, v. 23, n. 1, p. 65–75, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1982-45132011000100006>.

CAMARGO, L. J. J.; CAMARGO, C. M. J.; RONDON, E. V.; QUEIROZ, H. P. B.; SANTOS, S. R.; FAVERO, S.; MERCANTE, M. A. (2011). **"Análise da sustentabilidade do turismo ecológico no município de Bonito, Mato Grosso do Sul na promoção do desenvolvimento**

regional." Sociedade e Natureza, 23(1), 65-75. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000100006>

CAVAZZANA, G. H.; PAIVA, L. A. **Avaliação da influência da suinocultura na qualidade da água subterrânea – São Gabriel do Oeste – MS.** Águas Subterrâneas, v. 32, n. 3, p. 346–353, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28971>

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo.** São Paulo, 2004.

CHEN B, CHENG Y-S. **The Impacts of Environmental Regulation on Industrial Activities: Evidence from a Quasi-Natural Experiment in Chinese Prefectures.** *Sustainability*. 2017; 9(4):571. <https://doi.org/10.3390/su9040571>.

CHIAVAROLLI, R. C. D. RÊGO; LIMA, M. L. P.; ALMEIDA, R. L. F.; SILVA, A. F.; SANTOS, C. S.; GALIZONI, F. M. **A água nossa de cada dia: conflitos ambientais, saúde e acesso à água de beber no semiárido brasileiro.** *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 27, n. 3, p. 849–860, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2022.v27n3/849-860/pt/>.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA GESTÃO AMBIENTAL DAS BACIAS DA REGIÃO DOS LAGOS, DO RIO SÃO JOÃO E ZONA COSTEIRA (CILSJ). **Monitoramento da Qualidade da Água dos Corpos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João – RH VI: 2º Relatório Revisão Parcial 01.** São Pedro da Aldeia, 2022. E-book. Disponível em: <https://www.oceanus.bio.br> . Acesso em: 20 mai. 2024.

CORREA, M. C. **Análise estratigráfica da Formação Cerradinho.** Boletim de Geociências, 1976.

COSTA, T.C.E.C.; SOUZA, M.G.; BRITES, R.S. **Delimitação e Caracterização de Áreas de Preservação Permanente, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).** Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Salvador, p. 121-127, 1996.

CRETAZ, AL E BARTEN, PK (2007). **Efeitos do uso do solo no fluxo de rios e na qualidade da água no nordeste dos Estados Unidos, Flórida e Londres** : CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, 319 pp.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CUNHA, A. M. C.; KARMANN, I. Gruta do Lago Azul – Bonito (MS). In: CURI, A.; BRITO, G. (org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil.** Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos – SIGEP, 2000. 10 p. (Sítio 034). Disponível em: <https://sigep.eco.br/sitio034/sitio034.htm>.

CURY, N.; FRANZMEIER, D.P. **Gênese e classificação dos solos: a contribuição brasileira.** Boletim Geográfico, 1984.

DANELUZZI, N. S.; GONÇALVES, V. D.; FREITAS, R. P. **Avaliação da qualidade da água de uma bacia hidrográfica urbana: estudo de caso bacia do rio Pinhalzinho II, Umuarama – PR.** *Ambiência*, v. 14, n. 3, p. 678-698, set./dez. 2018. DOI: 10.5935/ambiencia.2018.03.17.

DE SOUZA, C. A.; TREVELIN, A. C. Turismo Responsável: O caso de Bonito/MS. **REVISTA ACADÊMICA OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO DO TURISMO**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 50–66, 2016. DOI: 10.17648/raoit.v10n2.4201. Disponível em: <https://publicacoes.unigranrio.edu.br/raoit/article/view/4201>.

DIAS, J. **A região cárstica de Bonito, MS: Uma proposta de Zoneamento Geoecológico a partir de Unidades de Paisagem**. Ensaios e Ciência, v. 4, n. 1, p. 9-43, 2000.

EDWARDS, T.K.; GLYSSON, G.D. **Field methods for measuring river sediments**. US Geological Survey, 1999.

EMBRAPA. **Manejo do solo e ZARC são ferramentas para produtor reduzir os riscos com adversidades climáticas**. Embrapa Agrossilvipastoril, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/86740050/manejo-do-solo-e-zarc-sao-ferramentas-para-produtor-reduzir-os-riscos-com-adversidades-climaticas>.

EMBRAPA. **Manejo e conservação do solo**. Agência de Informação Tecnológica – Centeio, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/centeio/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/manejo-e-conservacao-do-solo>.

F. REZAEI H. R., SAFAVI e A. AHMADI. **Groundwater Vulnerability Assessment Using Fuzzy Logic: A Case Study in the Zayandehrood Aquifers, Iran**. Environmental Management. New York, 2012.

FILHO JÚNIOR, F. B.; SILVA, M. A. da; SAMPAIO, J. P. S.; REIS, A. S.; DUARTE, L. H. . **S. Avaliação dos parâmetros da balneabilidade no rio Mearim no município de Bacabal-MA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: IBEAS, 2014. Disponível em: <https://ibeas.org.br/congresso/2014/I-054.pdf>

GASPAR, L.; MABIT, L.; LIZAGA, I.; NAVAS, A. **Lateral mobilization of soil carbon induced by runoff along karstic slopes**. *Journal of Environmental Management*, v. 260, art. 110091, 15 abr. 2020.

GAÚCHAZH. Águas turvas afetam turismo em Bonito e passeios são cancelados. *GaúchaZH*, Porto Alegre, 25 abr. 2019. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2019/04/aguas-turvas-afetam-turismo-em-bonito-e-passeios-sao-cancelados-cjup8gc6v00ut01o4vzu6rff2.html>.

GOMES RIBEIRO, C.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; DE PAULA, R. S.; MEIRELES, C. G.; LOPES, N. H. B.; CLAVIJO ARCOS, R. E.; AMARAL, D. G. P. **Análise dos fluxos nos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG**. *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 4, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29148/19070/108814>.

GROUNDWATER PROJECT. **Karst: Environment and Management of Aquifers**. Publicação online, 2023.

GRUPO DE TRABALHO. Índices de Avaliação de Projetos Hídricos. (GTZ). **Coletânea de textos traduzidos: índices hidro ambientais – análise e avaliação do seu uso na estimação dos impactos ambientais e projetos hídricos**. Curitiba (PR); 1995. Cap. 2.

GUO, Y.; HUANG, F.; SUN, P.; ZHANG, C.; XIAO, Q.; WEN, Z.; YANG, H.. **Hydrogeological functioning of a karst underground river basin in southwest China**. *Ground Water*, v. 61, n. 2, p. 895–908, 2023. DOI: 10.1111/gwat.13361

HELMS, J. R. et al. **Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter**. *Limnology and Oceanography*, v. 53, n. 3, p. 955–969, 2008. DOI: [10.2307/40058211](https://doi.org/10.2307/40058211)

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3. ed. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1985. 263 p.

HREN, M. T. et al. **Major ion chemistry of the Yarlung Tsangpo-Brahmaputra river: Chemical weathering, erosion, and CO₂ consumption in the southern Tibetan plateau and eastern syntaxis of the Himalaya**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, p. 2907-2935, 2007. DOI: [10.1016/j.gca.2007.03.021](https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.03.021)

IAGRO. **Impactos da pecuária na bacia do Rio Formoso**. Campo Grande: Instituto de Defesa Agropecuária do Mato Grosso do Sul, 2021.

IBBS, R. J. **Water chemistry of Amazon river**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 36, p. 1061-1066, 1970.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Informativo Meteorológico**. Brasília: INMET, 2020.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Série Legislação: regularização fundiária em unidades de conservação da natureza. Volume 2. Brasília: ICMBio, 2010. Disponível em: https://www.gov.br/mda/pt-br/assuntos/povos-e-comunidades-tradicionais/repositorio-de-marcos-regulatorios-de-regularizacao-fundiaria-de-povos-e-comunidades-tradicionais/federais/orgaos-publicos/icmbio-2010_serie-legislacao_volume-2.pdf.

JESUS, D. B. M.; SOUZA, R. C. A. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, BA, e das atividades antrópicas relacionadas**. In: SEMINÁRIO ESTUDANTIL DE PRODUÇÃO ACADÊMICA (SEPA), 12., 2013, Salvador: UNIFACS, 2013. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/2817>

JOHNSON, L. B, RICHARDS, C., HOST, G. E, ARTHUR, J. W (1997). **Influências da paisagem na química da água em ecossistemas fluviais do Centro-Oeste**. *Fresh Water Biological*, 37 , 193–208.

KLEIN, F. M. et al. **Educação ambiental e o ecoturismo na Serra da Bodoquena em Mato Grosso do Sul**. *Sociedade & Natureza*, v. 23, n. 2, p. 311–321, ago. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000200013>

LEE, S.W.; et al. **Effect of land use on water quality in the watersheds of the Yeosu region, South Korea**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 148, p. 157–173, 2009.

LEE, S. W, HWANG, S., LEE, S. B (2009). **Abordagem ecológica da paisagem para as relações entre os padrões de uso do solo em bacias hidrográficas e as características da qualidade da água**. Paisagem e Planejamento Urbano, 92 , 80–89.

LENAT, D. R.; CRAWFORD, J. K. **Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina piedmont streams**. Hydrobiologia, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00021291>

LOPES F. W.A., DAVIS-COLLEY R. J., VON SPERLING E., MAGALHÃES-J. R A. P. **A water quality index for recreation in Brazilian freshwaters**. J Water Health, v. 14, n. 2, p. 243-254, 2016.

MACIEL, J. A. Estudo geológico da Formação Puga, Grupo Corumbá. Boletim de Geociências, 1959.

MALAGÒ, A.; EFSTATHIOU, D.; BOURAOUI, F.I. Regional scale hydrologic modeling of a karst-dominant geomorphology: **The case study of the Island of Crete**. *Journal of Hydrology*, v. 540, p. 64–81, 2016.

MAPBIOMAS. Coleção 8 do Projeto MapBiomias: **Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, 1985-2022**. São Paulo: MapBiomias, 2025. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

MAPBIOMAS. MapBiomias General "Handbook". **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Collection 7, Version 1.0, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

MASSOUD, M. A. **Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the Water Quality Index**. Environ Monit Assess, v. 184, p. 4151–4160, 2012.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento. **Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: SEPLAN-MS/IBGE, 1990.

MEDEIROS, R. B.; CHÁVEZ, E. S. **O potencial das paisagens de uma região cárstica para o turismo - a bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito/Mato Grosso do Sul, Brasil**. GEOgraphia, v. 24, n. 52, 25 jan. 2022.

MEDEIROS, R. B., CHÁVEZ, E. S, DA SILVA, C.A. E. T A. L. **Diagnóstico geoecológico de paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Bonito/MS, Brasil**. Environ Earth Sci 81, 174 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10247-6>

MEDEIROS, R. B.; BRUGNOLLI, A. L. P.; ALVES, L. **Qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do córrego Formosinho, Bonito/MS**. GOT – Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 19, p. 3–28, jun. 2020.

MEDEIROS, R. B.; SILVA, C. A. da. **Aspectos geológicos-geomorfológicos e parâmetros morfométricos da rede de drenagem: análise de um sistema cárstico**. *Confins*, n. 63, 27 jun. 2024.

MOR E NO-GÓMEZ, M. et al. **First application of the Integrated Karst Aquifer Vulnerability (IKAV) method.** *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 22, p. 1591–1606, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1591-2022>

MUCHAILH, A. C.; SOUZA, M. P.; PEREIRA, L. C. **Importância dos corredores ecológicos para a conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas.** *Revista Árvore*, v. 34, n. 3, p. 471-479, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v40i1.17106>

MUCHAILH, M.C.; RODERJAN, C.V.; CAMPOS, J.B.; MACHADO, Alt; CURCIO, G.R. **Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas passou a formação de corredores ecológicos.** *Floresta*, Curitiba, v. 1, pág. 147-162, 2010.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas; SANTANA, Murilo Luiz e Castro; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Avaliação da Qualidade da Água e Condições de Balneabilidade no Médio Rio Araguaia. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 308–327, 2020. DOI: 10.21664/2238-8869.2020v9i1.p07-15. Disponível em: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/3939>.

NAZARI, Saeid; FORD, William I.; KING, Kevin W. **Impact of flow pathway and source water connectivity on subsurface sediment and particulate phosphorus dynamics in tile-drained agroecosystems.** *Agricultural Water Management*, v. 269, art. 107641, 2022.

NOGUEIRA, A. C. R.; et al. **Estudo Estratigráfico e Litológico da Formação Bocaina, Grupo Corumbá.** *Boletim de Geociências*, 1978.

OBSERVATÓRIO DO TURISMO E EVENTOS DE BONITO-MS (OTEB). **Anuário Estatístico do Turismo de Bonito-MS: ano base 2023 – edição nº 09.** Bonito: Bonito Convention & Visitors Bureau, 2023. Disponível em: < www.otbonito.com.br >. Acesso em: 18 jun. 2024.

OLIVEIRA, O. A.; SOUZA, C. M.; SANTOS, L. F.; et al. **Principais modelos utilizados para avaliar vulnerabilidade dos aquíferos cársticos brasileiros: uma revisão.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 6, p. 4596-4622, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4596-4622>

OLIVEIRA, O. A. **Principais modelos utilizados para avaliar vulnerabilidade dos aquíferos cársticos brasileiros: uma revisão.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 4596–4622, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.6.p4596-4622. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261377>

OMS. **Diretrizes para a qualidade da água potável.** 3ª ed. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2003.

ÖRANSSON, G.; LARSON, M.; BENDZ, D. **Variation in turbidity with precipitation and flow in a regulated river system – river Göta Älv, SW Sweden.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 17, p. 2529–2542, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-17-2529-2013>.

PAZ, E. S., DUARTE, L. B. **A sustentabilidade socioeconômica e ambiental do turismo rural.** *Revista acadêmica Licencia&acturas*. P.124-133. Janeiro/junho de 2016.

PEREIRA, M. C. **Instrumentos para as gestões territorial e ambiental no contexto das paisagens cársticas.** 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/75994/2/INSTRUMENTOS%20PARA%20AS%20GEST%C3%95ES%20TERRITORIAL.pdfA.pdf>

PEREIRA, M. C.. **O carste sob os olhares da superfície: fragilidade, antropismo e planejamentos urbano e ambiental na região cárstica de Lagoa Santa - MG.** 2018. 229 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2018.

PERRIN, J. **A conceptual model of flow and transport in a karst aquifer based on spatial and temporal variations of natural tracers.** Tese (Ph.D.) – University of Neuchâtel, 2003.

PEURAVUORI, J.; PIHLAJA, K. Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Analytica Chimica Acta*, v. 337, p. 133-149, 1997.

QUIÑONERO, J. M.; BOIX-FAYOS, C.; NADEU, E.; DE VENTE, J. **Coupling sediment flow-paths with organic carbon dynamics across a Mediterranean catchment.** *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, maio 2014.

RABAHY, W. A. **Análise e perspectivas do turismo no Brasil.** Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo, v. 14, n. ja/abr. 2020, p. 1-13, 2020 Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.7784/rbtur.v14i1.1903>. Acesso em: 08 abr. 2024.

REZENDE-FILHO, A. T. **Variabilidade química das águas na Bacia do Alto Paraguai: uma compartimentação do Pantanal Mato-grossense.** Tese de Doutorado (Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RODRÍGUEZ, Á. G. P.; et al. **Exposure to contaminants in karst groundwater.** *Palgrave Encyclopedia of Sustainable Resources and Ecosystem Resilience*, pp. 1–20, 2024.

SANTANA, M.; AZARIAS, V. **Solos do Brasil: Latossolos.** Parque CienTec. Disponível em: Acesso em: 30 set. 2024. <https://www.parquecientec.usp.br/saiba-mais/solos-do-brasil-latossolos>.

SANTOS, C. L.; SILVA, O. G.; VITAL, S. R. O. **Mapping of risk areas associated with karst in urban area of the municipality of João Pessoa-PB.** *Sociedade & Natureza*, v. 34, e63641, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/nXVRBLmTSbLPrVwVJxjH3SS/?lang=pt>

SENESI, N.; MIANO, T. M.; PROVENZANO, M. R.; BRUNETTI, G. **Spectroscopy and compositional comparative characterization of I.H.S.S. reference and standard fulvic and humic acids of various origins.** *The Science of the Total Environment*, v. 81/82, p. 143–156, 1989.

SILVA, Cl. D. D. (Org.). **Educação ambiental, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: investigações, desafios e perspectivas futuras.** 1.ed. Curitiba-PR: Editora Bagai, 2021. E-book. Disponível em : <https://doi.org/10.37008/978-65-89499-79-4.18.05.21> .

- SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, L. B. **Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 2.** Avaliação. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 4, n. 2, p. 206-212, 2009.
- SILVA, D. M. C.; XAVIER, M. G. P.; LINS, S. L. B. **A sustentabilidade socioeconômica e ambiental do turismo rural.** Revista Turismo & Desenvolvimento, n. 25, p. 99-110, 2016.
- SILVA, P. V. da; PIROLI, E. L.; PINTO, A. L. **Água e turismo na bacia do rio Formoso em Bonito - MS: percepção dos turistas.** Revista Formação, v. 23, pág. 287-310, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.37008/ISSN-2178-7298>.
- STRAYER, D. L. et al. **Effects of land cover on stream ecosystems: roles of empirical models and scaling issues.** Ecosystems, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00021506>
- SZIKSZAY, M. **Geochemistry of weathering and water-rock interaction.** Elsevier, 1993. 320 p.
- TAVARES, A. S. **Dinâmica hidrossedimentológica em ambientes cársticos do Cerrado brasileiro: estudo de caso no nordeste de Goiás.** 2023. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.
- TERUYA JUNIOR, H. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, MS.** Campo Grande, 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2010.
- TODD, J.; MAYS, B. **Sustainable Water Systems: A Guide to Community Water Management.** San Francisco: Island Press, 2005.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, C. T. **Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Itu/RS.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 16, n. 2, 2015.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1993.
- TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez.** RIMA, IIE. São Carlos, 2003.
- UMEDA, C. Y. L.; SANTOS, T. H. L.; LASTORIA, G.; OLIVEIRA, A. P. G.; COUTINHO, H. L. C.; PARANHOS FILHO, A. C. **Uso de sensoriamento remoto na identificação de corredores ecológicos: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Bonito, MS.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. –, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040079011>
- VASCONCELOS, B. R. **Proveniência sedimentar do Grupo Cuiabá na Faixa Paraguai Meridional.** 2018. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- VASCONCELOS, B. R.; RUIZ, A. S.; MATOS, J. B. **Deformação polifásica e metamorfismo do Grupo Cuiabá na região de Poconé (MT), Cinturão de dobras e cavalgamentos Paraguai: implicações cinemáticas e tectônicas.** Revista Brasileira de Geologia, v. 1, pág. 51-63, mar. 2015.

VAZ, L. G. DE L. et al. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** *Eclética Química*, v. 35, n. 4, p. 45–54, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>

VESTENA, L. R.; KOBİYAMA, M.; SANTOS, J. C. **Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas.** In: RA'EGA, p. 81-94, 2002. DOI:

VON SPERLING, N. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E. S.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. C.; ALVES, L. S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 44 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).

WANG, L. et al. **Subsurface flow aggravates the soil erosion on steep slopes in karst.** *Journal* (2024).

WU, J, HOBBS, R. (2002). **Key Issues and Research Priorities in Landscape Ecology.** *Landsc. Ecol.* 17. 355-365. 10.1023/A:1020561630963.

ZUBCOV, H. T.; SOUZA, D. L.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; CAVAZZANA, G. H. **Transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Formoso em Bonito/MS.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., 2023, Bonito-MS. ABRH, 2023.