



Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

Organização:

- Kleber Carvalho Lima
 - Everton Vinicius Valezio
-





Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

Organização:

- Kleber Carvalho Lima
- Everton Vinicius Valezio

MOSSORÓ- RN, 2026.

UERN



Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Reitora

Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretor da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Chefe do Setor Executivo da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Jacimária Fonseca de Medeiros

Chefe do Setor de Editoração da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Conselho Editorial das Edições UERN

Andreza Tacyana Félix Carvalho

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Franklin Roberto da Costa

Fernanda Abreu de Oliveira

Gleisson do Carmo Oliveira

Ismênia Gurgel Martins

Jacimária Fonseca de Medeiros

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Maria Ione da Silva

Otoniel Fernandes da Silva Júnior

Patrícia Batista Barra

Kalidia Felipe de Lima

Saulo Gomes Batista

Sérgio Luiz Pedrosa Silva

Capa e Diagramação

Gabriela Mabel Alves Vieira

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia-Vol.VIII [recurso eletrônico]. / Kleber Carvalho Lima, Everton Vinicius Valezio (orgs.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

71 p.

ISBN: 978-85-7621-577-6 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Quantificação - Geomorfologia. 2. Processos geomorfológicos. 3. Geomorfologia - Brasil. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

CDD 551.4

Bibliotecário: Aline Karoline da Silva Araújo CRB 15/ 783

Sumário:



- APRESENTAÇÃO.....** 05
- 1. TAXAS DE DENUDAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ-SP** 07
- Vinícius Borges Moreira;
Paulo M. Vasconcelos;
Fabiano Tomazini da Conceição.
- 2. IMPACTO DO FOGO NA COMPOSIÇÃO E PRESERVAÇÃO DE ASSEMBLEIAS POLÍNICAS EM FLORESTA DEGRADADA E VEGETAÇÃO HERBÁCEA NO DOMÍNIO DA FLORESTA ATLÂNTICA MONTANA (NOVA FRIBURGO-RJ)** 22
- Karoline Mayume B. Ishimine;
Juliana Vasconcellos Teani Machado;
Ana Carolina Facadio Campello;
Ortrud Monika Barth;
Ana Luiza Coelho Netto.
- 3. REGISTRO PALEOAMBIENTAL DO HOLOCENO MÉDIO ATÉ O PRESENTE EM TESTEMUNHO TURFOSO, PARQUE NACIONAL DAS ARAUCÁRIAS - SC** 38
- Guilherme Luiz Girardi;
Marga Eliz Pontelli;
Gisele Leite de Lima Primam;
Beatriz de Jesus Barros;
Tayna Ayme Pelegrini Mohr;
Victoria Paulina Joaquim.
- 4. IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES** 57
- Lucas da Silva Ribeiro;
Luís Eduardo de Souza Robaina;
Romario Trentin;
Sandro Sidnei Vargas de Cristo.



Geomorfologia do Brasil

Apresentação

A **Coleção Geomorfologia do Brasil**, editada pela Edições Uern - EDUERN, reúne contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de diferentes regiões do país que apresentaram seus trabalhos no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado em Natal (RN), entre os dias 4 e 8 de agosto de 2025.

Composta por 14 volumes temáticos, a coleção expressa a diversidade e a vitalidade da produção científica brasileira em Geomorfologia, contemplando desde abordagens clássicas até perspectivas inovadoras que integram novas tecnologias, análises ambientais e dimensões sociais da paisagem. Cada livro reflete o compromisso coletivo de fortalecer e divulgar o conhecimento geomorfológico produzido no Brasil, promovendo diálogo entre diferentes áreas e instituições.

... OS VOLUMES QUE COMPÕEM A COLEÇÃO SÃO:



1. Intemperismo, Solos e Paisagem

organizado por Davi do Vale Lopes (UFRN)



2. Processos e Formas de Vertente

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

organizado por José Yure Gomes dos Santos (UFRN)
e Filipe da Silva Peixoto (UERN)



4. Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

organizado por Antônio Rodrigues Ximenes Neto (UFRN)



5. Geomorfologia de Áreas Cársticas

organizado por Luiz Eduardo Panisset Travassos (PUC-MG)



6. Geomorfologia Estrutural

organizado por Abner Monteiro Nunes Cordeiro (UFRN)



7. Geomorfologia Ambiental

organizado por Glairton Cardoso Rocha (IFPI)



8. Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

organizado por Kleber Carvalho Lima (UPE)
e Everton Vinicius Valezio (UPE)



9. Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado

organizado por Rosangela Garrido Machado Botelho (IBGE)



10. Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

organizado por Maria Carolina Villaça Gomes (UERJ)



11. Antropoceno e Geomorfologia Urbana

organizado por Guilherme Borges Fernandez (UFF)
Miguel Felipe (UFJF)
e Maria Luíza de Oliveira Terto



12. Geodiversidade e Patrimônio Geomorfológico

organizado por Thiara Oliveira Rabelo (UFRN)
e Luciana Martins Freire (UFPA)



13. Geotecnologias e Inteligência Artificial Aplicadas à Geomorfologia

organizado por Paulo Victor do Nascimento Araújo (IFRN)
e Sílvio Braz de Sousa (UFRN)



14. Ensino de Geomorfologia na Educação Formal e Não Formal

organizado por Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque (UFDFPar)
e José Falcão Sobrinho (UVA)

Mais do que uma coletânea de textos, esta coleção constitui um registro histórico da consolidação da geomorfologia brasileira em múltiplas frentes — teórica, metodológica e aplicada. Esperamos que cada volume inspire novas leituras do relevo, novas formas de pensar a paisagem e novos caminhos de pesquisa comprometidos com a compreensão das dinâmicas da superfície terrestre.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

*Jacimária Fonseca de Medeiros, Thaís Guimarães,
e Marco Túlio Mendonça Diniz*

Organizadores da Coleção Geomorfologia do Brasil



TAXAS DE DENUDAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ-SP

Vinícius Borges Moreira ¹

Paulo M. Vasconcelos ²

Fabiano Tomazini da Conceição ³

PALAVRAS-CHAVE: Geoquímica fluvial, Intemperismo, Geomorfologia antropogênica.

RESUMO

As taxas de denudação química e física em bacias hidrográficas, fatores determinantes na esculturação do relevo, refletem a morfodinâmica de formação de perfis de alteração e erosão dos solos, respectivamente. O presente trabalho tem como objetivo usar a geoquímica fluvial para quantificar as taxas médias de denudação a partir da determinação do balanço das cargas dissolvidas e suspensas transportadas pelo Rio Corumbataí - SP. Para isso, foram realizadas 38 amostragens, entre junho de 2024 e março de 2025, com intervalo de aproximadamente uma semana, para monitorar a carga dissolvida e suspensa no baixo curso desta bacia hidrográfica. Os valores de temperatura (T), pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) das águas fluviais foram caracterizados através de sonda multiparâmetros modelo YSI 556. Ainda, foram realizadas coletas de águas fluviais para quantificação dos sólidos totais em suspensão (STS), usando o Espectrofotômetro Hack DR 2800. Também foram realizadas medições periódicas de vazão (Q) com base na curva-chave da Estação Recreio prefixo 4D-021 e medições *in loco* na régua fluviométrica instalada pelo DAEE – SP na mesma Estação. Os valores médios para o período analisado, bem como a média no período seco e chuvoso, foram: Q = 22,2, 3,2 e 45,7 m³/s; T = 23,1, 21,1 e 25,6 °C; pH = 6,8, 6,8 e 6,8; CE = 144, 178 e 101 µS/cm; STD de 10, 12 e 6 mg/L e STS de 54, 6 e 113 mg/L. Com isso, os valores de transporte específico de STD e STS foram 2,3, 0,8 e 4,1 e 89,7, 0,4 e 200,1 ton/km²/ano, respectivamente. A partir destes resultados, foram calculadas as taxas de denudação, obtendo taxas de denudação química de 0,9, 0,3 e 0,5 m/Ma e denudação física de 74,8, 0,3 e 166,7 m/Ma. Os resultados obtidos para a denudação química são compatíveis com demais taxas de denudação conhecidas para as rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná na região sudeste. Contudo, as taxas de denudação física foram muito superiores aos valores estimados, através da geocronologia de intemperismo, para a denudação média da Depressão Periférica Paulista durante o Cenozoico. Este aumento da denudação física no período atual é correlacionado com o uso e ocupação predominante na bacia do Rio Corumbataí e sua mudança ao longo do tempo, indicando que as atividades antrópicas influenciam diretamente no balanço de denudação atual.

1 Pós-Doutorando do Instituto de Geociências e Ciências exatas da Universidade Estadual Paulista/UNESP, Rio Claro - SP, vinicius.moreira@unesp.br

2 Associate Professor on School of Earth and Environmental Sciences, The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia, p.vasconcelos@uq.edu.au

3 Professor Titular do Instituto de Geociências e Ciências exatas da Universidade Estadual Paulista/UNESP, Rio Claro – SP, fabiano.tomazini@unesp.br



INTRODUÇÃO

As taxas de denudação física e química estão diretamente associadas à intensidade e velocidade dos processos intempéricos, que resultam na formação e na remoção da cobertura pedológica, alterando, portanto, o modelado da superfície terrestre. Nesse sentido, o intemperismo químico consiste no processo em que os minerais primários das rochas são quimicamente alterados e transformados em minerais secundários, dando origem ao perfil de intemperismo. Além disto, este processo também libera os íons solúveis que são translocados entre os horizontes do solo e fornecem a carga dissolvida a rede hidrográfica (Boeglin e Probst, 1998; Millot *et al.*, 2002). Por sua vez, de acordo com Fernandes *et al.* (2020), o intemperismo físico está associado ao processo de perda ou erosão hídrica dos solos, que promove uma redução na espessura dos mesmos, deixando feições erosivas na superfície do terreno, sendo o material removido sujeito aos processos de transporte e sedimentação em sistemas hidrográficos. Destaca-se que a perda de solos está diretamente associada aos aspectos físicos da área fonte que podem ser avaliadas a partir de algumas variáveis ambientais como: erodibilidade, erosividade, declividade, cobertura vegetal, assim como aos aspectos antrópicos associado ao uso e manejo das terras (Renard *et al.*, 1997).

A determinação do balanço entre as taxas de intemperismo químico e físico pode indicar se a espessura dos solos de determinada bacia está em equilíbrio sob as atuais condições climáticas e de uso da terra. Não estando em equilíbrio, é importante compreender em qual magnitude a espessura do perfil do solo está diminuindo, pois este é um instrumento que pode auxiliar em projetos de zoneamento urbano, ambiental e agrícola, conforme descrito por Spatti Júnior *et al.* (2014). Nesse sentido, podendo até mesmo indicar a viabilidade de futuras mudanças de uso e ocupação das terras visando a conservação dos solos. O uso da geoquímica fluvial em bacias hidrográficas para avaliar o intemperismo químico e físico inicia-se nas décadas de 1960, onde estudos pioneiros (Barth, 1961; Gibbs, 1970; Johnson *et al.*, 1968; Tardy, 1971) investigaram a origem e a composição das cargas dissolvidas cátions, ânions e sílica e material particulado em suspensão. Posteriormente, diversas pesquisas foram desenvolvidas ajustando as contribuições atmosféricas e antrópicas para calibrar os modelos geoquímicos usados na avaliação das taxas de denudação (Meybeck, 1987; Stallard and Edmond, 1987; Lasaga *et al.*, 1994; Mortatti and Probst, 2003). No sudeste do Brasil, destacam-se os estudos que contribuíram de forma significativa para o entendimento destas taxas em diferentes ambientes e contextos geológicos-geomorfológicos (Salgado *et al.*, 2006; Sardinha *et al.* 2013; Spatti Júnior *et al.*, 2019; Conceição *et al.*, 2003, 2004, 2015, 2024; Fernandes *et al.*, 2020).



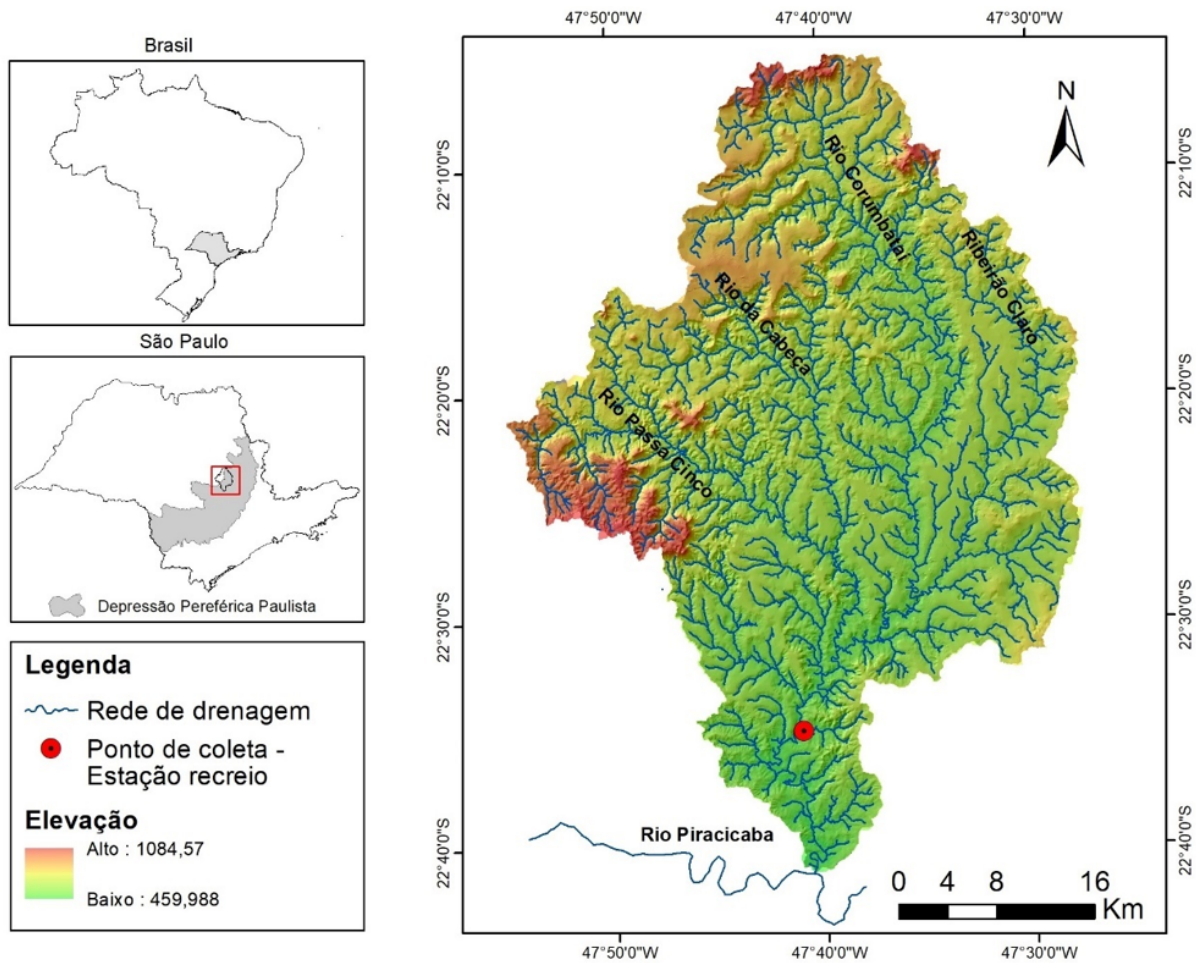
Com o avanço e popularização de novas tecnologias e ferramentas de análise dos componentes hidroquímicos em águas fluviais, foi possível a rápida e até mesmo automática obtenção de dados. Tais métodos diminuíram o tempo gasto em rotinas de laboratórios e possibilitaram maior volume de coleta de dados em menor tempo. A partir do exposto, o objetivo deste trabalho consistiu em determinar as taxas de denudação química e física atuais para a bacia do Rio Corumbataí - SP. Destaca-se que tal bacia hidrográfica possui grande interesse regional hídrico por abastecer diretamente uma população estimada em cerca de 745 mil habitantes IBGE (2024), além de ser um importante centro agropecuário e de atividades minerais do estado de São Paulo (ENGEORPS 2020; Lupinacci *et al.*, 2022), situando-se em área de grande importância estratégica do estado de São Paulo.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Corumbataí possui 1.710 km², sendo importante afluente situado na margem direita do Rio Piracicaba. Ainda, localiza-se na porção Centro-Occidental do compartimento geomorfológico Depressão Periférica Paulista – DPP (Fig. 1). Suas principais nascentes afloram no *front* da estrutura de *Cuestas* arenito-basálticas, conferindo-lhe elevado gradiente topográfico neste setor, o qual tende a ser suavizado no médio e baixo curso da bacia do Rio Corumbataí. A DPP está inserida na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná (Almeida, 1949; Ab’Saber, 1969), entre os relevos correspondentes ao Planalto Atlântico elaborado em rochas cristalinas do Pré-Cambriano e o Planalto Occidental Paulista composto pelos basaltos da Formação Serra Geral e rochas sedimentares do Grupo Bauru. Sua gênese está relacionada aos movimentos verticais estruturais ocorridos durante o Cenozoico, assim como a processos denudacionais relacionados à erosão diferencial que moldou o relevo de *Cuestas*, gerando as estruturas tectônicas e paleosuperfícies geomorfológicas observadas no alto, médio e baixo curso da referida bacia (Ab’Saber, 1969; Pentead, 1968; Pinheiro e Queiroz Neto, 2015).



FIGURA 1 – Localização da bacia do Rio Corumbataí



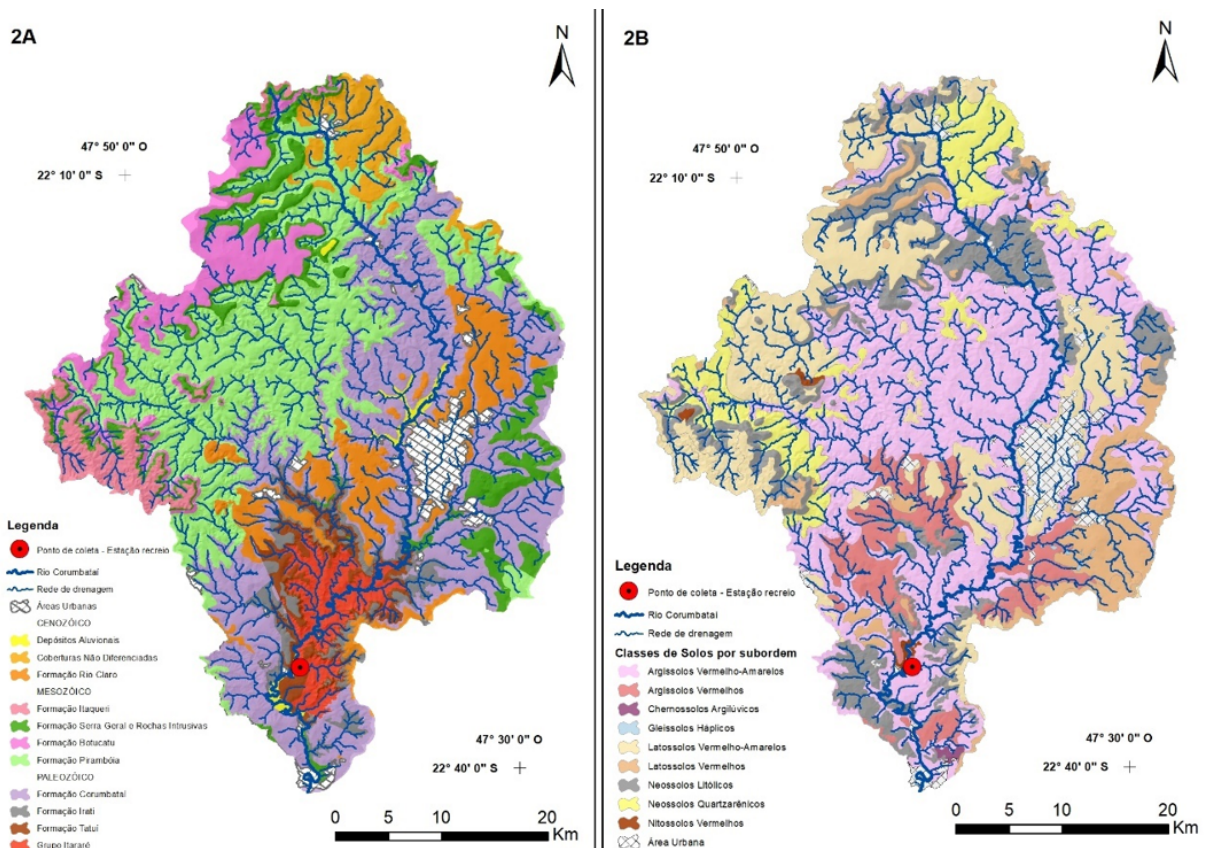
FONTE: ANA (2015).

De acordo com Garcia et al. (2011), as litologias que afloram na bacia do Rio Corumbataí consistem cronologicamente em: Paleozoico (Grupo Itararé e Formações Tatuí, Irati e Corumbataí); Mesozoicas (Formações Piramboia, Botucatu, Serra Geral e intrusivas básicas e Itaqueri); e Cenozoicas (Formação Rio Claro, Coberturas não diferenciadas e Depósitos aluvionares) (Fig. 2A). Quanto ao controle estrutural da rede de drenagem, identifica-se um alinhamento preferencial para os canais de primeira e segundo ordem e ocorrência de anomalias ou rupturas no perfil longitudinal dos canais de maior ordem, conforme descritas por (Etchebehere et al., 2011; Pinheiro e Queiroz Neto, 2015), sendo reflexos de controles tectônicos/neotectônicos elaborados pela atividade de falhas transcorrentes e normais sub-verticais. Quanto a classificação dos Solos (Fig. 2B), Rossi (2017) identifica as seguintes subordens especializadas na bacia do Rio Corumbataí: Argissolos Vermelho-amarelos e Vermelhos; Chernossolos Argilúvicos; Gleissolos Háplicos; Latossolos Vermelho-amarelos e Vermelhos; Neossolos Litólicos e Quartizarênicos; e Nitossolos Vermelhos.



O clima da região é do tipo Aw (classificação Köeppen), ou seja, clima tropical chuvoso caracterizado por verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro), com precipitação média anual de 1462,92 mm, conforme aferições realizadas na estação Unesp-Rio Claro prefixo D4-112 DAEE (2025) entre 1995 e 2023 (Fig. 3). O ponto de coleta estabelecido para a coleta dos dados hidroquímicos é a estação Recreio prefixo 4D-021, localizada entre as coordenadas 22°34'54" S e 47°41'02" O com vazão média mensal de 47,7 m³/s conforme DAEE (2025) (Fig.3).

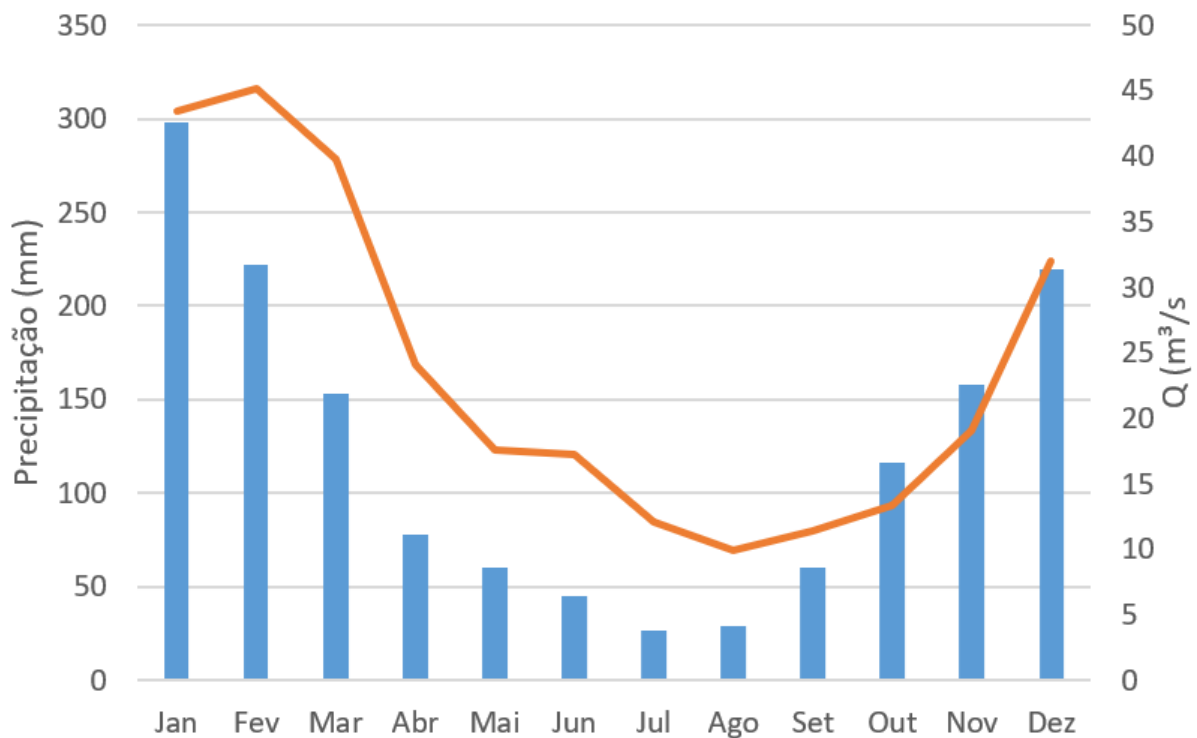
FIGURA 2 – Mapa de unidades litológicas e solos da Bacia do Rio Corumbataí



FONTE: Garcia, 2011; Rossi, 2017. Adaptado pelo autor.



FIGURA 3 – Médias históricas de precipitação mensal x vazão para a bacia do rio Corumbataí, aferidas nas estações Unesp – Rio Claro (1995-2023) e Recreio (1973 -2023).



FONTE: DAEE, 2025.

MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento da vazão e dos parâmetros físico-químicos foi realizado *in loco* através de coletas semanais no Rio Corumbataí, próximo a ponte da Estação Recreio prefixo 4D-021 (Fig. 4). Tais coletas foram realizadas entre 12 de junho de 2024 e 27 de fevereiro de 2025, totalizando 38 amostragens, as quais contemplaram os períodos secos e chuvoso. Este ponto foi selecionado devido ser o local mais próximo a foz que possui régua fluviométrica instalada pelo DAEE-SP, além de longo acervo de dados de vazão e curva-chave apresentada em Conceição e Bonotto (2002). Sendo assim, a cada coleta de água fluvial também foi obtida a vazão instantânea de acordo com o nível d'água indicado na régua fluviométrica.

Com o auxílio de uma sonda multiparâmetros modelo YSI 556, foram quantificados os valores momentâneos de sólidos totais dissolvidos – STD (mg/L), temperatura (T em °C), condutividade elétrica (CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pH das águas fluviais. A sonda utilizada foi calibrada periodicamente de acordo com recomendações do fabricante e as coletas foram feitas em triplicata. Além disto, foram realizadas coletas de água em frascos de polietileno rotulados para quantificação dos sólidos totais suspensão (STS em mg/L), usando o Espectrofotômetro Hack DR 2800 em ambiente laboratorial.



A partir dos valores obtidos, foi possível estimar a taxa de transporte médio diário (kg/dia) de STD e STS e, posteriormente, considerando a área da bacia a montante foi possível estimar o fluxo de transporte específico para cada dia de amostragem (kg/km²/dia). Por fim, obteve-se o fluxo de transporte específico anual de STD e STS (*IQ*) para a bacia do Rio Corumbataí (ton/km²/ano). A partir destes valores médios, determinaram-se as taxas de denudação química (*Dq* em m/M ano) e física (*Df* em m/M ano), usando as Equações 1 e 2, respetivamente, onde ρ e ρ' correspondem a densidade média das rochas (2,65 ton/m³) e solos (1,25 ton/m³) nesta bacia hidrográfica (Spatti Júnior et al., 2014).

$$Dq = \frac{IQ}{\rho} \quad (1)$$

$$Df = \frac{IQ}{\rho'} \quad (2)$$

FIGURA 4 - Fotografias do Rio Corumbataí na Estação Recreio no período de seca (coluna da esquerda) no dia 14/09/2024 e período chuvoso (coluna da direita) no dia 31/01/2025.



FONTE: Autores.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por amostragem, assim como as médias gerais, além da média do período seco e chuvoso. Quanto aos resultados da Tabela 1, destaca-se que o pH não sofreu variações significativas durante todo o período analisado, obtendo valores médios iguais tanto no período seco como chuvoso, sendo os mesmos próximos a neutralidade. Já os valores de Q, T, CE, STD e STS apresentaram comportamentos antagônicos entre as amostragens nos períodos secos e chuvosos, demonstrando a forte influência da sazonalidade nestes parâmetros. Para Q e T, os maiores valores foram obtidos no período chuvoso, com valores médios de 22,2 m³/s, e 23,1°C, respectivamente. Fato inverso ocorreu com os valores de CE, onde os maiores valores ocorreram no inverno, com valor médio de 144 µS/cm.

As [STD] foram menores no período chuvoso, assim como a CE, pois estes dois parâmetros estão associados à quantidade íons dissolvidos nas águas fluviais. Sendo assim, a partir do aumento de Q no período chuvoso, observa-se que a [STD] diminui, sendo que o inverso ocorre no período de seca, quando o volume de água no canal é menor. A Fig. 5 ilustra esta relação de Q e [STD], com coeficiente de determinação (R²) de 0,79.

FIGURA 5 – Gráfico Q x STD. Os círculos laranja representam amostras coletadas no período de estiagem e os círculos cinza são amostras coletadas no período chuvoso.

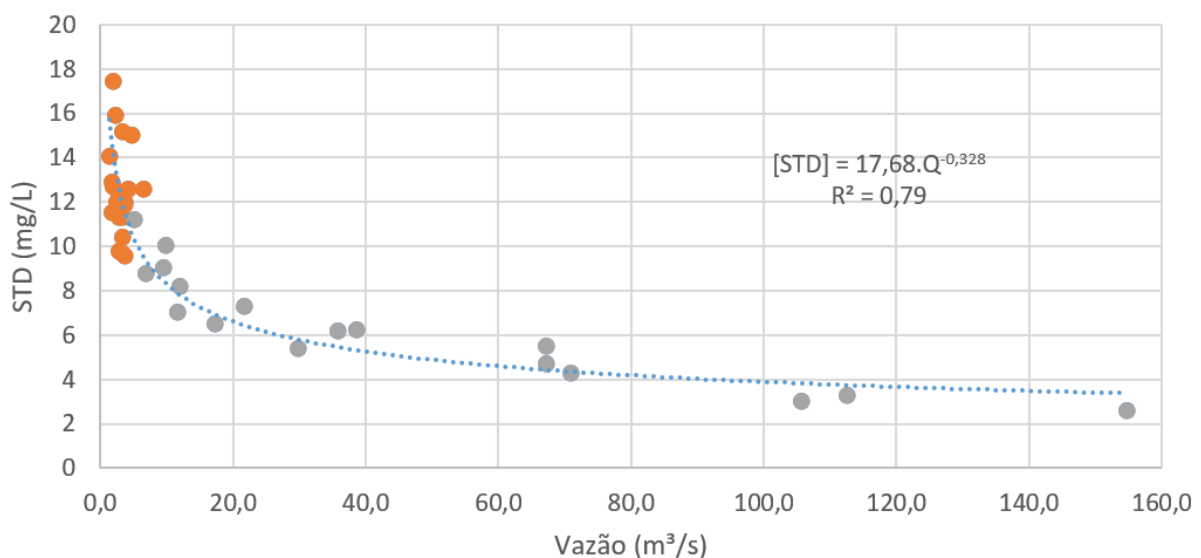




TABELA 1 – Vazão (Q) e parâmetros físico-químicos obtidos para as águas do Rio Corumbataí na Estação Recreio.

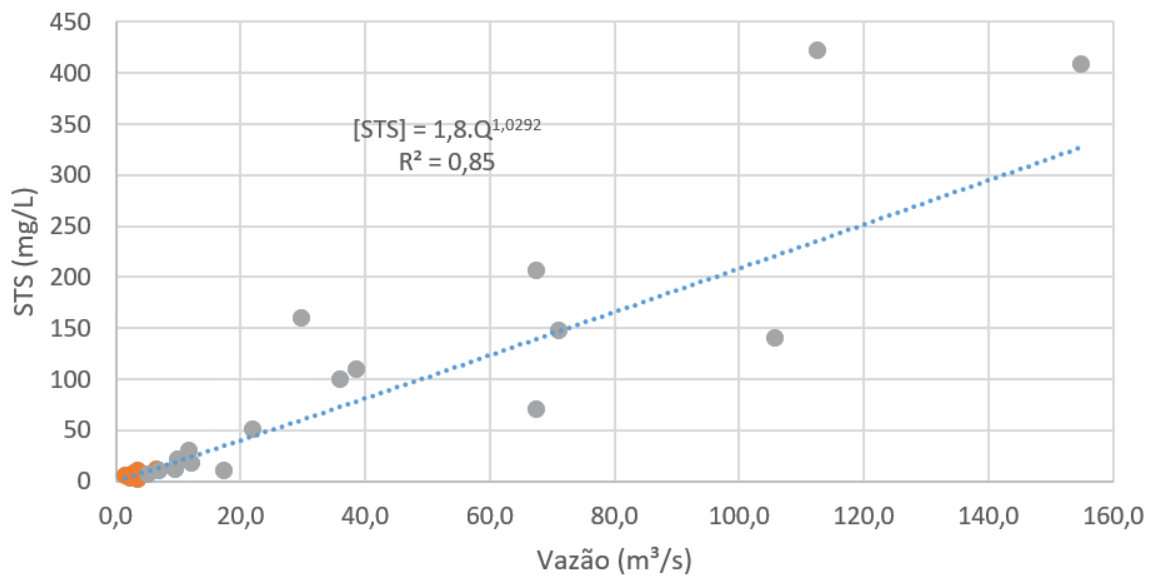
| AMOSTRAGEM | Q | T | pH | CE | STD | STS |
|------------------------|---------------------|------|-----|---------|--------|-----|
| | (m ³ /s) | (°C) | | (μS/cm) | (mg/L) | |
| PERÍODO SECO | | | | | | |
| 12/06/2024 | 4,1 | 18,5 | 5,6 | 168 | 13 | 6 |
| 19/06/2024 | 3,8 | 17,5 | 6,9 | 158 | 12 | 7 |
| 26/06/2024 | 3,5 | 19,4 | 6,9 | 209 | 15 | 8 |
| 03/07/2024 | 4,8 | 16,8 | 6,9 | 195 | 15 | 7 |
| 10/07/2024 | 6,6 | 17,9 | 7,0 | 168 | 13 | 12 |
| 17/07/2024 | 3,8 | 19,5 | 7,0 | 132 | 10 | 4 |
| 24/07/2024 | 3,5 | 16,9 | 6,7 | 135 | 10 | 10 |
| 31/07/2024 | 3,5 | 17,9 | 7,0 | 151 | 11 | 8 |
| 07/08/2024 | 2,8 | 20,6 | 6,9 | 138 | 10 | 6 |
| 14/08/2024 | 3,5 | 15,7 | 6,9 | 123 | 10 | 5 |
| 21/08/2024 | 2,8 | 20,8 | 6,9 | 174 | 12 | 4 |
| 28/08/2024 | 3,5 | 16,8 | 6,9 | 154 | 12 | 2 |
| 04/09/2024 | 2,5 | 21,7 | 6,9 | 174 | 12 | 5 |
| 14/09/2024 | 2,3 | 23,1 | 7,0 | 236 | 16 | 3 |
| 19/09/2024 | 2,0 | 22,9 | 7,1 | 257 | 17 | 5 |
| 25/09/2024 | 1,7 | 25,9 | 6,8 | 202 | 13 | 6 |
| 02/10/2024 | 1,4 | 26,4 | 6,9 | 224 | 14 | 5 |
| 09/10/2024 | 1,7 | 25,6 | 7,0 | 177 | 12 | 5 |
| 17/10/2024 | 2,0 | 27,3 | 6,9 | 204 | 13 | 5 |
| 23/10/2024 | 2,8 | 26,3 | 6,7 | 178 | 11 | 8 |
| 31/10/2024 | 3,8 | 26,6 | 6,9 | 191 | 12 | 6 |
| PERÍODO CHUVOSO | | | | | | |
| 05/11/2024 | 36,0 | 23,0 | 6,6 | 92 | 6 | 100 |
| 17/11/2024 | 38,6 | 24,5 | 6,7 | 91 | 6 | 110 |
| 21/11/2024 | 10,0 | 26,8 | 7,0 | 160 | 10 | 22 |
| 27/11/2024 | 5,1 | 26,9 | 7,1 | 179 | 11 | 7 |
| 04/12/2024 | 71,0 | 24,0 | 6,7 | 65 | 4 | 148 |
| 11/12/2024 | 29,8 | 25,2 | 7,0 | 84 | 5 | 160 |
| 19/12/2024 | 6,9 | 27,0 | 7,2 | 140 | 9 | 10 |
| 26/12/2024 | 67,4 | 24,9 | 6,9 | 84 | 6 | 207 |
| 09/01/2025 | 12,0 | 27,1 | 7,1 | 131 | 8 | 18 |
| 16/01/2025 | 112,5 | 23,9 | 6,4 | 49 | 3 | 422 |
| 27/01/2025 | 11,6 | 27,7 | 7,0 | 112 | 7 | 30 |
| 31/01/2025 | 154,8 | 23,8 | 6,4 | 39 | 3 | 409 |
| 02/02/2025 | 105,8 | 24,5 | 6,7 | 48 | 3 | 141 |
| 05/02/2025 | 67,4 | 24,9 | 6,9 | 73 | 5 | 70 |
| 13/02/2025 | 21,9 | 25,9 | 6,9 | 114 | 7 | 51 |
| 19/02/2025 | 17,3 | 27,0 | 6,9 | 104 | 7 | 10 |
| 27/02/2025 | 9,6 | 27,9 | 6,9 | 146 | 9 | 12 |
| Média geral | 22,2 | 23,1 | 6,8 | 144 | 10 | 54 |
| Média seco | 3,2 | 21,1 | 6,8 | 178 | 12 | 6 |
| Média chuvoso | 45,7 | 25,6 | 6,8 | 101 | 6 | 113 |

FONTE: Autores.



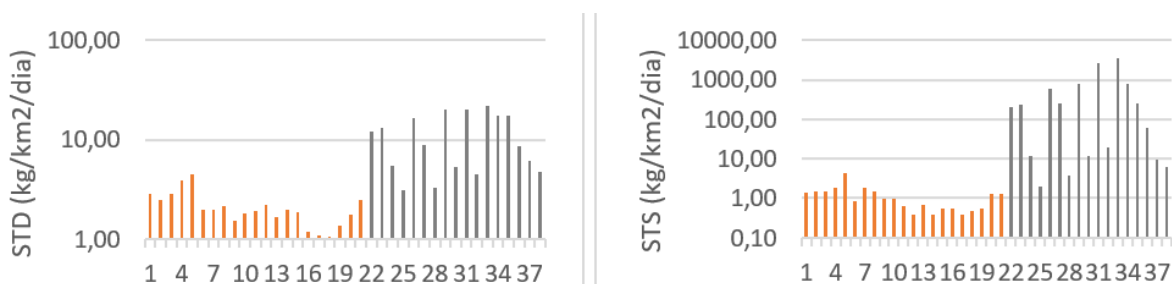
Quanto as [STS], observa-se comportamento inverso a [STD], ou seja, aumentaram exponencialmente durante o período chuvoso, com os maiores valores de [STS] associados aos picos de Q, que por sua vez estão relacionados aos eventos de precipitação concentrada que promovem intensa erosão dos solos na bacia do Rio Corumbataí. Com isso, há aumento do aporte de sedimentos ao sistema fluvial, conforme apresentado na Fig. 6 (R^2 de 0,85). Portanto, observa-se que o transporte de STS ocorre preferencialmente no período chuvoso ao invés do período seco.

FIGURA 6 – Gráfico Q x STS. Os círculos laranja representam amostras coletadas no período de estiagem e os círculos cinza são amostras coletadas no período chuvoso.



O transporte específico diário médio de STD estimado para a bacia do Corumbataí foi de $6,2 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$, com valores de $2,1 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$ no período seco e $11,2 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$ no período chuvoso. A Fig. 7 apresenta os valores estipulados para o dia da coleta e que foram utilizados para projetar tais médias. Já os valores de transporte específico diário de STS estimado para a bacia do Corumbataí foi de $245,9 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$ na média geral, $1,1 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$ para o período seco e $548,2 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{dia}$ para o período chuvoso.

FIGURA 7 – Média projetada do transporte de STD e STS em kg/km^2 por dia. As barras laranja representam amostras do período de estiagem e as barras cinza são amostras do período chuvoso.





Ao projetar os valores de transporte específico diário para escala anual, os valores médios para STD foram 2,3 ton/km²/ano no geral, 0,8 ton/km²/ano para o período seco e 4,1 ton/km²/ano para o período chuvoso. Os valores absolutos de STD podem ser observados na Fig. 8, seguindo a mesma tendência da Fig. 5, porém com R² mais ajustado em curva ascendente. Quanto aos valores de STS para o transporte específico anual, foram obtidas as médias de 89,7 ton/km²/ano no geral, 0,4 ton/km²/ano para o período seco e 200,1 ton/km²/ano para o período chuvoso. A Fig. 9 apresenta uma linha de tendência concava bem delimitada e com R² novamente mais bem ajustado.

A partir dos resultados médios de transporte específico anual foi possível obter as taxas de denudação química (*Dq*) e denudação física (*Df*) para a bacia do Rio Corumbataí, através das equações 1 e 2. O valor obtido de *Dq* geral foi 0,9 m/Ma, variando entre 0,3 e 1,5 m/Ma durante os períodos de seca e chuvoso. Já o valor de *Df* geral foi 74,8 m/Ma, sendo este de 0,3 m/Ma no período de seca e 166,7 m/Ma no período chuvoso. Tais taxas deixam claro a influência da sazonalidade no transporte de sedimentos dissolvidos e em suspensão, esclarecendo a magnitude de produção e perda de solos para a bacia do Rio Corumbataí que está nitidamente desequilibrada, com a taxa de perda de solos muito superior a capacidade natural de reposição.

FIGURA 8 – Média projetada do transporte de STD em ton/km²/ano. Os círculos laranja representam amostras do período de estiagem e os círculos cinza são amostras do período chuvoso.

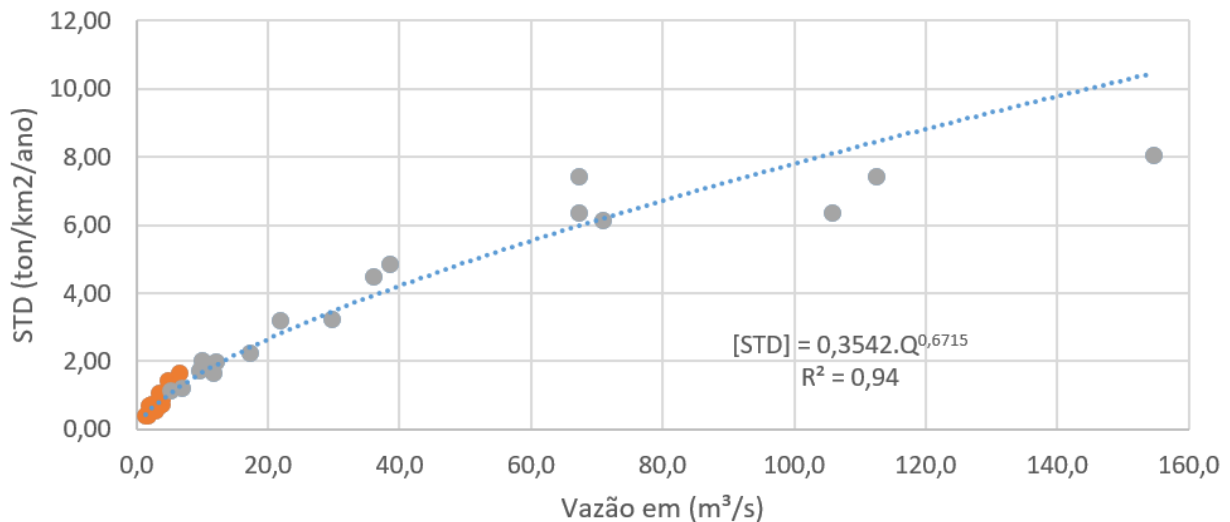
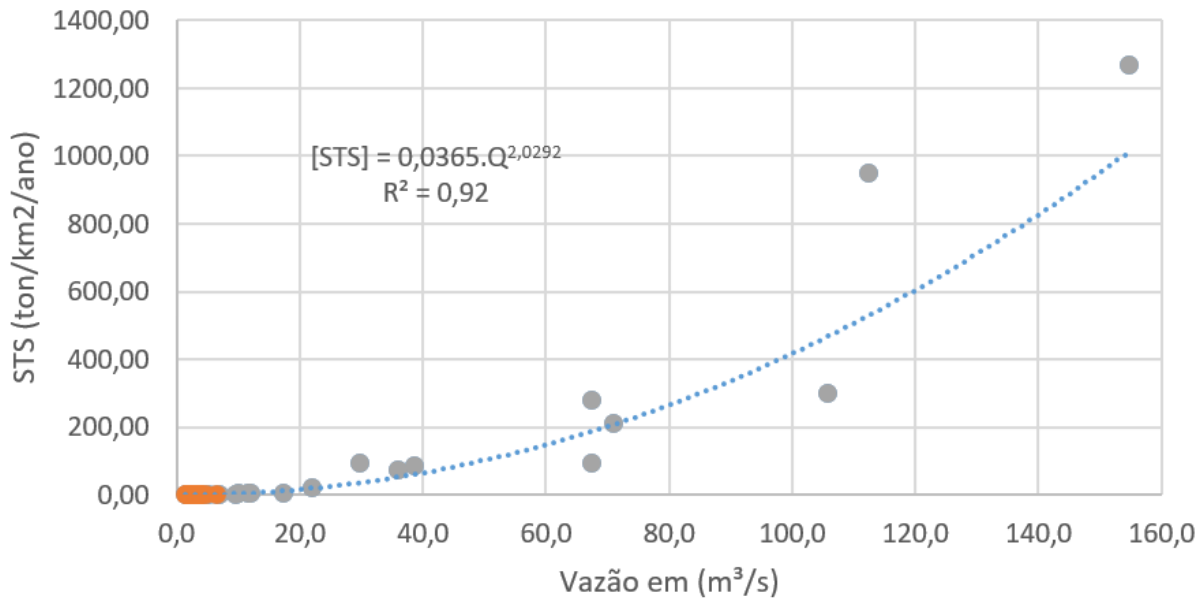




FIGURA 9 – Média projetada do transporte de STS em ton/km²/ano. Os círculos laranja representam amostras do período de estiagem e os círculos cinza são amostras do período chuvoso.

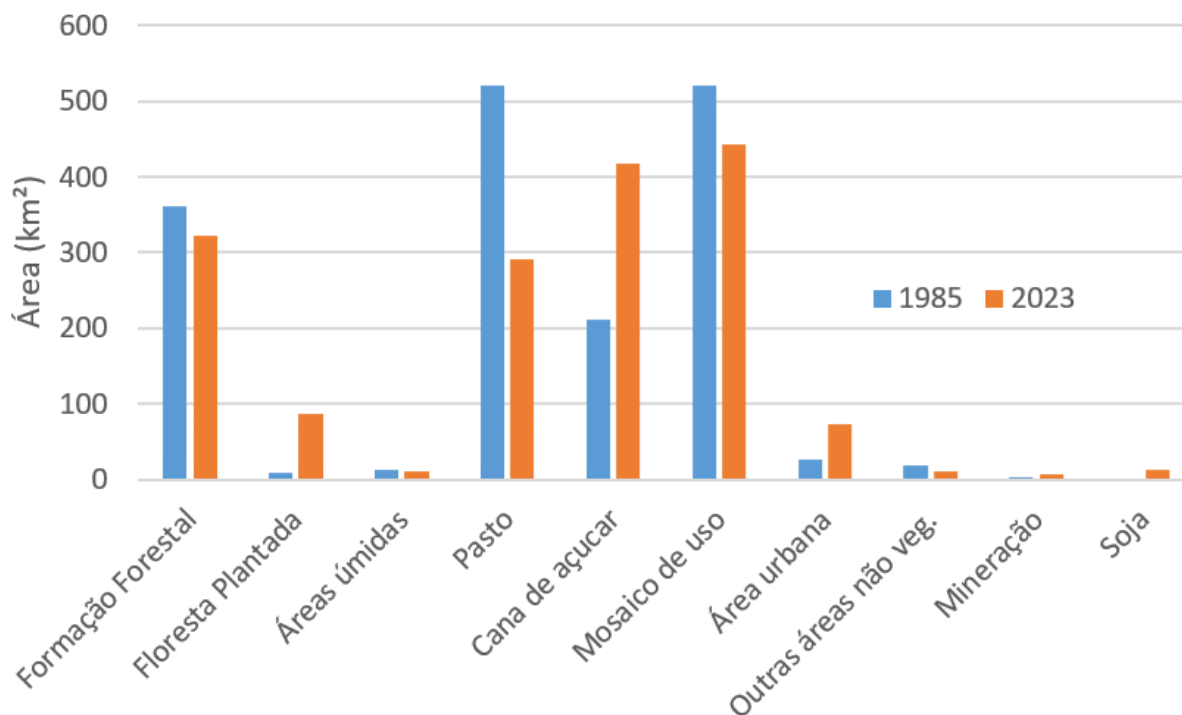


Por meio das taxas de denudação obtidas pode-se fazer alguns paralelos com demais trabalhos da literatura brasileira que aplicaram metodologias similares em bacias hidrográficas na Bacia Sedimentar do Paraná localizadas na DDP. Porém, é importante destacar que a diversidade litológica, pedológica, pluviometria, dimensões das bacias e uso influenciam diretamente nas taxas obtidas. Nesse sentido, Spatti Junior et al. (2024), ao trabalhar com pequenas bacias do Rio Corumbataí compostas predominantemente por rochas areníticas e argilitos, relataram taxas de Dq entre 16,4 e 6,6 m/Ma e taxas de Df entre 29,2 e 11,8 m/Ma para os ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga respectivamente, identificando, portanto, desequilíbrios no balanço de denudação, porém com magnitudes diferentes em relação a este estudo. Por sua vez, Fernandes et al. (2020) determinaram taxas de Dq e Df para a DDP de 2,7 e 66,3 m/Ma, respectivamente, também indicando uma significativa perda de solo em relação à sua formação.

Ao analisar as mudanças de uso e ocupação da terra na bacia do Rio Corumbataí, a partir de dados da plataforma MapBiomas entre 1985 e 2023 (Fig. 10), foi identificado a redução de áreas ocupadas por formação florestal, áreas úmidas e pastagem. Enquanto demais usos da terra com alto potencial de promover erosão dos solos tiveram expansão, principalmente relacionadas com o plantio de cana de açúcar, mineração e floresta plantada. Tais mudanças de uso da terra, assim como mudanças pretéritas a esse período, consistem num dos fatores para que haja desequilíbrio nas taxas de Dq e Df na bacia do rio Corumbataí, caracterizando a influência antrópica nesse processo, conforme suscitado por Fernandes et al. (2020).



FIGURA 10 – Principais usos e ocupação da terra na bacia do Rio Corumbataí entre 1985 e 2023.



FONTE: MapBiomas, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise baseada na geoquímica fluvial foi possível compreender e modelar o transporte de carga suspensa e dissolvida na bacia do Rio Corumbataí, além do reconhecimento das taxas de denudação química e física. Destaca-se que a [STS] está diretamente relacionada à Q , com maiores concentrações registradas após eventos de chuva, enquanto para a [STD] essa relação foi inversa, mostrando comportamento de diluição no período chuvoso. As taxas de Dq para a bacia do Rio Corumbataí foram de 0,9 m/Ma na média geral, 0,3 m/Ma para o período seco e 1,5 m/Ma período chuvoso, apresentando valores inferiores em relação às demais taxas relatadas na literatura para Bacia Sedimentar do Paraná na DDP. Já as taxas de Df obtidas foram 74,8 m/Ma no média geral, 0,3 m/Ma para o período de seca e 166,7 m/Ma período chuvoso, indicando uma tendência já observada em outros estudos, onde os altos valores estão associados a interferência antrópica na bacia do Rio Corumbataí que é corroborada pelas mudanças de uso e ocupação da terra observadas nos últimos 40 anos. Estudos futuros devem complementar estas análises e resultados, setorizando a bacia do Rio Corumbataí a partir das influências litoestruturais, demonstrando como diferentes setores desta bacia hidrográfica contribuem com diferentes porcentagens de carga dissolvida e suspensa, ampliando o entendimento sobre sua dinâmica fluvial. A obtenção de taxas de erosão de longo prazo



usando geocronologia de longo termo por (U-Th)/He ou curto termo ^{10}Be and ^{26}Al , também podem ser realizadas na bacia do Rio Corumbataí, permitindo avaliar as taxas de erosão durante o Cenozoico, sem o componente antrópico.

Agradecimentos:

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAEPSP pelo financiamento desta pesquisa por meio do projeto 2023/18273-5.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. Instituto de Geografia, USP, p. 1-15, 1969.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2015) **Catálogo de Metadados da ANA: Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Tietê**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/29c5995f-5bbd-4698-b301-694a3c1ca748>. Acessado em: 26/04/2025.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Relevo de Cuesta na bacia sedimentar do Rio Parana. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 3, p. 21-33. Sao Paulo, 1949.
- BARTH, T. F. W. Abundance of the elements, areal averages and geochemical cycles **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 23, p. 1-8, 1961. 10.1016/0016-7037(61)90086-2
- BOEGLIN, J. L.; PROBST, J.L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Chem. Geol.**, v. 148, p. 137-156, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00025-4)
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTO, D. M. Parâmetros hidrológicos e estatísticos para estimativa de vazão nos rios da bacia do rio Corumbataí (SP). **Geociências**, v. 21, n1 e 2, p. 147 – 157, 2002.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluated the weathering rates and fertilizer-derived uranium at São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, v. 44, n.(4), p. 408-418, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0775-4>
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **APPLIED GEOCHEMISTRY**, v. 19, n.(4), p. 575-591, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2003.07.002>
- CONCEIÇÃO, F. T.; MELLO, R. C. A.; FERNANDES, A. M.; Sardinha, D. S. Chemical and Physical Denudation Rates in the Poços de Caldas Alkaline Massif, Minas Gerais State, Brazil. **Minerals**, v. 14, p. 700, 2024. <https://doi.org/10.3390/min14070700>
- CONCEIÇÃO, F. T.; SANTOS, C. M.; Sardinha, D. S.; NAVARRO, G. R. B.; GODOY, L. H. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. **GEOMORPHOLOGY**, v. 233, p. 41-51, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.040>
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). (2025) **Banco de Dados Hidrológicos**. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 16 maio 2025.
- ENGEORPS ENGENHARIA S.A. **Estudo do Uso dos Recursos Hídricos na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí – Relatório Final, Volume I – Tomo I**. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020. 188 p. Disponível em: <https://www.agenciapcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t1.pdf>. Acesso em: 29 março. 2025.
- ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C.; MORALES, N. Análise fluviomorfométrica do rio Corumbataí (SP) - Implicações tectônicas vinculadas a migração de nickpoint. **Revista Geociências - UnG**, v. 10, p. 74-94, 2011.
- FERNANDES, A. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SPATTI JUNIOR, E.P.; COUTO JUNIOR, A. A.; HISSLER, C.; MORTATTI, J. Human influences on the present denudation rates of the Paulista Peripheral Depression, Brazil. **Geomorphology**, v. 351, p. 106955, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106955>
- GARCIA, G. J. et al. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. [S.l.]: CEAPLA-IGCE/UNESP, 2011. Disponível em: <https://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv4/apresentacao.php>. Acessado em: 22/04/2025.



- GIBBS, R.J. Mechanisms controlling world river water chemistry. **Science**, v. 170, p. 1088-1090, 1970. [10.1126/science.170.3962.1088](https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088)
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
- JOHNSON, N.M.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, P.S. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 32, p. 531-545, 1968. [10.1016/0016-7037\(68\)90044-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(68)90044-6)
- LASAGA, A.C.; SOLER, J.M.; GANOR, J.; BURCH, T.E.; NAGY, K.L. Chemical weathering rate laws and global geochemical cycles. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 58 (10), p. 2361-2386, 1994. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90016-7)
- LUPINACCI, C. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; PASCHOAL, L. G. Geomorphic responses due to the second-largest global producer of ceramic tiles in the State of São Paulo, Brazil. **Catena**, v.218, p.106550, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106550>.
- MEYBECK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. **Am. J. Sci.**, v. 287, p. 401-428, 1987. doi.org/10.2475/ajs.287.5.401
- MILLOT, R.; GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C.J. The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield. **Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 196, p. 83-98, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00599-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00599-4)
- MORTATTI, J.; PROBST, J.L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chem. Geol.**, v.197, p. 177-196, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00349-2)
- PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1968, 160 f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro. Inedito. Rio Claro, 1968, 160p.
- PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. DE. Neotectônica e evolução do relevo da região da serra de São Pedro e do baixo Piracicaba / Sudeste Do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i4.668>
- PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 23 de abril de 2025, através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/>
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**; Agriculture Handbook No. 703; United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1997; 384p.
- ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado**; Instituto Florestal: São Paulo, SP, Brazil, 2017.
- SALGADO, A. A. R.; BRAUCHER, R. COLIN, F.; NALINI JR., H. A.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C. Denudation rates of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil): Preliminary results from measurements of solute fluxes in rivers and in situ-produced cosmogenic ¹⁰Be. **Journal of Geochemical Exploration**, v.88, n. 1-3, p. 313 – 317, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.064>
- SARDINHA, D. de S.; BONOTTO, D. M.; GODOY, L. H.; CONCEIÇÃO, F. T. da; TORRES MORENO, M. M. Denudação química e implicações na composição das águas superficiais da bacia do rio Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i3.284>
- SPATTI JUNIOR, E. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; GUEDES JUNIOR, E.; PINTO, S. dos A. F.; PEREIRA, L. H. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.486>
- SPATTI JUNIOR, E. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; SOUZA, D. S.; FERNANDES, A. M. Balanço de denudação na Depressão Periférica Paulista. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 17, p. 2991-3007, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.4.p2991-3007>
- STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon Basin. 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. **J. Geophys. Res. Serie C**, v. 92 (8), p. 8293-8302, 1987. <https://doi.org/10.1029/JC092iC08p08293>
- TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chem. Geol.**, v. 7, p. 253-271, 1971. [10.1016/0009-2541\(71\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(71)90011-8)



IMPACTO DO FOGO NA COMPOSIÇÃO E PRESERVAÇÃO DE ASSEMBLEIAS POLÍNICAS EM FLORESTA DEGRADADA E VEGETAÇÃO HERBÁCEA NO DOMÍNIO DA FLORESTA ATLÂNTICA MONTANA (NOVA FRIBURGO-RJ)

Karoline Mayume B. Ishimine ¹
Juliana Vasconcellos Teani Machado ²
Ana Carolina Facadio Campello ³
Ortrud Monika Barth ⁴
Ana Luiza Coelho Netto ⁵

PALAVRAS-CHAVE: Região Montanhosa, chuva polínica, sucessão ecológica, regimes de fogo.

RESUMO

A relação entre o fogo e a vegetação é fundamental para compreender a dinâmica de ecossistemas tropicais, especialmente em paisagens historicamente afetadas por queimadas. Este estudo, realizado na Serra de Macaé de Cima (RJ), integra análises polínicas e de carvão para avaliar como diferentes formações vegetais são representadas em assembleias polínicas antes e após incêndios. Os incêndios foram realizados em dois sítios amostrais de 12 m², sob cobertura de vegetação herbácea e floresta secundária degradada. O fogo foi mantido por 2 horas com a adição de vegetação seca local como combustível e teve sua temperatura monitorada durante todo o experimento. A coleta de chuva polínica foi realizada em sedimentos de superfície antes e após as queimadas e comparadas com uma área-controle de vegetação florestal mais conservada. As análises palinológicas classificaram as associações vegetais identificadas em categorias ecológicas e analisou o estado de preservação dos grãos. As partículas de carvão (acima de 150 µm) foram quantificadas e tratadas estatisticamente para estimar a intensidade de incêndios locais. A floresta controle demonstrou maior riqueza taxonômica com dominância de gêneros sensíveis como *Euterpe* e *Myrcia*, com baixa concentração de partículas de carvão. Em contraste, na floresta degradada que antes da queima já apresentava indicadores de estresse ambiental, após a queima observou-se o predomínio de táxons pioneiros com *Trema* e *Baccharis*, acompanhados por de maior concentração nas partículas de carvão. Na vegetação herbácea observou-se, antes da queima, uma assembleia polínica pobre com apenas 18 táxons dominada por Poaceae e *Ambrosia*, Após a queima controlada,

- ¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, karoline.ishimine@gmail.com
- ² Graduanda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal Rio de Janeiro - UFRJ, juvteani@gmail.com
- ³ Doutora pelo Curso de Geografia da Federal Rio de Janeiro - UFRJ, cfacadio@gmail.com
- ⁴ Pesquisadora-titular sênior da Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, monikabarth@gmail.com
- ⁵ Professor orientador: doutora em Geomorfologia/Geocologia, Katholieke Universiteit Leuven - KU Leuven, ananetto@acd.ufrj.br



observou-se na assembleia apenas a invasão por *Crotalaria*, indicando menor impacto em comparação às florestas. Os dados obtidos com o estudo evidenciam a vulnerabilidade diferencial entre a vegetação dos sítios amostrais em resposta à ação do fogo, com implicações diretas na sucessão ecológica.

INTRODUÇÃO

O fogo pode ser considerado um dos principais agentes de modificação dos ecossistemas terrestres, influenciando processos ecológicos em escalas temporais e espaciais variadas. Em ecossistemas tropicais úmidos, como a Floresta Ombrófila Densa, sua ocorrência está associada a extremos climáticos ou atividades antrópicas, com profundas consequências na estrutura e composição da vegetação, nas dinâmicas sucessionais e nas propriedades do solo (Pausas e Keeley, 2021). Embora condições naturais de umidade possam limitar a propagação do fogo, nesse tipo de vegetação, eventos recorrentes alteram o ciclo de nutrientes e a comunidade da microbiota edáfica do solo, reduzindo a resiliência do ecossistema (Certini, 2005).

Além dos seus impactos diretos, a longo prazo, os incêndios atuam nas mudanças da dinâmica dos ecossistemas e na própria evolução da paisagem, como tem sido demonstrado por registros paleoambientais durante o Quaternário Superior na região Sudeste do Brasil (Behling e Safford, 2010; Portes et al., 2020; Facadio et al., 2024; Ishimine et al., 2024). Nesses estudos, períodos de menor umidade coincidem com a rarefação da cobertura arbórea e predominância de vegetação aberta (herbácea-arbustiva), com o aumento da frequência de incêndios.

Nos últimos séculos, o ritmo acelerado de transformações e perturbações em ecossistemas florestais, sobretudo induzidos por ação humana, tem como reflexo também na alteração do regime de incêndios. Em florestas tropicais, a propagação de incêndios é potencializada pela fragmentação florestal, efeito de borda, queimadas para manejo agropecuário e expansão urbana (Nehren et al., 2013). Estudos históricos demonstram que essa intensificação antrópica, principalmente após o século XVIII, resultou na fragmentação florestal acelerada e degradação de solos, com impactos diretos sobre a biodiversidade e os ecossistemas (Nehren et al., 2013; Neves et al., 2020). Trabalhos como o de Pivello et al., (2021) evidenciam que a relação entre a recorrência de incêndios e a invasão de gramíneas exóticas cria ciclos de retroalimentação positiva, reduzindo a resiliência das florestas tropicais.

A redução da cobertura vegetal aumenta a exposição do solo à ação de processos erosivos, particularmente em regiões montanhosas, como na Serra do Mar, com encostas íngremes e pouca estabilidade do solo. A remoção da vegetação nas encostas pós-fogo favorece a processos de escoamento superficial e do transporte de sedimentos



enriquecidos com carvão, encontrados em depósitos quaternários em camadas com solos orgânicos enterrados. A integração de pesquisas geomorfológicas na perspectiva funcional e histórica - a partir de dados obtidos em ensaios experimentais e nos registros sedimentares - é fundamental para avanços no entendimento sobre a relação entre o regime de incêndios, alterações da vegetação e dinâmica geomorfológica.

Estudos experimentais demonstram que incêndios controlados permitem avaliar diretamente a produção e preservação de carvão, bem como mudanças na vegetação em diferentes estágios de sucessão (Whitlock e Larsen, 2001; Higuera et al., 2009). Pesquisas em ecossistemas temperados e tropicais indicam que a quantidade e morfologia de partículas de carvão produzidas variam conforme a temperatura da queima, tipo de combustível e umidade do material. Com isso, é possível estabelecer relações quantitativas entre intensidade do fogo e características das partículas (Umbanhowar e McGrath, 1998; Enache e Cumming, 2006).

As partículas de carvão apresentam forte estabilidade química e se constituem como bons indicadores de eventos de incêndios no passado, com os diferentes morfotipos associados (alongados, poligonais, blocos) que possibilitam auxiliar a identificação sobre a origem do material queimado (Jensen et al., 2007; Courtney Mustaphi e Pisaric, 2014). Experimentos em área de campo destacam que as queimadas em vegetação herbácea produzem predominantemente carvão alongado (≤ 0.5 mm), enquanto incêndios florestais geram fragmentos poligonais maiores (≥ 1 mm). Esses padrões tornam-se úteis para discriminar características de regimes de fogo em registros sedimentares (Enache e Cumming, 2007). Paralelamente, as assembleias polínicas danificadas podem sinalizar processos erosivos pós-fogo, já que a remoção da cobertura vegetal expõe os palinomorfos (grãos de pólen e esporos) a transporte de maior energia (Delcourt e Delcourt, 1980).

A tendência histórica de redução da cobertura florestal evidencia a importância de se investigar, através de experimentos controlados, como diferentes fitofisionomias respondem ao distúrbio produzido pelo fogo. Tais abordagens subsidiam estratégias de restauração ecológica e refinam interpretações paleoambientais sobre a relação entre partículas de carvão sedimentares, tipos de vegetação queimada e danos polínicos em processos pós-fogo.

Nesse contexto, o presente estudo propõe investigar os impactos do fogo na Floresta Atlântica Montana, utilizando como estudo de caso a Serra de Macaé de Cima, no município de Nova Friburgo (RJ). Buscou-se compreender como as queimadas afetam a representação dos registros palinológicos e de partículas de carvão em vegetações com diferentes estágios sucessionais. Foi avaliada as mudanças na diversidade e



composição florísticas representadas em assembleias polínicas, a partir da comparação de três cenários distintos (floresta conservada, floresta degradada e pasto) antes e após queimadas experimentais, o que permitiu identificar quais espécies são resistentes ao distúrbio e se mantêm representadas nas análises palinológicas. Em seguida, as partículas de carvão produzidas nos incêndios controlados foram quantificadas e caracterizadas, examinando sua concentração, distribuição por tamanhos e morfotipos, correlacionando esses parâmetros com a intensidade do fogo registrada durante o ensaio em campo.

A análise de morfotipos de carvão permite importantes inferências sobre a origem do material queimado e possibilita a diferenciação entre restos de gramíneas, característicos de queimadas em áreas abertas, e material lenhoso, indicativo de incêndios florestais. Complementarmente, foi investigado os padrões de preservação de pólen e esporos, avaliando como o estado de conservação (a tafonomia) desses restos vegetais - sejam eles inteiros, quebrados ou corroídos - reflete a dinâmica de processos após o fogo.

Por fim, discutiu-se as implicações integradas desses achados para a interpretação de registros paleoambientais, elucidando a representação em amostras palinológicas, em relação a picos de concentração de partículas de carvão (representativas de eventos de incêndio). Busca-se, através dessa abordagem multidisciplinar, avançar no entendimento sobre a vulnerabilidade diferenciada dos ecossistemas montanos da Mata Atlântica frente às queimadas recorrentes, mas também aprimorar a capacidade de interpretar eventos passados a partir de evidências sedimentares, contribuindo para o refinamento de técnicas em paleoecologia.

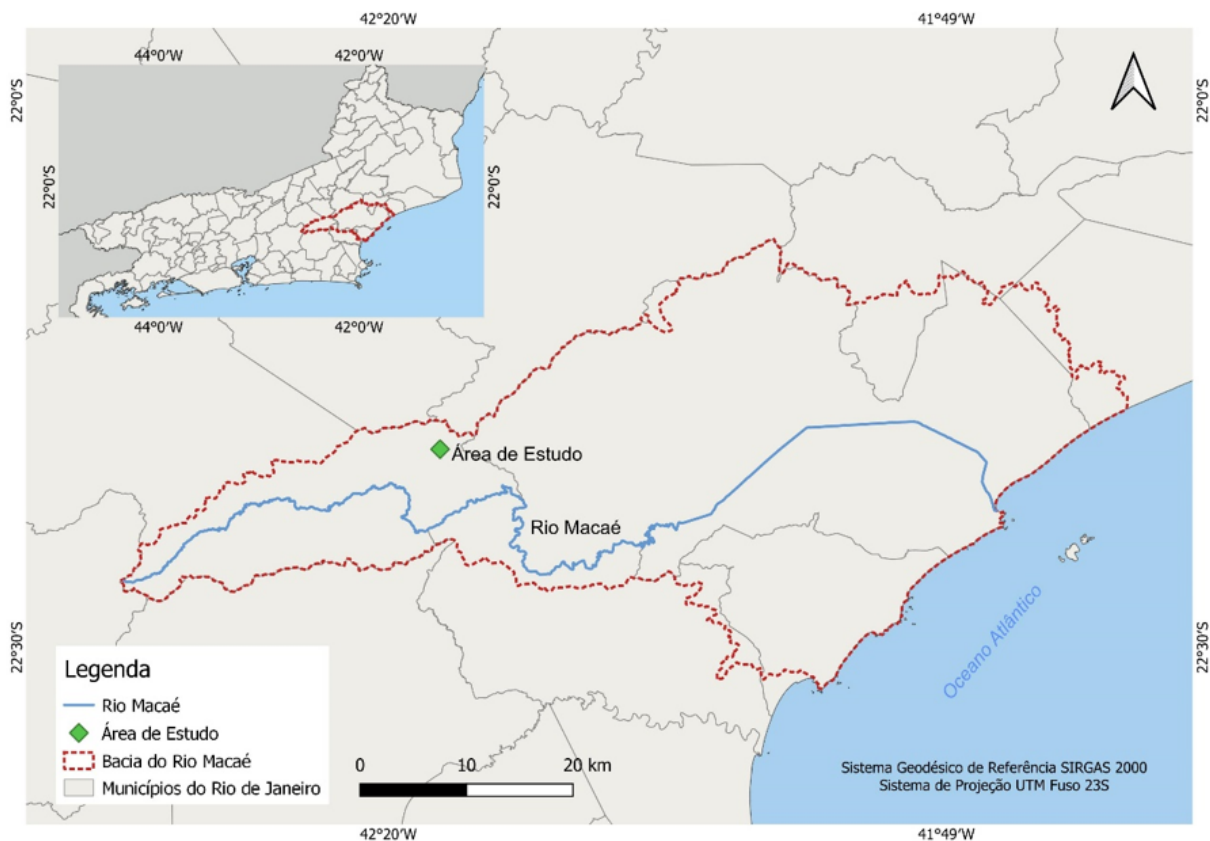
METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A região investigada situa-se no alto curso da bacia do rio Macaé, abrangendo a Serra de Macaé de Cima no município de Nova Friburgo (RJ), Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Localiza-se nas coordenadas geográficas 22°19'07,16" S e 42°16'58,10" O, e altitude média de 1.042 metros (Figura 1), estabelecida em uma encosta próxima ao córrego Boa Vista, afluente do rio Boa Esperança, que converge para o alto curso do rio Macaé e deságua no Oceano Atlântico (Facadio, 2023). Esta região está inserida no contexto da Serra do Mar e faz parte de um importante corredor ecológico que conecta remanescentes florestais entre diversos municípios, caracterizando-se como uma zona de transição entre formações vegetais primárias e áreas alteradas por ação antrópica.



FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo, situada no alto curso da bacia hidrográfica do rio Macaé.



FONTE: Autoria própria.

Estudos realizados por Almeida (2012) identificaram que no alto e médio curso da bacia do rio Macaé predomina a presença de granada-biotita gnaisses, associados a veios graníticos pertencentes à Unidade São Fidélis, característicos do embasamento cristalino do Pré-Cambriano na região. Apesar de situar-se no segmento de maiores altitudes da Serra do Mar, as encostas nesta porção da bacia exibem declividades menos acentuadas quando comparadas ao médio curso, caracterizando-se por formas mais suaves que influenciam diretamente a dinâmica de processos erosivos e a distribuição da cobertura vegetal (Marçal et al., 2015).

A APA Estadual Macaé de Cima configura-se como uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, estabelecida com o propósito de proteger os últimos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa Montana e os mananciais que alimentam a bacia hidrográfica do rio Macaé (INEA, 2014). O presente estudo está situado na Zona de Uso Agropecuário (ZUAP), que abrange aproximadamente 43,42% da área total da APA, configurando-se como a zona mais extensa do território protegido (INEA, 2014). Esta zona caracteriza-se por um mosaico de usos da terra, onde sistemas agropecuários



convivem com silviculturas e atividades turísticas, intercalados por fragmentos florestais remanescentes localizados principalmente em topos de morro, encostas íngremes e Áreas de Preservação Permanente (INEA, 2014).

O município de Nova Friburgo registra precipitações anuais de até 2.500 mm nas áreas mais elevadas, com máxima concentração no verão (dezembro a fevereiro) (Coelho Netto et al., 2013). A ausência de déficit hídrico em qualquer estação do ano, mesmo durante o inverno (junho a agosto), período considerado mais seco, cria condições ideais para o desenvolvimento de uma floresta bastante diversa (Velooso et al., 1991). Essas características climáticas, associadas a temperaturas elevadas durante a maior parte do ano, sustentam ecossistemas de alta diversidade de fauna e flora, com complexa estratificação vertical (Lima e Guedes-Bruni, 1997).

Estudos fitossociológicos nessa região identificaram as famílias botânicas mais representativas em termos de diversidade de espécies, cujo padrão reflete a complexidade estrutural do ecossistema local com a presença de diferentes estratos. No estrato arbóreo, destacam-se as famílias Myrtaceae (com destaque para o gênero *Myrcia*) e Lauraceae (representada por *Ocotea*), que em conjunto podem constituir até 40% da cobertura do dossel nas áreas mais bem preservadas (Lima e Guedes-Bruni, 1997). Estas espécies arbóreas formam a estrutura principal da floresta, criando o ambiente característico para o desenvolvimento de outras formas de vida vegetal.

As áreas de sub-bosque são representadas principalmente por Rubiaceae (*Psychotria*) e Fabaceae (*Machaerium*), e nas áreas de borda e clareiras, observa-se o domínio de espécies herbáceo-arbustivas, principalmente representadas por Asteraceae (*Baccharis*) e Melastomataceae (*Tibouchina*), que demonstram maior tolerância à incidência solar direta e às variações microclimáticas mais acentuadas.

As pteridófitas desempenham um papel estrutural fundamental neste ecossistema pois funcionam como bioindicadores do estado de conservação do habitat. Conforme demonstrado por Sylvestre (1997), as famílias Dryopteridaceae, Polypodiaceae e Cyatheaceae respondem por mais de 60% dos indivíduos no sub-bosque úmido, com gêneros como *Elaphoglossum* que são adaptados à baixa luminosidade, encontrados em florestas mais fechadas, e a *Hymenophyllum*, característica de ambientes mais úmidos, junto com a ocorrência de Cyatheaceae (como *Alsophila*) nos trechos mais preservados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar os efeitos diferenciais do fogo na preservação de assembleias polínicas e na produção de partículas de carvão, foram estabelecidas três áreas representativas de distintos estágios sucessionais: (1) um fragmento de floresta em estágio avançado



de sucessão ecológica, utilizado como controle; (2) uma área de floresta secundária degradada, localizada na borda do fragmento florestal e com histórico documentado de uso agrícola intensivo nos últimos 30 anos; e (3) uma formação herbáceo-arbustiva, com uso para pastagem, adjacente ao fragmento florestal. Esta abordagem comparativa permitiu investigar como a estrutura da vegetação e a intensidade do fogo influenciam os processos tafonômicos e a produção de indicadores sedimentares.

Os incêndios controlados foram conduzidos nas áreas degradada e herbáceo-arbustiva, utilizando parcelas experimentais de 12 m². Seguindo o protocolo estabelecido por Bolsas (2023), os experimentos tiveram duração padronizada de duas horas, utilizando como combustível material vegetal seco coletada *in situ* para garantir condições naturais de propagação do fogo, em cada parcela. O monitoramento térmico foi realizado durante todo o experimento e registrou médias distintas entre os ambientes: 391±196°C na floresta degradada (com picos superiores a 500°C) contra 294±181°C na vegetação herbácea. Esta variação reflete diretamente a quantidade e qualidade do material combustível disponível, sendo substancialmente maior nos ambientes florestais devido à presença de biomassa lenhosa (Bolsas, 2023).

A amostragem de sedimentos superficiais (5 cm de profundidade) foi realizada em triplicata para cada área, tanto antes quanto após a queima, com remoção cuidadosa da serrapilheira quando presente. As amostras foram armazenadas em embalagens herméticas zip-lock, devidamente identificadas, e mantidas sob refrigeração durante transporte e armazenamento até análise laboratorial.

O processamento palinológico seguiu a metodologia padrão proposta por Ybert et al. (1992), incorporando pastilhas de *Lycopodium clavatum* como marcador exótico para cálculo de concentração de palinomorfos. O tratamento químico incluiu: (1) digestão de silicatos com HF 40%; (2) remoção de fluossilicatos residuais com HCl 10%; (3) eliminação da matéria orgânica residual com KOH 10%; e (4) acetólise (Erdtman, 1960) para fossilização artificial das exinas. O material final foi montado em lâminas permanentes com gelatina glicerínada para análise microscópica.

A identificação taxonômica baseou-se em coleções de referência, consulta a palinotecas especializadas e literatura atualizada (Ishimine, 2024; Nunes et al., 2021). A análise integrou a classificação ecológica das assembleias polínicas, a avaliação tafonômica segundo critérios de Delcourt e Delcourt (1980) e o tratamento estatístico dos dados no software TiliaGraph 3.0.1.

O protocolo para carvão seguiu Stevenson e Haberle (2005), com fracionamento granulométrico em malhas de 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,15 mm. A quantificação foi realizada sob microscópio estereoscópico, complementada por análise morfológica



detalhada (Teani et al., 2024) que discriminou os morfotipos poligonais/blocos (origem lenhosa), morfotipos alongados/perfurados (gramíneas) e formas irregulares (Courtney Mustaphi e Pisaric, 2014; Enache e Cumming, 2006; Jensen et al., 2007).

Esse conjunto metodológico possibilitou analisar de forma integrada a composição florística atual, as alterações induzidas pelo fogo e as evidências sedimentares representadas por carvão e pólen, estabelecendo uma base de comparação para dados paleoecológicos **já disponíveis para a região.**

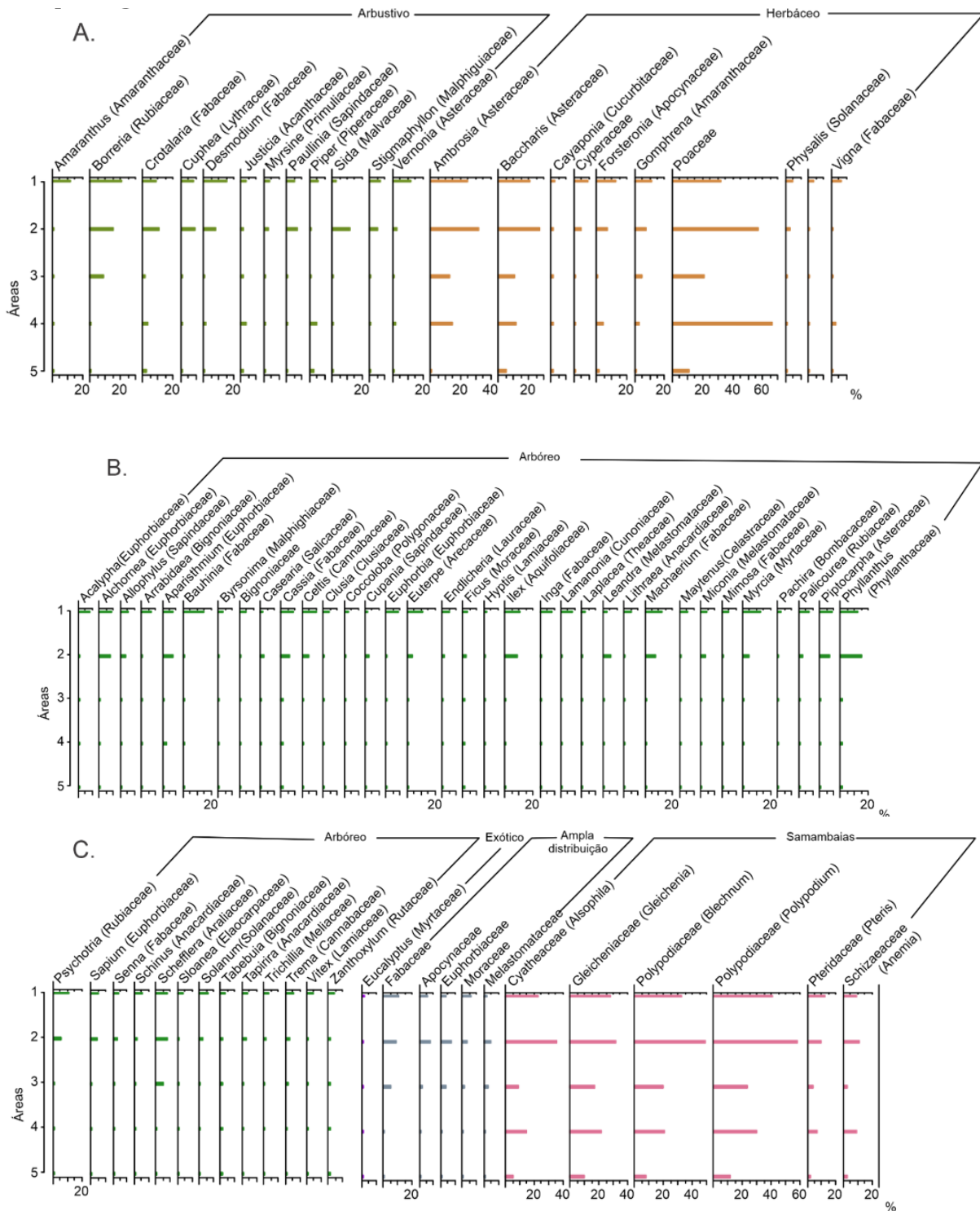
RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA

A análise palinológica revelou padrões distintos na composição vegetal entre os ambientes estudados e que pode ser visualizado nos diagrama de percentagem (Figura 2 A, B e C). Na floresta conservada, observou-se uma assembleia diversificada, com predominância de espécies características de Floresta Ombrófila. As samambaias representaram o grupo mais expressivo, destacando-se *Polypodium* (Polypodiaceae) com 15,5% e *Gleichenia* (Gleicheniaceae) com 10,6%. Entre as espécies arbóreas, *Myrcia* (Myrtaceae) apresentou 1,5%, *Machaerium* (Fabaceae) 1,4% e *Euterpe* (Arecaceae) 1,3%. O estrato arbustivo foi representado principalmente por *Borreria* (Rubiaceae) com 2,4% e *Desmodium* (Fabaceae) com 1,7%, enquanto entre as herbáceas, Poaceae (3,6%) e *Ambrosia* (Asteraceae) (2,9%) foram as mais frequentes.



FIGURA 2 – Diagrama de percentagem de pólen e esporos dos táxons encontrados nas áreas de coleta (1- Floresta controle; 2- Floresta degradada pré-fogo; 3- Floresta degradada pós-fogo; 4- Pasto pré-fogo; 5- Pasto pós-fogo).



Na floresta degradada no período pré-fogo, a composição já apresentava alterações significativas em relação à área conservada. *Polypodium* manteve alta representação (19,6%), porém com aumento evidente de espécies pioneiras como *Poaceae* (9,4%) e *Baccharis* (Asteraceae) (4,4%). Alguns táxons arbóreos como *Phyllanthus* (Phyllanthaceae)



(2,5%) e *Schefflera* (Araliaceae) (1,3%) mostraram maior representatividade, enquanto *Myrcia* reduziu para 0,8%. No grupo arbustivo, *Sida* (Malvaceae) (2%) e *Crotalaria* (Fabaceae) (1,8%) apresentaram incremento em comparação com a floresta conservada.

O evento de fogo na floresta degradada resultou em mudanças marcantes na composição vegetal. As samambaias, anteriormente dominantes, sofreram redução expressiva, com *Polypodium* caindo para 11,1% e *Gleichenia* para 8,2%. As espécies arbóreas apresentaram declínio acentuado, com valores iguais ou inferiores a 0,4% para táxons como *Myrcia* e *Euterpe*. Entre as herbáceas, Poaceae (7%) e *Ambrosia* (4,4%) mantiveram-se como os componentes mais representativos. *Schefflera* (1,7%) destacou-se como uma das poucas espécies arbóreas que apresentou certa resistência às alterações pós-fogo.

A área de pasto no período pré-fogo caracterizou-se pela dominância de Poaceae (17,1%) e *Ambrosia* (3,9%), com reduzida representação de espécies florestais, sendo a maioria com valores inferiores a 1,3%. Exceção notável foi *Piper* (Piperaceae), que alcançou 1,3%. As samambaias, embora presentes em proporções menores que na floresta, mantiveram certa representatividade, com *Polypodium* atingindo 10,8%.

No período pós-fogo, o pasto apresentou a composição vegetal mais homogênea entre todos os ambientes analisados. Poaceae, embora reduzida para 4,9%, manteve-se como o táxon dominante. As espécies arbóreas praticamente desapareceram do registro polínico, com todos os táxons apresentando valores iguais ou inferiores a 0,4%. As samambaias atingiram seus menores valores de ocorrência, com *Polypodium* representando 6,3% e *Gleichenia* 5,7%.

Os resultados demonstram um gradiente de degradação claramente refletido no registro polínico. A floresta conservada manteve alta diversidade e integridade dos palinórfos, enquanto áreas degradadas e pastagens exibiram perdas progressivas de espécies sensíveis e aumento de indicadores de distúrbio. Os incêndios aceleraram esses processos, levando à homogeneização da assembleia vegetal e à deterioração acentuada da preservação polínica, com danos mecânicos sendo predominantes em todos os ambientes perturbados. A concentração de carvão serviu como indicador complementar da intensidade dos distúrbios, corroborando os padrões observados na análise palinológica.

PRESERVAÇÃO DE PALINÓRFOS E CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE CARVÃO

De acordo com as análises que podem ser observadas no diagrama (Figura 3), o estado de preservação dos grãos de pólen e esporos e de concentração de partículas de carvão revelou padrões distintos entre os diferentes ambientes estudados. Na floresta conservada, observou-se a maior integridade dos palinórfos, com 60,9% dos grãos



de pólen intactos e 55,3% dos esporos preservados. Os danos mecânicos afetaram 51,9% do pólen e 54,2% dos esporos, enquanto a degradação bioquímica atingiu 36,9% do pólen e 20,3% dos esporos. A corrosão foi menos expressiva, com 11,1% no pólen e 25,4% nos esporos. A concentração de partículas de carvão nesta área foi de 240 partículas/cm³, a mais baixa entre todos os ambientes analisados.

Na floresta degradada antes do fogo, os valores de pólen inteiro mantiveram-se elevados (62,4%), com esporos apresentando 66,2% de preservação. Entretanto, os danos mecânicos aumentaram para 67,7% no pólen e 63% nos esporos. A degradação bioquímica mostrou redução no pólen (30,8%) e estabilidade nos esporos (20%). A corrosão apresentou os menores valores registrados (1,5% no pólen e 17% nos esporos). A concentração de carvão nesta área foi de 680 partículas/cm³, indicando histórico de eventos de queima anteriores.

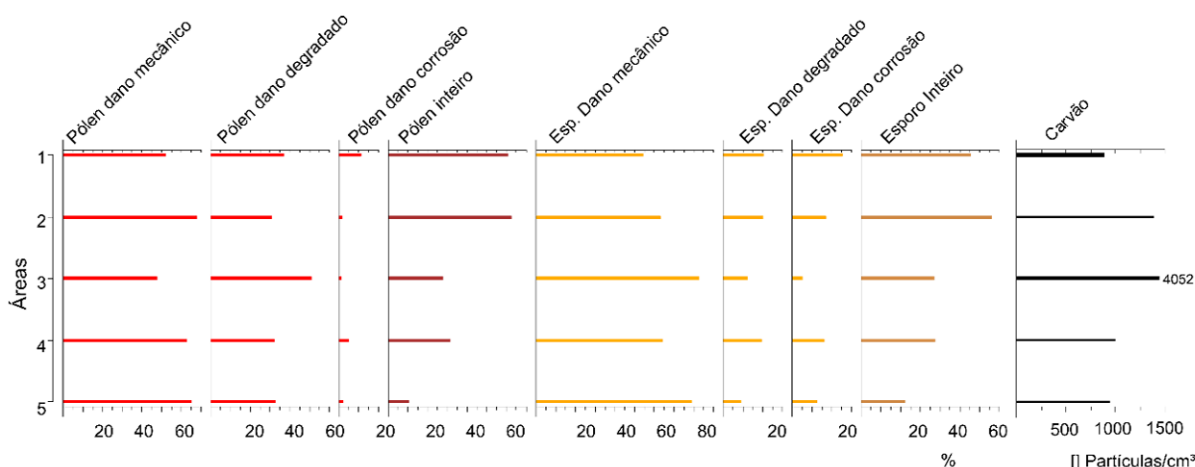
O período pós-fogo na floresta degradada apresentou alterações significativas no estado de preservação. A porcentagem de pólen intacto caiu para 27,5%, enquanto os esporos preservados reduziram para 36,7%. Os danos mecânicos atingiram 47,7% no pólen e 82,4% nos esporos, sendo este último valor o mais alto registrado. A degradação bioquímica afetou 51% do pólen e 12,2% dos esporos. A corrosão manteve-se em níveis reduzidos (1,3% no pólen e 5,3% nos esporos). A concentração de carvão alcançou 1570 partículas/cm³, o valor mais elevado entre todas as áreas estudadas.

Na área de pasto no período pré-fogo, o pólen intacto representou 31,3% do total, com esporos preservados em 37,4%. Os danos mecânicos foram expressivos, atingindo 62,9% no pólen e 64,4% nos esporos. A degradação bioquímica afetou 32,2% do pólen e 19,5% dos esporos, enquanto a corrosão apresentou valores intermediários (5% no pólen e 16,1% nos esporos). A concentração de carvão foi de 320 partículas/cm³.

No período pós-fogo no pasto, registrou-se o pior estado de preservação entre todos os ambientes. Apenas 10,3% do pólen e 22,3% dos esporos mantiveram-se intactos. Os danos mecânicos atingiram 64,9% no pólen e 78,7% nos esporos. A degradação bioquímica afetou 32,8% do pólen e 8,8% dos esporos, enquanto a corrosão apresentou os menores valores (2,3% no pólen e 12,5% nos esporos). A concentração de carvão foi de 440 partículas/cm³, superior ao período pré-fogo nesta mesma área.



FIGURA 3 – Diagrama de percentagem de tipos de danos (danos mecânicos, degradação e corrosão) e de grãos inteiros, e concentração de partículas de carvão por área de coleta.



Os resultados demonstram uma relação entre o grau de preservação dos palinomorfos e os diferentes níveis de distúrbio nos ambientes estudados. A floresta conservada apresentou os melhores índices de preservação, enquanto as áreas perturbadas, especialmente no período pós-fogo, mostraram deterioração acentuada da integridade dos palinomorfos. A concentração de partículas de carvão corroborou esses padrões, com valores crescentes acompanhando o aumento do grau de perturbação em cada ambiente.

Os padrões distintos observados nas assembleias polínicas entre os ambientes estudados (Figura 4), corroboram com observações prévias sobre os efeitos de distúrbios do fogo em ecossistemas tropicais (Bush e Colinvaux, 1994; Gosling et al., 2009). A floresta mais bem conservada, utilizada como modelo, manteve características típicas de ambientes pouco perturbados, com alta diversidade taxonômica e excelente estado de preservação dos palinomorfos, padrão consistente com estudos em outras áreas de Mata Atlântica (Behling et al., 2007).

FIGURA 4 – Áreas de coleta e vista em estereomicroscópio de lâminas palinológicas feitas a partir do material coletado. A) Floresta conservada; B) Lâmina da Floresta conservada; C) Floresta degradada; D) Lâmina da Floresta degradada; E) Floresta degradada após incêndio experimental; F) Lâmina da Floresta degradada após incêndio experimental; G) Pasto; H) Lâmina do Pasto; I) Pasto após incêndio experimental; J) Lâmina do Pasto após incêndio experimental.



FONTE: autoria própria.



A análise comparativa dos ambientes revela um padrão consistente de simplificação das assembleias vegetais, evidente nas áreas submetidas a eventos de fogo. A redução acentuada de espécies arbóreas sensíveis, como Myrtaceae e Fabaceae ($\leq 0,4\%$) no período pós-fogo, contrasta com a estabilidade de táxons pioneiros como Poaceae, que mantiveram representação entre 7% e 17% mesmo em condições adversas.

O estado de preservação dos palinomorfos foi o parâmetro que demonstrou maior sensibilidade aos distúrbios ambientais. A floresta degradada no período pós-fogo, que registrou a maior concentração de partículas de carvão, apresentou apenas 27,5% de pólen inteiro e apenas 36,7% de esporos inteiros. Esta relação entre intensidade de queimadas e deterioração do registro polínico foi observada por Colombaroli et al. (2009) em ecossistemas mediterrâneos, sugerindo que tal padrão possa ter validade em diferentes contextos ecológicos.

O predomínio de danos mecânicos (47,7-82,4%) sobre outros tipos de alteração nos palinomorfos aponta para processos físicos como principal fator de deterioração nas áreas estudadas. Este achado difere de observações em ambientes úmidos, ou com influência aquática, onde a corrosão tende a ser mais relevante (Havinga, 1984). A integração dos dados taxonômicos e do estado de preservação sugere que os processos de degradação atuam simultaneamente na redução da diversidade vegetal e na deterioração do registro polínico, reforçando a utilidade dessa abordagem para avaliar impactos do fogo na representação polínica e na leitura de registros paleoambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou, por meio de análises palinológicas detalhadas, os impactos dos incêndios sobre a composição florística e a preservação do registro polínico, no estudo de caso de Macaé de Cima. Os resultados revelam um gradiente de alterações ecológicas, desde a floresta conservada, com sua assembleia diversificada e grãos de pólen bem preservados, até as áreas intensamente perturbadas, onde se observou tanto a simplificação da vegetação quanto a sua deterioração.

A floresta conservada foi utilizada como área de referência de análise e, apesar de não ser uma floresta clímax, apresentou uma maior riqueza taxonômica, sendo utilizada para comparação com as outras áreas analisadas. Este quadro contrasta marcadamente com o observado nas áreas degradadas, onde o fogo promoveu uma redução de espécies arbóreas sensíveis e ao predomínio de táxons pioneiros.

A análise integrada demonstrou que a degradação ambiental atua na simplificação da composição vegetal e deterioração do registro polínico. Os dados de carvão e a predominância de danos mecânicos evidenciam que os processos físicos associados



às queimadas constituem o principal fator de alteração. Estes resultados não apenas documentam as transformações na vegetação, mas também identificam espécies-chave que podem orientar estratégias de análises de registros paleoambientais na região. O estudo também reforça a sensibilidade dos ecossistemas tropicais às perturbações em ritmo acelerado pelo desmatamento, processos de fragmentação, como também pelo regime de fogo recorrente.

Agradecimentos:

Agradecemos às instituições FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento à pesquisa através de projetos, ao INEA pela Autorização de Pesquisa Científica em Unidade de Conservação (Nº 035/2022), e ao Laboratório de Preparação de Microfósseis (Departamento de Geologia/UFRJ) por fornecer a estrutura e equipamentos para a preparação de amostras.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. **Geologia e recursos minerais da Folha Macaé**. Belo Horizonte: CPRM, 2012.
- BEHLING, H. & SAFFORD, H.D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. **Global Change Biology**, V. 16, P. 1661–1671, 2010.
- BEHLING, H.; PILLAR, V. D.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, V. 133, N. 3-4, P. 235-248, 2007.
- BOLSAS, L. **Efeitos do fogo na relação chuva-sucção do solo em floresta degradada e gramíneas: subsídios ao estudo de movimentos de massa, Nova Friburgo (RJ)**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.
- BORGATTI, L.; SOLDATI, M. Landslides and climatic change. **Geomorphological Hazards and Disaster Prevention**, P. 87-96, 2010.
- BUSH, M. B.; COLINVAUX, P. A. Tropical Forest disturbance: Paleocological records from Darien, Panama. **Ecology**, V. 75, N. 6, P. 1761-1768, 1994.
- CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, V. 143, N. 1, P. 1–10, 2005.
- COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. D. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. January 2011: The extreme landslide disaster in Brazil. **Landslide Science and Practice: Risk Assessment, Management and Mitigation**, V. 6, P. 377–384, 2013.
- COLOMBAROLI, D.; GAVIN, D. G. Highly episodic fire and erosion regime over the past 2,000 y in the Siskiyou Mountains, Oregon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, V. 107, N. 44, P. 18909-18914, 2010.
- COLOMBAROLI, D.; MARCHETTO, A.; TINNER, W. Long-term interactions between Mediterranean climate, vegetation and fire regime at Lago di Massaciuccoli (Tuscany, Italy). **Journal of Ecology**, V. 97, N. 4, P. 755-768, 2009.



- DELCOURT, P. A.; DELCOURT, H. R. Pollen preservation and quaternary environmental history in the Southeastern United States. **Palynology**, V. 4, N. 1, P. 215–231, 1980.
- DUSAR, B.; VERSTRAETEN, G.; NOTEBAERT, B.; BAKKER, J. Holocene environmental change and its impact on sediment dynamics in the Eastern Mediterranean. **Earth-Science Reviews**, V. 108, N. 3-4, P. 137-157, 2011.
- ENACHE, M. D.; CUMMING, B. F. Charcoal morphotypes in lake sediments from British Columbia (Canada): an assessment of their utility for the reconstruction of past fire and precipitation. **Journal of Paleolimnology**, V. 38, N. 3, P. 347-363, 2007.
- ENACHE, M. D.; CUMMING, B. F. Tracking recorded fires using charcoal morphology from the sedimentary sequence of Prosser Lake, British Columbia (Canada). **Quaternary Research**, V. 65, N. 2, P. 282-292, 2006.
- ERDTMAN, G. The Acetolysis Method—A Revised Description. Em: **The acetolysis method—a revised description**. V. 54, P. 561–564, 1960.
- FACADIO, A. C. C.; COELHO NETTO, A. L.; MACARIO, K.; MACARIO, D.; ISHIMINE, K. M.; BARTH, O. M.; JOU, R. M. Holocene hillslope evolution through extreme rainfall induced landslides in the mountainous region of Rio de Janeiro, Brazil. **Geochronology and paleoenvironmental evidence: Earth Surface Processes and Landforms**, V. 49, P. 1675–1689, 2024.
- FACADIO, A.C.C. **Mudanças ambientais holocênicas e evolução de encostas no alto curso das bacias dos rios Grande e Macaé, Região Serrana do Rio de Janeiro**. Tese de doutorado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.
- GOSLING, W. D.; MAYLE, F. E.; TATE, N. J.; KILLEEN, T. J. Differentiation between Neotropical rainforest, dry forest, and savannah ecosystems by their modern pollen spectra and implications for the fossil pollen record. **Review of Palaeobotany and Palynology**, V. 153, N. 1-2, P. 70-85, 2009.
- HAVINGA, A. J. A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. **Pollen et Spores**, V. 26, P. 541-558, 1984.
- HIGUERA, P. E.; BRUBAKER, L. B.; ANDERSON, P. M.; HU, F. S.; BROWN, T. A. Vegetation mediated the impacts of postglacial climate change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska. **Ecological Monographs**, V. 79, N. 2, P. 201-219, 2009.
- INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **APA Estadual de Macaé de Cima: plano de manejo – contextualização e análise regional**. Rio de Janeiro: INEA, 2014.
- ISHIMINE, K. M. B.; FACADIO, A. C. C.; COELHO NETTO, A. L.; BARTH, O. M. Mid-to-late Holocene vegetation and paleofire dynamics of the last 6,000 years in the Southeast Brazilian highlands montane rainforest. **Quaternary and Environmental Geosciences**, V. 15, 2024.
- ISHIMINE, K. M. B. **O fogo na degradação ambiental holocênica e atual: pesquisas no alto vale da bacia do Rio Macaé, Nova Friburgo**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2024.
- JENSEN K.; LYNCH E. A.; CALCOTE, R. Interpretation of charcoal morphotypes in sediments from Ferry Lake, Wisconsin, USA: Do different plant fuel sources produce distinctive charcoal morphotypes. **The Holocene**, V. 17, P. 907–915, 2007.
- LIMA, H. C.; GUEDES-BRUNI, R. R. **Serra de Macaé de Cima: diversidade florística e conservação em Mata Atlântica**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 1º ed, V. 1, 1997.
- MARÇAL, M. S.; RAMOS, R. R. C.; SESSA, J. C.; FEVRIER, P. V. R. Sedimentação fluvial quaternária no Vale do alto curso do Rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 16, N. 3, P. 449-467, 2015.
- MARLON, J. R. et al. Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. **Nature Geoscience**, V. 1, N. 10, P. 697-702, 2008.
- MUSTAPHI, C. C.; PISARIC, M. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, V. 38, N. 6, P. 734-754, 2014.
- NEHREN, U.; KIRCHNER, A.; SATTLER, D.; TURETTA, A. P.; HEINRICH, J. Impact of natural climate change and historical land use on landscape development in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, V. 85, N. 2, P. 497-518, 2013.



- NEVES, L. A. Nova Friburgo: um perfil histórico-geográfico acerca do quadro socioespacial da região. **Geo UERJ Revista do Departamento de Geografia, UERJ, RJ**, N. 7, P. 77-88, 2000.
- NUNES, M. F. S. Q. C.; ORNELLAS, T.; COLACCHI, F. **A vegetação e flora da APA de Macaé de Cima: ameaças, proteção e manejo**. Em: G. H. VILLAS BOAS e C. P. MATTOS (Orgs.), 20 anos da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima: trajetórias e caminhos na pesquisa ambiental. Boa Vista: Editora IOLE/ Rio de Janeiro: EdTur. V. 1, P. 263–306, 2021.
- PAUSAS, J.; KEELEY, J. Wildfires and global change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, V. 19, N. 7, 2021.
- PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; MENEZES, L. S.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, V. 19, N. 3, P. 233-255, 2021.
- PORTES, M. C. G. O.; BEHLING, H.; MONTADE, V.; SAFFORD, H. D. Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. **Acta Paleobotanica**, V. 60, N. 2, P. 438–453, 2020.
- STEVENSON, J.; HABERLE, S. Macro Charcoal Analysis: a modified technique used by the department of Archaeology and Natural History. **PalaeoWorks Technical Report**: No. 5, P. 7, 2005.
- SYLVESTRE, L. S. Pteridófitas da Reserva Ecológica de Macaé de Cima. Em: **Serra de Macaé de Cima: Diversidade e Conservação em Mata Atlântica**, P. 41–52, 1997.
- TEANI, J. V. M.; ISHIMINE, K. M. B.; FACADIO, A. C. C.; COELHO NETTO, A. L. Caracterização de morfotipos de carvão como base para interpretação paleoambiental: experimentos com incêndios controlados em Nova Friburgo, Rio de Janeiro. **Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente**. Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118121>. Acesso em: 24 de julho de 2025
- UMBANHOWAR, C. E.; MCGRATH, M. J. Experimental production and analysis of microscopic charcoal from wood, leaves and grasses. **The Holocene**, V. 8, p. 341-346, 1998.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A.; IBGE. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.
- WHITLOCK, C.; LARSEN, C. Charcoal as a Fire Proxy. Em: J.P. SMOL, et al. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. **Volume 3: Terrestrial, Algal and Siliceous indicators**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, P. 75-97, 2001.
- YBERT, J.-P.; SCHEEL-YBERT, R.; CARVALHO, M. A. **Grãos de pólen de plantas vasculares dicotiledôneas do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Museu Nacional & UFRJ, Orgs, V. 1, 2016.



REGISTRO PALEOAMBIENTAL DO HOLOCENO MÉDIO ATÉ O PRESENTE EM TESTEMUNHO TURFOSO, PARQUE NACIONAL DAS ARAUCÁRIAS - SC

Guilherme Luiz Girardi¹

Marga Eliz Pontelli²

Gisele Leite de Lima Primam³

Beatriz de Jesus Barros⁴

Tayna Ayme Pelegrini Mohr⁵

Victoria Paulina Joaquim⁶

PALAVRAS-CHAVE: Palinomorfos; Holoceno; Paleoambiente; Planalto Subtropical com Araucárias

RESUMO

Paleoambientes são ambientes pretéritos de determinado período geológico. O Quaternário pode ser estudado a partir de vários registros ligados a fenômenos naturais, dentre os quais estão os sedimentos e microfósseis - Palinomorfos e Fitólitos. A caracterização de sedimentos turfosos aliada a identificação de palinomorfos podem evidenciar as condições de paleoambientes. O objetivo deste trabalho é caracterizar o paleoambiente do Parque Nacional das Araucárias (PARNA das Araucárias), do Holoceno médio até o presente. O PARNA das Araucárias situa-se no oeste de Santa Catarina, na Bacia Sedimentar do Paraná, com domínio de rochas do Grupo Serra Geral - Formações Palmas, Chapecó, Paranapanema e Campos Novos. O PARNA das Araucárias situa-se no Planalto Subtropical com Araucária, com relevo de amplos patamares dissecados, clima mesotérmico úmido (Cf), sem estação seca definida, e cobertura vegetal do tipo Floresta Ombrófila Mista (FOM). Para alcançar o objetivo foi coletado testemunho sedimentar turfoso com auxílio de coletor tipo *Russian*. A cada 10 cm descreveu-se a cor do material pela Munsell Color Chart, realizou-se análise granulométrica via úmida e a determinação do teor de matéria orgânica pela queima por ignição. Determinou-se a idade radiocarbônica por AMS no Radiocarbon Dating Lab – Universidade da Georgia/EUA, e elaborou-se modelo de idade-profundidade usando o pacote de *rbacon*. A análise dos palinomorfos seguiu o processamento químico padrão da Palinologia do Quaternário. A identificação taxonômica dos palinomorfos

1 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão, guilherme.lgirardi@gmail.com

2 Professora orientadora, docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão, margapontelli@gmail.com

3 Professora co-orientadora, docente do Curso de Geografia, UFFS – Campus Chapecó, glima@uffs.edu.br

4 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão, bia.barros14.bb@gmail.com

5 Graduanda do Curso de Licenciatura em Geografia, UFFS – Campus Chapecó, itaynamohr@gmail.com

6 Graduanda do Curso de Licenciatura em Geografia, UFFS – Campus Chapecó, victoria.joaquim@gmail.com



foi realizada até o menor nível hierárquico possível, com comparação das amostras às coleções palinológicas, catálogos de referência, Fossil Pollen - Neotropical Pollen Search Tool. Na análise dos dados palinológicos utilizou-se os softwares *TILIA 3.0.3* e *CONISS*. Na extensão de 136 cm de profundidade, correspondente do Holoceno médio até o presente, os materiais apresentam cor preta, variando de 2,5Y 2,5/1 nos primeiros 10 cm à 10YR 2,5/1 até 136 cm. Os resultados da análise granulométrica, aplicados ao diagrama de Flemming, definem materiais de textura silte, levemente argilosos, indicando condição hidrodinâmica de baixa energia na deposição dos sedimentos. O teor de matéria orgânica na superfície é 52,83%, permanecendo até 70 cm de profundidade, passando para 16,07% na base analisada do testemunho -136 cm. A idade radiocarbônica, na base foi de 8.050 anos AP, ± 30 anos (~ 9.000 anos Cal AP). Entre 58-63 cm foi de 2.270 anos AP, com erro de ± 30 anos (~ 2.300 anos Cal AP). Os palinomorfos identificados são de: Campos, Floresta, Aquáticas, Samambaias, Exóticas, Licófitas, Briófitas e Algas. A análise de agrupamento permitiu identificar três fases ambientais nos registros desses sedimentos. Nas fases ambientais, os táxons de Campos apresentam elevada ocorrência, sendo superior a 64%, com destaque para as famílias Poaceae e Asteraceae. A Floresta está representada pela *Araucária angustifolia*, *Ilex* e *Mimosas scabrella*, táxons característicos da FOM. As samambaias apresentam até 81,4%. Identificou-se dois táxons exóticos: *Zea mays* e *Pinus sp.* A priori, os resultados indicam que, desde o Holoceno Médio, o mosaico campo-floresta está presente na área, tal como identificado em outros setores do Planalto Subtropical com Araucárias no estado de Santa Catarina.

INTRODUÇÃO

Paleoambientes constituem ambientes antigos de determinado período geológico, cujas características diferem das atuais. As bases para a compreensão dos paleoambientes fundamentam-se na Geologia, Biologia, Climatologia e Geomorfologia, especialmente em suas subdivisões, bem como na inter-relação entre estes campos científicos (Salgado-Labouriau, 1994; 2007). Dentre os períodos geológicos com variações das condições do ambiente, está o Quaternário, com início cerca de 2,58 milhões de anos atrás, estendendo-se até os dias atuais (Gibbard *et al.*, 2010). A principal característica desse período foi a instabilidade climática, com alternância de períodos glaciais e interglaciais que resultou em importantes mudanças ambientais no globo terrestre, com maior ou menor intensidade dependendo da região (Corrêa, 2021).

O Quaternário é dividido em duas Épocas: Pleistoceno e Holoceno, ambos com Sub Épocas. O Holoceno, Época mais recente, inicia a cerca de 11.700 anos AP até o presente, com Sub Épocas - Inferior, Médio e Superior (Walker *et al.*, 2019). Este período geológico pode ser estudado a partir de vários registros ligados a fenômenos naturais, dentre os quais estão os sedimentos e microfósseis - Palinomorfos e Fitólitos. A caracterização de sedimentos turfosos, aliada a identificação de palinomorfos, podem fornecer importantes evidências das condições ambientais pretéritas (Suguio,



1999; Salgado-Labouriau, 2007). Isto porque, um dos elementos do meio físico mais sensível às mudanças ambientais é a cobertura vegetal. Na dinâmica ecológica natural, os palinórfos que não atingem seu objetivo de fecundação, são depositados, resultando em camadas de sedimentos. Com a deposição contínua dessas partículas, e não ocorrendo erosão ou modificação no ambiente deposicional, registra-se a sucessão do ecossistema em determinado período (Salgado-Labouriau, 2007).

Os locais de deposição com características anóxicas, preservam os grãos de pólen e esporos, que evoluem para sedimentos com alta concentração de matéria orgânica e formam turfeiras. Turfeiras constituem materiais esponjosos de restos vegetais, que podem apresentar diferentes níveis de decomposição, incluindo mistura com matéria mineral, constituindo ambiente redutor com água (Bauermann, 2002; Franchi et al, 2006). Diferentes classificações de turfeiras surgem a partir do critério utilizado - botânico, geográfico, grau de decomposição, entre outros. Segundo o critério ecológico, as turfeiras são classificadas em ombrotróficas e minerotróficas (Franchi *et al*, 2006).

Turfeiras ombrotróficas apresentam alimentação apenas pela água de precipitação, com pequena diversidade de espécies vegetais, sendo mais frequentes no Hemisfério Norte. Já as minerotróficas tem influência das águas superficiais e subterrâneas, apresentando elevada diversidade florística - gramíneas, arbustos e árvores. Esse tipo de turfeira tem ocorrência comum no Brasil (Franchi *et al.*, 2006).

A análise de sedimentos de turfeiras minerotróficas – grãos pólen, como indicadores de mudanças ambientais teve início, no Brasil, na década de 1970, fortalecendo-se a partir de 1990. Nessa época, os estudos no sul do Brasil tiveram início, concentrados na fachada leste dos estados de Santa Catarina (Behling, 1995; Lima, 2010; Cancelli, 2012; Behling e Oliveira, 2018; Perin, 2019) e Rio Grande do Sul (Roth e Lorscheitter, 1991; Behling et al., 2004; Jeske-Pieruschka et al, 2010, entre outros).

Estudos com vista ao entendimento de variações ambientais do Quaternário, no interior do Planalto Subtropical com Araucárias (Ab'Sáber, 1967), a partir de análises palinológicas e estratigráficas de sedimentos turfosos, tiveram início somente em 2014. Esses estudos abrangem: o meio oeste de Santa Catarina (Lima et al., 2016; Cechin, 2023; Graeff, 2023); o oeste catarinense (Araújo, 2019; Eidt, 2019; Moraes, 2024; Barros, 2024); o sudoeste do Paraná (Bertoldo et al, 2014); e o setor do alto Uruguai, norte do Rio Grande do Sul (Gadens-Marcon et al., 2014).

No meio oeste catarinense, sedimentos turfosos na Serra do Espigão indicaram predomínio de vegetação campestre desde o Holoceno médio, com ambiente de clima frio, porém com variação da umidade (Lima et al., 2016). De 9310 ± 30 ¹⁴C a 2.230 ± 30 ¹⁴C anos AP, espécies da família Asteraceae, associadas com elementos da Floresta Ombrófila Mista, têm presença significativa. Ressalta-se espécies do gênero *Alchornea*, *Myrsine*,



e a espécie *Mimosa scabrella*, pioneira e exclusiva desta formação vegetal. De 2.230 ± 30 ^{14}C anos AP até o presente, grãos de pólen do gênero *Weinmannia* indicam aumento das temperaturas no ambiente. Este registro evidencia o desenvolvimento da Floresta Ombrófila Mista neste período.

Ainda no meio oeste de Santa Catarina, análise de testemunho turfoso em canal de ordem 1 na Floresta Nacional de Caçador, apresenta alta concentração de matéria orgânica – 8,77% até 23,22% (Cechin, 2023), e palinomorfos indicando incremento de umidade com expansão de táxons de Campo úmido e Floresta, desde final do Holoceno inferior até o final do Holoceno médio (Graeff, 2023). A partir de então, a umidade diminui e a temperatura passa a aumentar, favorecendo o crescimento de áreas ocupadas por floresta, mas ainda inferior a 20%. No fim do Holoceno Superior, 2.685 ± 15 ^{14}C anos AP até o presente, os dados indicam permanência do mosaico campo-floresta, apesar da pequena diminuição de Floresta e do Campo úmido (Graeff 2023).

No oeste catarinense, setor da Floresta Nacional de Chapecó, a estratigrafia de sedimentos turfosos em planície de inundação de canal de ordem 1, indica matéria orgânica entre 20% à 33% (Araújo, 2019). Na área, no Holoceno médio, desde pouco antes de 5.950 ± 30 ^{14}C anos AP (6.652 - 6.799 anos Cal AP), registra-se o aumento de floresta até 65%, e recuo de Campos, de 70% para 35%. O aumento de temperatura e umidade é indicado pela presença do gênero *Microgramma*, epífitas, evidenciando ambiente florestal, assim como o gênero *Cyathea*, que se desenvolve à sombra. Registra-se, também, aumento de briófitas (Edit, 2019).

Na Estação Ecológica da Mata Preta – Abelardo Luz, também no oeste catarinense, divisa com o estado do Paraná, sedimentos de turfeira minerotrófica situada em depressão fechada, apresentam mais de 98% de lama e menos de 2% de areia, estando a matéria orgânica entre 16,85% na base, a 59,27%, na parte superficial (Barros, 2014). A análise dos palinomorfos, na área, indicam expansão da Floresta Ombrófila Mista desde o Holoceno Inferior, aproximadamente 9.839 anos AP, até o presente, apesar do clima frio evidenciado pela presença dos Campos. A umidade é observada em todo o período, o que torna propício para a expansão da FOM (Moraes, 2024).

Como visto, tanto no meio oeste quanto no oeste de Santa Catarina, no Planalto Subtropical com Araucárias, em setores topográficos de fundo de vale e áreas acima de 550 m, os sedimentos turfosos indicam, desde o Holoceno médio até os dias atuais, similaridade de condições ambientais – mosaico campo-floresta (Lima et al., 2016; Eidt, 2019; Graeff, 2023; Moraes, 2024). No entanto, ainda não se tem registro desse intervalo de tempo, no Holoceno, para o setor topográfico acima de 1000 m. Logo, o objetivo da



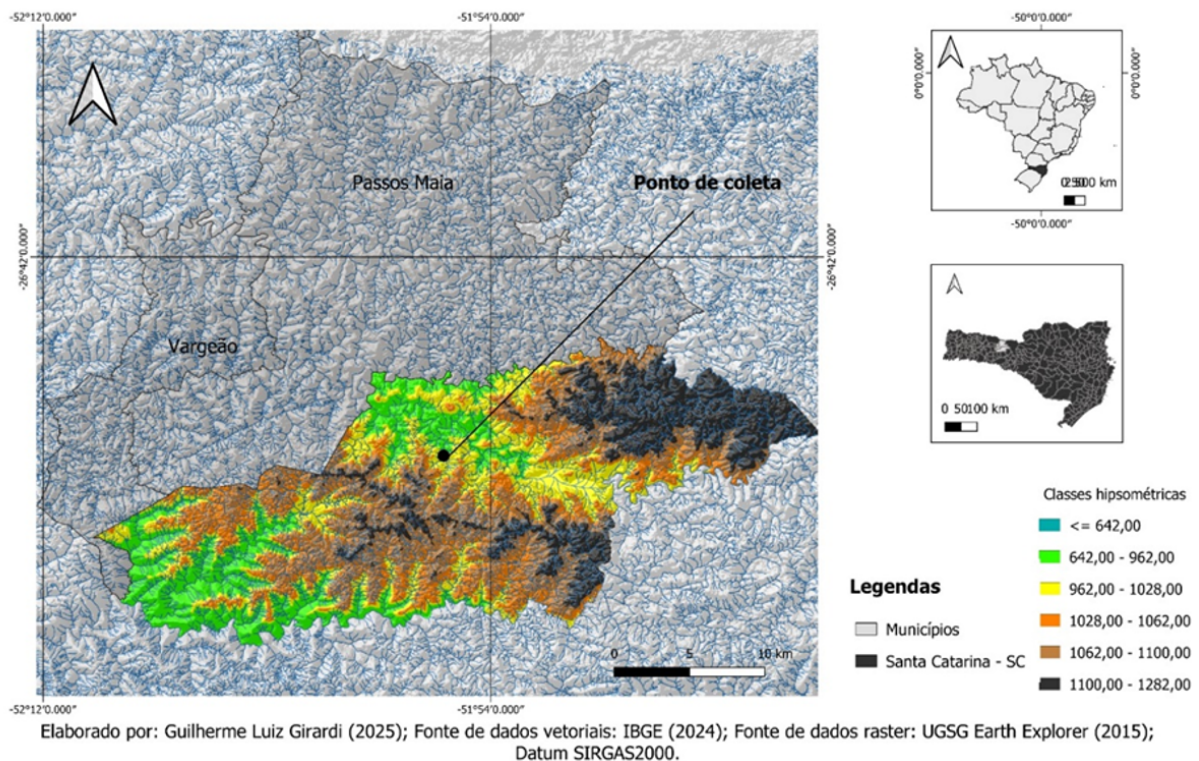
pesquisa é caracterizar o paleoambiente desse setor topográfico no Planalto Subtropical com Araucárias, a partir de sedimentos turfosos do Parque Nacional das Araucárias (PARNA das Araucárias) – Ponte Serrada/SC, desde o Holoceno médio até o presente.

ÁREA DE ESTUDO

O PARNA das Araucárias situa-se no oeste do estado de Santa Catarina. Administrativamente o ponto de coleta do testemunho turfoso corresponde ao município de Ponte Serrada (Fig. 1). A área corresponde ao Domínio Morfoestrutural e Cobertura Sedimentar da Bacia do Paraná, de idade Mesozoica, período Cretáceo. Apresenta domínio de rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral - Formações Palmas, Chapecó, Paranapanema e Campos Novos. No setor do ponto de coleta ($26^{\circ}49'40''S$ $51^{\circ}58'45''W$), afloram rochas ígneas da Formação Chapecó (Freitas, 2002; CPRM, 2014).

FIGURA 1 – Parque Nacional das Araucárias - Ponte Serrada (SC): classes hipsométricas e localização do ponto de coleta.

Parque Nacional das Araucárias - Ponte Serrada (SC): classes hipsométricas e localização do ponto de coleta



FONTE: Elaborado por Guilherme Luiz Girardi, 2025

A unidade de paisagem em que o PARNA das Araucárias se insere corresponde ao *core* do Planalto Subtropical com Araucárias (Paisani et al., 2019). O relevo, no setor, é marcado por interflúvios estreitos, de topo plano a levemente convexo, com encostas de declividade forte, configuradas como patamares intermediários. Os vales são profundos



e encaixados, seguindo linhas estruturais (ICMBio, 2010). O ponto de coleta do testemunho analisado situa-se a altitude entorno de 1020 m, correspondendo a ampla cabeceira em anfiteatro (Fig. 1).

O clima é mesotérmico úmido (Cf), sem estação seca definida, do tipo Cfa - Clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C e acima de 22°C no mês mais quente, com verões quentes. Os meses de junho e julho destacam-se por apresentarem a menor média de temperatura (9°C). O oposto ocorre em dezembro e janeiro, período com temperaturas máximas mais elevadas - 25°C (Climatempo, 2024; ICMBio, 2010; Pandolfo, C. et al, 2002).

As formações superficiais predominantes no setor de coleta do testemunho analisado apresentam características pedológicas de Cambissolos (ICMBio, 2010). A cobertura vegetal, atual, da área é do tipo Floresta Ombrófila Mista (FOM). A FOM apresenta grande variedade de espécies, com seu elemento característico – *Araucária angustifolia*, compondo dossel da floresta. Por vezes a extensão da FOM é interrompida por campos e capões (Klein, 1978; Medeiros, 2004; Kersten, 2015).

METODOLOGIA

O testemunho sedimentar do PARNA das Araucárias em Ponte Serrada/SC, foi obtido com auxílio de coletor tipo *Russian*. Após a coleta do testemunho, este foi acondicionado, identificado respeitando a sua profundidade, embalado e transportado para laboratório.

Em laboratório, realizou-se a descrição morfológica da cor do material, com base na matriz úmida, seguindo a Munsell Soil Color Chart (1994). Após, foram selecionadas amostras para determinação granulométrica do material, a cada 10 cm. Quando secas, as amostras foram destorroadas, com auxílio de pistilo e almofariz de porcelana. Em seguida as amostras foram quarteadas para separação de, aproximadamente, 10 g do material para análise.

Realizou-se pré-tratamento para eliminação da matéria orgânica, utilizando-se soluções cada vez mais concentradas de peróxido de hidrogênio – 7,5%, 15%, 20%, 25% e 30% (Verdade, 1954). Ao atingirem cor clara, que indica livre de matéria orgânica, as amostras foram levadas para secagem em estufa a 105°C. Uma vez secas, pesou-se as amostras em balança analítica. Após adicionou-se, em cada amostra, 50 ml de solução defloculante, composta por 17,85 g de hexametáfosfato de sódio (CALGON) tamponado com 3,97 g de carbonato de sódio anidro, diluídos em 1000 ml de água destilada. Após repouso de 24 horas, as amostras foram agitadas, com agitador magnético, por 20 minutos.

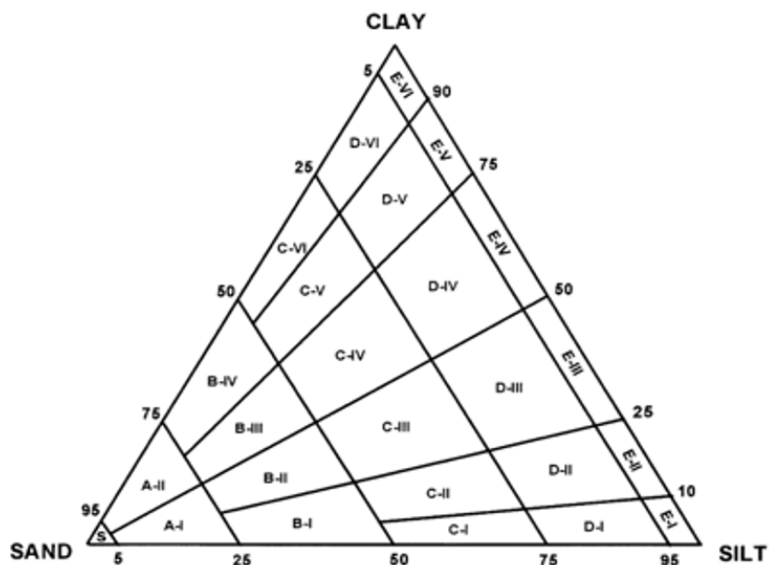


Na sequência separou-se as frações grossas e finas, por via úmida. Pela lavagem, os materiais foram separados em fração grossa, retida na peneira > 0.062 mm, e finos, materiais com diâmetro < 0.062 mm. A fração grossa foi levada em estufa para secar. Posteriormente, realizou-se peneiramento utilizando-se peneiras de escalas: 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,062 mm.

A pipetagem da fração fina foi realizada após o conteúdo das provetas ter descansado por período de, aproximadamente, 24 horas. Aferiu-se a temperatura das amostras para ser definido o tempo necessário para o processo da pipetagem. Realizou-se agitação manual de cada amostra durante o período de um minuto, ininterrupto. Em seguida, aguardou-se o tempo necessário com base no diâmetro das partículas (Paisani, 1998). Coletou-se 20 ml de solução a 5 cm de profundidade dos 1000 ml contido nas provetas e colocou-se em béqueres. Estes foram levados para estufa em temperatura de 105 °C, para secagem e, posteriormente, pesagem. Com os dados obtidos foram organizados gráficos para a representação da análise granulométrica e lançados no diagrama de Flemming (2000), para obtenção da classificação textural dos sedimentos (Fig. 2).



FIGURA 2 – Diagrama triangular para a classificação de sedimentos proposta por Flemming, tipos de sedimentos e classe textural.



| TIPO DE SEDIMENTO | CÓDIGO | CLASSE TEXTURAL |
|--------------------------------------|--------|--|
| Areia (<5% lama) | S | Areia |
| Areia levemente lamosa (5-25% lama) | A-I | Areia levemente siltosa |
| | A-II | Areia levemente argilosa |
| Areia lamosa (25-50% lama) | B-I | Areia muito siltosa |
| | B-II | Areia siltosa |
| | B-III | Areia argilosa |
| | B-IV | Areia muito argilosa |
| Lama arenosa (50-75% lama) | C-I | Lama arenosa extremamente siltosa |
| | C-II | Lama arenosa muito siltosa |
| | C-III | Lama arenosa siltosa |
| | C-IV | Lama arenosa argilosa |
| | C-V | Lama arenosa muito siltosa |
| | C-VI | Lama arenosa extremamente argilosa |
| Lama levemente arenosa (75-95% lama) | D-I | Lama levemente arenosa extremamente siltosa |
| | D-II | Lama levemente arenosa muito siltosa |
| | D-III | Lama levemente arenosa siltosa |
| | D-IV | Lama levemente arenosa argilosa |
| | D-V | Lama levemente arenosa muito argilosa |
| | D-VI | Lama levemente arenosa extremamente argilosa |
| Lama (>95% lama) | E-I | Silte |
| | E-II | Silte levemente argiloso |
| | E-III | Silte argiloso |
| | E-IV | Argila siltosa |
| | E-V | Argila levemente siltosa |
| | E-VI | Argila |

FONTE: Flemming (2000); Oliveira e Lima (2004).



Também foi determinado o teor de matéria orgânica através do método de PPI - Perda de Peso por Ignição (Embrapa, 1979). Inicialmente os cadinhos são calcinados em mufla, a 500 °C, por uma hora. Após o esfriamento, cada cadinho é pesado em balança analítica e registrado a sua massa. Na sequência, cerca de 1g de cada amostra é pesada, acondicionada aos cadinhos e levado a mufla a 150 °C, por uma hora. Posteriormente, os cadinhos são retirados da mufla e levados a dessecador, para resfriarem. Após, são levados à balança de precisão e registrado o peso. Em seguida, os cadinhos com as amostras retornam à mufla, a temperatura de 650 °C, por duas horas. Ao serem retirados da mufla, permanecem cerca de 30 minutos no dessecador, sendo novamente pesados e registrado sua massa.

Efetuada os procedimentos, os valores das pesagens são utilizados nos cálculos de porcentagem de matéria orgânica, de acordo com a relação:

$$\% = \frac{M2 - M1}{MA} \times 100$$

- ▶ **M2** = Massa do cadinho com amostra a 650 °C;
- ▶ **M1** = Massa do cadinho com amostra a 150 °C;
- ▶ **MA** = Massa da amostra.

A idade radiocarbônica⁷ de duas amostras foi obtida a partir da análise ¹⁴C-MAS. Selecionou-se cerca de 10g de amostra, em extrato seco, e enviou-se ao Laboratório de Radiocarbono do Centro de Estudos de Isótopos Aplicados, Universidade da Georgia (EUA). Para contribuir na interpretação paleoambiental elaborou-se, a partir das idades radiocarbônicas, modelo de idade-profundidade. Este modelo permite estimar a idade a cada centímetro, seguindo a estatística bayesiana, usando o pacote de *rbacon* (Blaauw e Christen, 2019).

Por fim, realizou-se análise palinológica, seguindo o processamento químico padrão para palinologia do Quaternário, conforme Faegri e Iversen (1975). O processamento consiste em extrair a cada 8 cm de intervalo, 0,5 cm³ do testemunho sedimentar. Este volume de material é colocado em tubos Falcon, juntamente com um comprimido de *Lycopodium clavatum*. Acrescenta-se à subamostra 4 ml de ácido clorídrico (HCl), solução a 10%, para remoção dos carbonatos, homogeneiza-se e centrifuga-se (3600 RPM/4 min).

⁷ Para a análise foram utilizados recursos do Processo CNPq - 406215/2023-5.



Após, descarta-se o sobrenadante, lava-se com água destilada, homogeneiza-se e centrifuga-se (2 vezes). Na sequência realiza-se filtração em malha de 150 μm . Adiciona-se 3 ml de ácido acético glacial (CH_3COOH) para desidratação e homogeneiza-se. Centrifuga-se (3600 RPM/4 min) e descarta-se o sobrenadante.

Posteriormente realiza-se acetólise, adicionando 5 ml de solução (solução de acetólise: 9 partes de anidrido acético ($(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$) e uma parte de ácido sulfúrico (H_2SO_4)) homogeneiza-se. Acondiciona-se os tubos Falcon em banho-maria à temperatura de 90°C por 3 minutos. Após o tempo, centrifuga-se (3600 RPM/4 min). Finalizando o procedimento químico, descarta-se o sobrenadante, realiza-se lavagem com água destilada, homogeneiza-se e centrifuga-se (2 vezes).

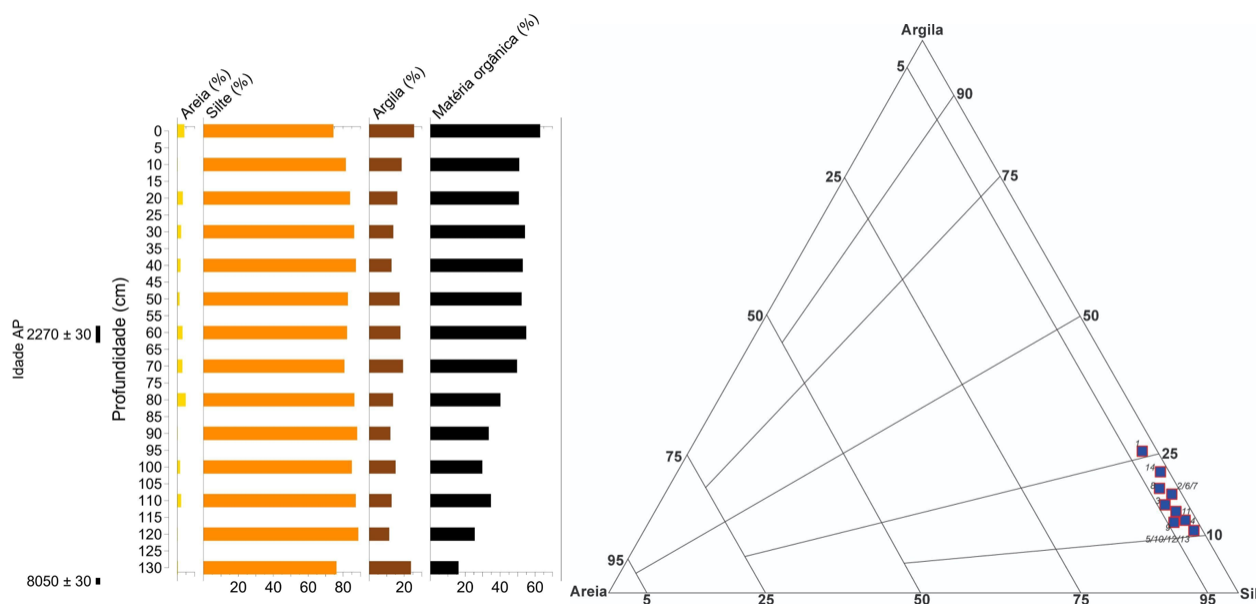
Na sequência, para cada subamostra foram montadas lâminas em meio de gelatina glicerina. Com auxílio de microscópio óptico, foi realizada a identificação taxonômica dos palinóforos até o menor nível hierárquico possível, comparando as amostras às coleções palinológicas, catálogos de referência, Fossil Pollen - Neotropical Pollen Search Tool e Rede de Catálogos Polínicos On-line (RCPol). Foram contabilizados 300 grãos de pólen para cada subamostra, sendo os resultados apresentados em diagrama de porcentagem palinológica, realizado com o auxílio do software *TILIA 3.0.3*. Para determinar as fases paleoambientais, realiza-se análise de agrupamento com auxílio do software *CONISS*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados correspondem a extensão dos materiais da superfície até 136 cm de profundidade, compreendendo o período do Holoceno médio até o presente. Nesta extensão, a fração granulométrica mais representativa é o silte, variando entre 74,39% e 88,65% (Fig. 3). A argila apresenta teor máximo nos primeiros centímetros – 25,61% da superfície, decrescendo gradativamente até 40 cm de profundidade. Entre 50 e 70 cm registra leve aumento, mas ainda inferior a 20%. A fração areia apresenta-se inferior a 2,3% ao longo da extensão analisada. Exceto os primeiros 10 cm de profundidade, cuja classificação textural no diagrama de Fleming é silte argiloso (EI; Fig. 2), os demais materiais classificam-se como silte levemente argiloso (EII; Fig. 2). No conjunto, os sedimentos correspondem ao tipo lama (Fig. 2).



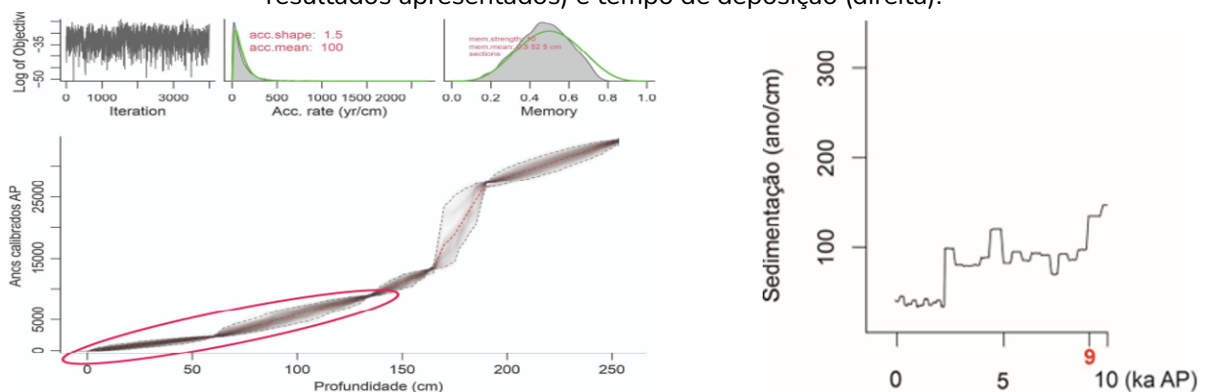
FIGURA 3 – Frações granulometria, matéria orgânica e classificação textural.



O percentual de matéria orgânica é máximo nos primeiros 10 cm – 62,83%, mantendo-se pouco acima de 50% entre 10 e 70 cm de profundidade (Fig. 3). A partir de 70 cm decresce gradativamente em profundidade, registrando-se na base o menor valor – de 16,07%. Ao longo de toda a extensão analisada, a cor dos materiais é preta, variando de 2,5Y 2,5/1 nos primeiros 10 cm, a 10YR 2,5/1 no restante do testemunho.

As idades radiocarbônicas determinadas nos intervalos de 58 - 63 cm e 133 - 135 cm indicaram, respectivamente, idade de 2.270 ±30 anos AP e 8.050 ±30 anos AP. Essas idades, aplicadas ao modelo idade-profundidade, resultam em datas de, aproximadamente, 2.300 anos Cal AP e 9.000 anos Cal AP, respectivamente. Da superfície até 60 cm de profundidade a taxa de sedimentação fica entre 34 e 46 ano/cm (Fig.4). A partir de 60 cm, até a base do testemunho analisado (136 cm), a média do tempo de deposição é de 90 ano/cm.

FIGURA 4 – Modelo idade-profundidade (esquerda; período circundado em vermelho refere-se aos resultados apresentados) e tempo de deposição (direita).

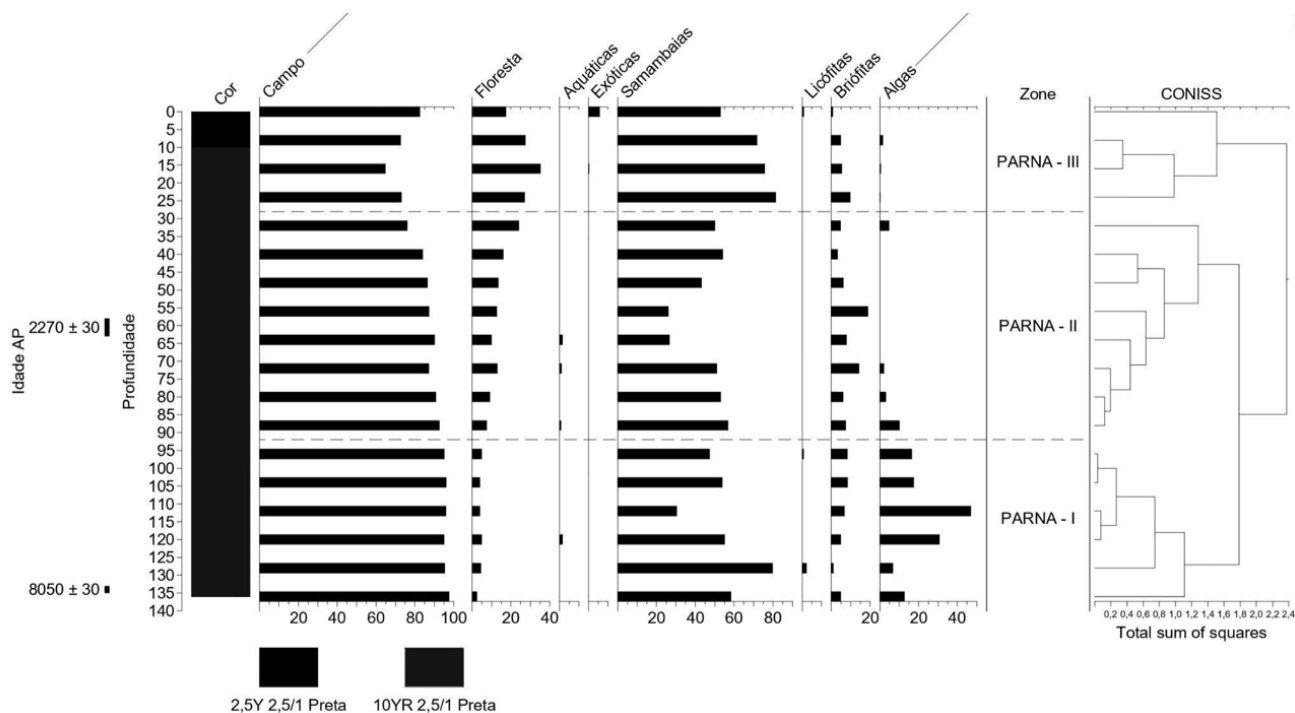


FONTE: Elaborado pelos autores.



Os palinomorfos identificados no testemunho analisado foram agrupados em: Campos, Floresta, Aquáticas, Samambaias, Exóticas, Licófitas, Briófitas e Algas (Fig. 5). A análise de agrupamento individualiza três fases ambientais ocorridas na área, desde o Holoceno médio até a atualidade: PARNA - I, PARNA - II e PARNA - III (Fig. 5).

FIGURA 5 – Diagrama de porcentagem palinológico - PARNA das Araucárias - Grupos



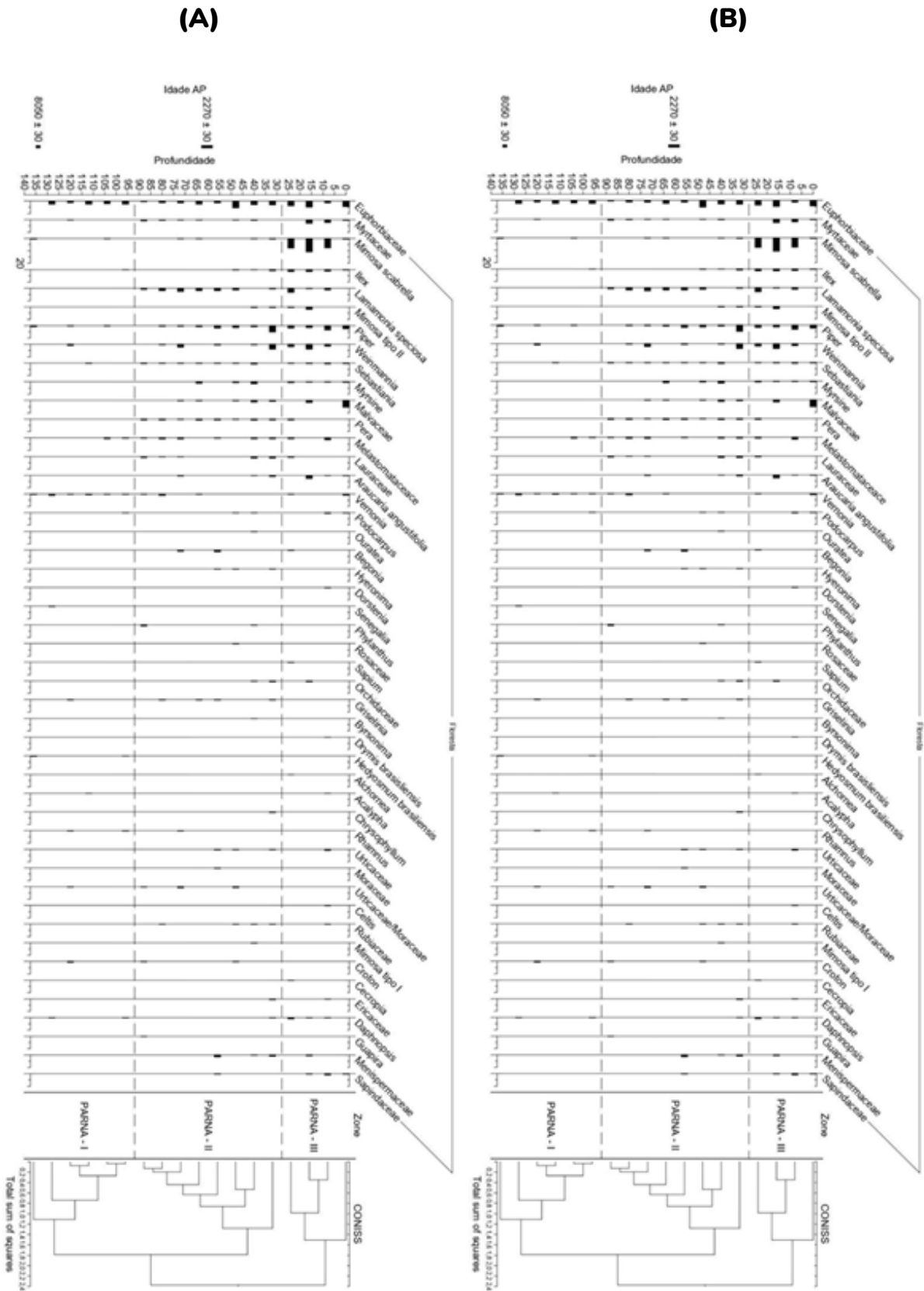
FONTE: Elaborado pelos autores.

Na fase PARNA - I (136 cm a 92 cm), entre 9.000 a 4.986 anos Cal AP, os táxons de Campos se destacam – 95,1 a 97,5% (Fig. 5). Neste grupo, se sobressaem as famílias Poaceae – com até 82,5%, Asteraceae – 13,9 % e Apiaceae – 10,3% (Fig. 6-A). A floresta não ultrapassa os 5%, destacando-se a família Euphorbiaceae – 1,3 a 2,7%, e ocorrendo em praticamente todas as amostras (Fig.6-B). No grupo das samambaias (30,4 - 79,8%), *Blechnum imperiale* apresenta maiores percentis até 46,8% (Fig. 7). As briófitas não ultrapassam 8,3%, sendo *Phaeoceros laevis* e *Sphagnum* representando até 4,6% e 5,3%, respectivamente. Nesta fase PARNA-I, as algas são representativas (6,7 - 46,9%), principalmente pela *Pseudoschizaea* (Fig. 7).

A fase PARNA–II, relativo aos materiais do intervalo entre 92 cm a 28 cm, corresponde a idade entre 4.986 a 1.031 anos Cal AP. Os táxons de Campos oscilam de 92,5% no início da fase, para 76% no final da fase (Fig. 5). As famílias Poaceae (51,3 - 70,6%) e Asteraceae (5,2 - 12,7%), juntamente com o gênero *Baccharis* (0 - 4,6%), se sobressaem (Fig. 6-A).



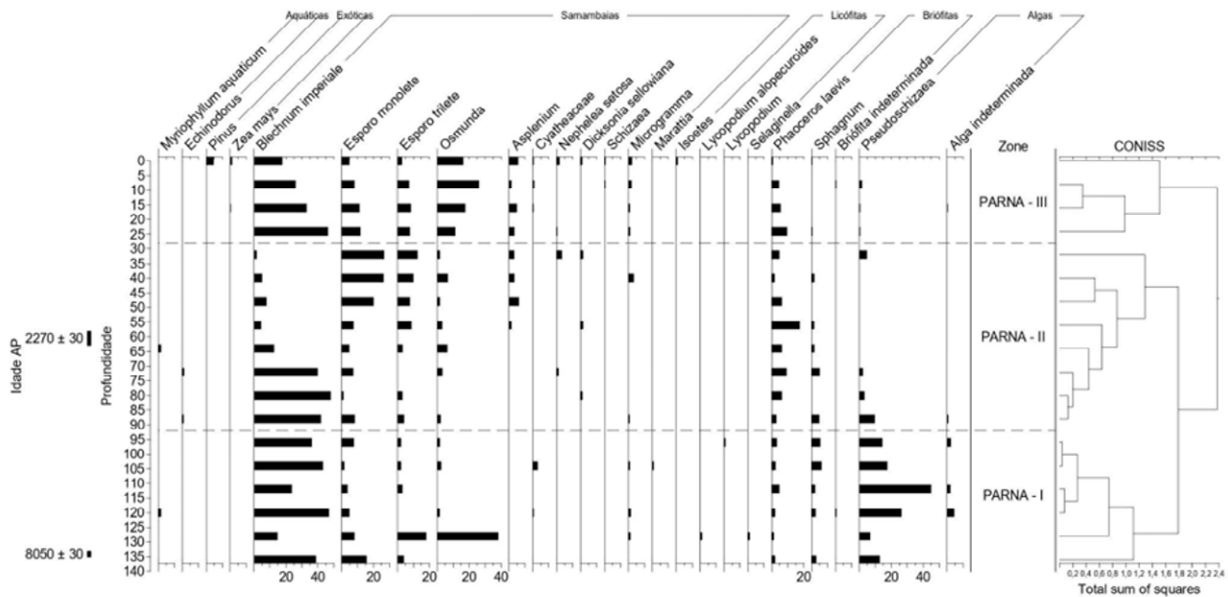
FIGURA 6 – Diagrama de porcentagem palinológico - PARNA das Araucárias: Campos (A); Floresta (B)



FONTE: Elaborado pelos autores.



FIGURA 7 – Diagrama de porcentagem palinológico - PARNA das Araucárias - Aquáticas, Exóticas, Samambaia, Licófitas, Briófitas e Algas.



FONTE: Elaborado pelos autores.

Verifica-se expansão da floresta em direção ao topo, de 7,5% para 24% (Fig. 5). A família Euphorbiaceae (0,6 - 5,6%), o gênero *Piper* até 5,2% e a espécie *Lamanonia speciosa* até 2,6% tem os maiores percentuais, *Weinmannia* e *Lauraceae* com 3,9 % e 1,3% respectivamente, apresentam valores mais alto no final da fase (Fig. 6-B).

Na fase PARNA – II, as Samambaias variam de 26,1% a 56,8% (Fig. 5), com *Blechnum imperiale* predominando até o meio da fase (92 a 70cm). De 60 cm até 28 cm, os esporos monolete passam a predominar (Fig. 7). As briófitas (3,3 - 18,8%) são representadas pelo *Phaeoceros laevis* (2,7 - 17,4%) e *Sphagnum* que apresenta valores maiores até o meio da fase. As algas têm maior representação no início da fase, com cerca 10,1% (Fig. 7).

A terceira fase – PARNA-III, individualiza-se dos 28 cm até a superfície abrangendo, aproximadamente, os últimos 1.000 anos Cal AP. Observa-se o máximo recuo dos táxons de Campos (73%), logo no início desta fase, voltando a aumentar em direção à superfície, onde atingem 82,6% (Fig. 5). Essa mesma tendência de recuo e aumento é observado para as Poaceae – 59,2%, que predominam entre os Campos (Fig. 6-A). Ainda se destacam como mais representativos: Asteraceae, até 10,2%; Solanaceae, até 5,6% e gênero *solanum* (1,3 - 5,3%). Nesta fase a Floresta atinge a máxima expansão, chegando a 35,2% (Fig.5). Dentre as famílias, a Euphorbiaceae atinge 4,9%, os gêneros *Myrtaceae* (0 - 2,9%) e *Weinmannia* até 3,9% (Fig.6-B). Igualmente, verifica-se maiores percentis, no testemunho, das espécies da FOM: *Mimosa scabrella* (0,5 - 10,7%), *Ilex* (0,5 - 1,6%) e *Araucária angustifolia* até 2,6% (Fig. 6-B).



Na amostra da superfície (PARNA-III) registrou-se presença de espécies exóticas: *Pinus*, 4,6% e *Zea mays*, 1,1% (Fig. 5). Também nesta fase registram-se os maiores percentuais de samambaias – 52,8 a 81,4%. Entre elas: *Blechnum imperiale*, até 46,3%; *Osmunda*, cerca de 17,4%; e *Microgramma*, aproximadamente 2,2% (Fig. 7). Já o percentual de Briófitas decresce em direção à superfície – de 9,8 para apenas 0,8%. O grupo de Licófitas é apresentado pelo gênero *Isoetes* 0,8%. Enquanto as Algas oscilam de 0% a 1,5%, representada pela *Pseudoschizaea* (Fig. 7).

A coloração preta, definida pela Carta de Munsell (1994), para os materiais estudados no PARNA das Araucárias, também é encontrada em outras áreas de estudo no Planalto Subtropical com Araucárias. Tanto no meio oeste catarinense – Floresta Nacional de Caçador (Cechin, 2023), quanto no Refúgio de Vidas Silvestres dos Campos de Palmas/PR (Soave, 2023). Os elevados percentuais de matéria orgânica, acima de 40% na maior parte das amostras, evidenciam características de turfeira, assim como encontrado por Barros (2024) na Estação Ecológica da Mata Preta (oeste catarinense), e por Soave (2023) no Refúgio de Vidas Silvestres dos Campos de Palmas/PR. Essa característica é típica de ambientes de deposição de sedimentos turfosos (Franchi *et al.*, 2006).

O material depositado na turfeira é composto basicamente por matriz fina, principalmente silte, seguido de argila, enquanto a fração areia apresenta baixos percentuais. Ainda assim, a presença mesmo que pequena da fração areia, indica a alimentação da turfeira não somente por água pluvial, mas também pelo escoamento superficial. Essa condição confirma tratar-se de turfeira minerotrófica (Franchi *et al.*, 2006). Já o predomínio de frações granulométricas finas (silte e argila) indica tratar-se de ambiente deposicional de baixa energia (Flemming, 2000). Barros (2024), Araújo (2019), Cechin (2023) e Soave (2023) também observam essa característica em outros setores do oeste e meio oeste catarinense e nos campos de Palmas/PR.

Os palinomorfos identificados indicam predomínio de táxons campestre em todo o período do Holoceno médio ao atual. Na fase PARNA - I (9.000 a 4.986 anos Cal AP) interpreta-se ocorrência de clima ameno e condição de umidade, pela presença de *Pseudoschizaea* e *Phaeoceros laevis*.

Na fase PARNA - II (4.986 a 1.031 anos Cal AP) verifica-se a expansão da floresta, ficando mais diversa. Expansão da floresta durante o final do Holoceno médio, atingindo maiores porcentagens no início do Holoceno Superior, também foi identificado por Graeff (2023) na Floresta Nacional de Caçador, meio oeste catarinense. No final da fase PARNA-II, verifica-se início da retração dos Campos, assim como Eidt (2019) também registra a retração dos Campos, no mesmo período, a oeste desta área, na Floresta Nacional de Chapecó.



O aumento de esporos do meio para o final da fase PARNA-II indica condições ambientais de aumento de umidade e também de temperatura. Na Estação Ecológica da Mata Preta, a noroeste da área de estudo, Moraes (2024) verifica aumento da Floresta Ombrófila Mista e de esporos de *Asplenium*, sustentando a condição de aumento de temperatura e umidade do ambiente. Esta condição ambiental também é evidenciada por Graeff (2023), a leste da área de estudo, assim como por Valerius (2024), no Refúgio de Vida Silvestre dos Campos de Palmas, a norte da área de estudo.

Aproximadamente os últimos 1.000 anos Cal AP na área de estudo – Fase PARNA – III, grãos de pólen/esporos de *Weinmannia* e *Phaeoceros laevis* indicam aumento da temperatura, também já evidenciado no final da Fase PARA-II. Esta interpretação é corroborada pela maior porcentagem da floresta (35,2%), nesta fase. Essa mesma condição ambiental também é verificada por Lima (2016) na Serra do Espigão, a leste da área de estudo. A noroeste, na Estação Ecológica da Mata Preta, segue o registro do aumento da Floresta Ombrófila Mista (Moraes, 2024). A umidade está presente pelo registro de briófitas, algas e maiores porcentagens de samambaias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos palinomorfos do Holoceno médio até o tempo presente, realizadas em testemunho no PARNA das Araucárias, Ponte Serrada/SC, ampliam a base de dados para o entendimento das condições paleoambientais reinantes no interior do Planalto Subtropical com Araucárias, no oeste catarinense.

A análise de agrupamento dos resultados, a partir do software CONISS, indicou três fases ambientais ocorridas desde o Holoceno médio, na área. Aproximadamente a 9.000 anos o ambiente apresentava-se frio e com umidade prevalecendo. Essas condições vão se alternando para aumento de temperatura, com manutenção da umidade, o que favorece a expansão da floresta.

Em suma, os dados palinológicos obtidos sugerem que os Campos dominam a paisagem desde o Holoceno médio até o último milênio, quando a Floresta Ombrófila Mista passa a dominar na paisagem. Fica evidenciado o mosaico campo-floresta para todo o período abordado, corroborando com as pesquisas já realizadas em outros locais no meio oeste e oeste de Santa Catarina, interior do Planalto Subtropical com Araucárias



Agradecimentos:

Os autores agradecem ao CNPq, Processo 406215/2023-5, pelo auxílio financeiro para realização das datações por ^{14}C , bem como ao Núcleo de Estudos Paleo Ambientais (NEPA), da UNIOESTE – Campus Francisco Beltrão, pelo uso de veículo para realização de levantamento de campo.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER AN (1967) Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. *Orientação* 3:45–48
- ARAÚJO, Régis Delavi. **Estratigrafia de depósitos aluviais na Floresta Nacional de Chapecó**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Licenciatura em Geografia, Chapecó, SC, 2019. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3144>
- BARROS, Beatriz de Jesus. **Caracterização de sedimentos turfosos em uma seção colunar na ESEC da Mata Preta, Abelardo Luz (SC)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Licenciatura em Geografia, Chapecó, SC, 2024. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/8598>
- BAUERMANN, Soraia G.; MARQUES-TOIGO, M.; BEHLING, Hermann; NEVES, Paulo C. P. das. Aspectos Tafonômicos em Palinologia de Quaternário. **Pesquisas Botânicas**, Nº 52, p. 223 – 239, 2002.
- BEHLING, H. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, 4i, p. 127-152, Springer-Verlag, 1995.
- BEHLING, Hermann; PILLAR, V. D; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S.G. Late Quaternary Araucaria Forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Science Direct, Elsevier: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol.203:277-297, 2004.
- BEHLING, H.; OLIVEIRA, M. A. T. Evidence of a late glacial warming event and early Holocene cooling in the southern Brazilian coastal highlands. **Quaternary Research**, n. 89, p. 90-102, 2018.
- BERTOLDO, Édson; Paisani, J.C.; Oliveira, P. E. de. Registro de Floresta Ombrófila Mista nas regiões sudoeste e sul do Estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno/Holoceno. **Hoehnea** 41(1): 1-8, 1 tab., 5 fig., 2014.
- BLAAUW, Maarten et al. rbacon: Age-depth modelling using Bayesian statistics. R package version, v. 2, n. 9.1, 2019.
- CANCELLI, R. R. **Evolução paleoambiental da planície costeira Sul-Catarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos**. 185 p. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2012.
- CECHIN, Micheli. **Caracterização de sedimentos turfosos na Floresta Nacional de Caçador, Estado de Santa Catarina, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Licenciatura em Geografia, Chapecó, SC, 2023. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7014>
- CLIMATEMPO. Climatologia e histórico de previsão do tempo em -bPonte Serrada, BR. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/4669/ponteserrada-br> Acesso em:08/12/2024
- CORRÊA, Iran Carlos Stallivier. **Variações Climáticas no Quaternário**. Porto Alegre. 2021.
- CPRM. WILDNER, W.; CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J.A.; BINOTTO, R.B.; IGLESIAS, C.M.F.; LAUX, J. H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional



- EIDT, Ivan L. K. **Paisagens, Paleoambientes e Ocupações Humanas do Final do Quaternário: palinologia de depósitos aluviais no oeste de Santa Catarina**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ. Chapecó, 2019, 42 f.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: SNLCS – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979.
- FAEGRI, K; IVERSEN, J. **Textbook of pollen analysis**. Nova Iorque: Hafner Press, 1975.
- FLEMMING, B.W. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. **Continental Shelf Research**, n.20, p. 1125-1137, 2000.
- FRANCHI, J. G.; Sígolo Í, J. B.; Motta, J. F. M. Diagnóstico das turfas no Brasil: histórico da utilização, classificação, geologia e dados econômicos. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 36, p. 179-190. 2006.
- FREITAS, Marcos A., Org. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina** - Projeto Oeste de Santa Catarina / Organizado por Marcos A. de Freitas; Bráulio R. Caye; José L. F. Machado. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI. 2002.
- GADENS-MARCON, Gabrielli T.; Gerra-Sommer, Margot; Mendonça-Filho, João G.; Carvalho, Marcelo de A.; Hartmann, Léo A. Holocene Environmental Climatic Changes Based on Palynofacies and Organic Geochemical Analyses from an Inland Pond at Altitude in Southern Brazil. **Scientific Research American Journal of Climate Change**, 2014, 3, 95-117.
- GIBBARD, P. L.; Head, M. J.; Walker, M. J. C. and The Subcommission on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. **Journal of Quaternary Science**, 2010. Vol. 25 pp. 96–102.
- GRAEFF, Ademar. **Reconstituição Paleoambiental do Planalto do Meio-Oeste de Santa Catarina, Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ. Chapecó, 2023, 56p.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo**. Parque Nacional das Araucárias. Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/parna-das-arauarias> Acesso em: 16/05/2024.
- JESKE-PIERUSCHKA; Vivian; Fidelis, Alessandra; Bergamin, R.S; Vélez, Eduardo; Behling, Hermann. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 2010.
- KLEIN, R. M. Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Itajaí, 1978.
- KERSTEN, Rodrigo & BORG, Marília & GALVÃO, Franklin. (2015). Floresta Ombrófila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo.
- LIMA, G. L. **Estratigrafia e Palinologia e Depósitos Turfosos e Alúvio-colúviais Quaternários no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro e Planalto de São Bento do Sul, Santa Catarina**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.
- LIMA, G. L.; OLIVEIRA, M. A. T.; TUROLLO, D.S. Análise Palinológica e Estratigráfica de uma turfeira na Serra do Espigão – Lebon Régis (SC). **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia**, ano 31, nº 69, p. 48, Junho/2016
- MEDEIROS, João de Deus. et al. **Floresta com Araucárias: um símbolo a ser salvo da extinção**. Rio do Sul; APREMAVI, 2004
- MORAES, Isis Fumagalli de. **Significado paleoambiental de registro palinológico da ESEC Mata Preta, planalto subtropical com araucárias, Abelardo Luz (SC)**. 2024. 77 f. Dissertação (Mestrado Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2024. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/7632>
- MUNSELL soil color charts. Rev. ed. New Windsor: Munsell Color, 1994.



OLIVEIRA, Marcelo Accioly Teixeira de; LIMA, Gisele Leite de. Classificação de sedimentos quaternários em cabeceiras de vale através da aplicação do diagrama de Flemming: município de Campo Alegre, norte de Santa Catarina. São Paulo. Unesp, **Geociências**, v.23, n. 1/2, p.67-78, 2004.

PAISANI, Júlio Cesar. **Descontinuidades hidrológicas, escoamento superficial e desenvolvimento de incisões erosivas em áreas de cabeceira de drenagem: estudo de caso na colônia Quero-Quero, Palmeira, PR**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis, SC, 1998.

PAISANI, J.C., SANTOS, L.J.C., GOUDARD, G., GOULART, A.A., BIFFI, V.H.R. **Subtropical Araucarias Plateau**. In: Salgado, A. A., Santos, L.J.C., Paisani, J.C. (Eds.), *Physical Geographic of Brazil*. Springer, Switzerland AG, pp. 21–39, 2019.

PANDOLFO, C. et al. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/climatologia/> Acesso em: 15/06/2024

PERIN, E. B. **Prados e Campinas: arqueologia, paleoambiente e fitogeografia do Arroio Cará**. 166 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ROTH, L.; LORSCHREITER, M. L. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, n. 8, 1990. ROUBIK, D. W.; MORENO, J. E. **Pollen and Spores of Barro Colorado**. St. Louis: Missouri Botanical Garden, 1991.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1973. **Contribuição à palinologia dos cerrados**. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 291 p.

SALGADO-LABOURIAU, Maria Léa. Critérios e técnicas para o Quaternário. São Paulo; Edgard Blücher, 2007.

SOAVE, Danielle. **Caracterização de sedimentos turfosos no refúgio de vida silvestre dos Campos de Palmas, Estado do Paraná, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Licenciatura em Geografia, Chapecó, SC, 2023. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7044>

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais**. São Paulo: Paulo's Comunicações E. Artes Gráficas, 1999. 362p 1ª reimpressão 2001.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. Edgard Blucher LTDA. São Paulo, 1973.

VALERIUS, V. H. **Análise palinológica no refúgio da vida silvestre dos Campos de Palmas (PR) no quaternário tardio**. Dissertação (Mestrado Geografia) - Universidade Federal da Fronteira Sul. Chapecó/ Erechim 2024. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/8437>

VERDADE, F. da Costa. Ação da Água Oxigenada Sobre a Matéria Orgânica do Solo. **Boletim Técnico da Divisão de Experimentação e Pesquisas do Instituto Agrônomo de Campinas**, n°24. Campinas, São Paulo, 1954.

WALKER, M., GIBBARD, P., HEAD, M. J., BERKELHAMMER, M., BJÖRCK, S., CHENG, H., CWYNAR, L., FISCHER, D., GKINIS, V., LONG, A., LOWE, J., NEWNHAM, R., RASMUSSEN, S. O., WEISS, H. Formal Subdivision of the Holocene Series/Epoch: A Summary. **Journal Geological Society of India**, Vol.93, February 2019, pp.135-141.



IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES

Lucas da Silva Ribeiro ¹
Luís Eduardo de Souza Robaina ²
Romario Trentin ³
Sandro Sidnei Vargas de Cristo ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica, Cerrado; Modelagem Hidrológica, SWAT.

RESUMO

As mudanças no uso e manejo do solo, represamento e retirada de água e o descarte de efluentes são fatores que ocorrem nas bacias hidrográficas e modificam as características do ciclo hidrológico, afetando diretamente a quantidade e a qualidade das águas. Dessa forma, justifica-se a importância dos modelos hidrológicos, que são ferramentas de suma importância para o planejamento e monitoramento das bacias hidrográficas. Um modelo que tem ganhado destaque e que vem se aperfeiçoando em termo de modelagem hidrológica para as bacias hidrográficas é o modelo desenvolvido pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos, denominado de *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Uma etapa importante neste modelo é a definição de Unidades de Resposta Hidrológicas (HRUs), definidas com base na integração dos dados de uso e cobertura da terra, solo e declividade. Cada unidade vai apresentar características homogêneas para todas as variáveis. Ou seja, uma unidade vai ser definida por um tipo de uso e cobertura, solo e faixa de declividade. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a identificação das HRUs para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, que ocupa uma área de aproximadamente 14.900 km², localizada no Bioma Cerrado da região sudeste do estado do Tocantins, é um importante afluente da margem direita do Rio Tocantins. Como procedimento metodológico, procuraram-se informações de uso e cobertura da terra do ano de 2021 que foram obtidas na plataforma do Mapbiomas. Esse mapa passou por um processo de reclassificação supervisionada, refinando os principais tipos de uso e cobertura da vegetação. O mapa de solos foi obtido através do mapeamento realizado pelo IBGE (2007). O modelo digital de elevação foi utilizado o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com a resolução espacial de 90 metros, disponibilizado pelo site *United States Geological Survey* (USGS). Este modelo foi utilizado para definir a rede de drenagem, sub-bacias e para definição dos limites de declividade. A definição das HRUs foi no SWAT+ no software QGIS, onde é realizada a integração das variáveis para definição das unidades. Os principais resultados

- 1** Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lucassilvaribeiro12@gmail.com
- 2** Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lesrobaina@gmail.com
- 3** Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, romario.trentin@gmail.com
- 4** Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Tocantins - UFT, sidneicristo@uft.edu.br



destacam que a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves tem uma variação altimétrica de 197 a 955 metros, representando uma amplitude de 758 metros. A declividade analisada por intervalos de <5%, 5 a 15% e >15%, apresentou quantitativamente que a classe menor que 5% tem um maior predomínio. As principais classes de uso da terra: Formação Florestal, Formação Savânica-Campestre, Silvicultura, Mineração, Corpos d'água e Áreas Urbanas, onde a Savânica-Campestre é a mais predominante. Já os solos são Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Gleissolo, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo, Nitossolo Vermelho, Planossolo, Plintossolo. Na bacia hidrográfica Rio Manuel Alves, definiram-se 11 sub-bacias e foram identificadas 584 HRUs com diferentes características de tamanho, uso, tipo de solo e relevo. Desse modo, HRUs são importantes para o desenvolvimento de outras investigações no próprio modelo SWAT, pois a partir dessa etapa é possível observar o comportamento hídrico da bacia e as suas relações com a aplicação de diferentes cenários, seja nas mudanças de uso ou climáticas.

INTRODUÇÃO

Os estudos nas bacias hidrográficas têm um papel fundamental para auxiliar na compreensão da sua dinâmica ambiental e espacial, dos elementos naturais e humanos que nela atuam de forma integrada. Considerada como uma unidade natural, as bacias hidrográficas sofrem diferentes tipos de impactos como mudanças no uso e manejo do solo, represamento e retirada de água e o descarte de efluentes são fatores que estão modificando as características do ciclo hidrológico, e afetando a quantidade e a qualidade das águas, sendo determinantes para as alterações no processo hidrológico (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Uma ferramenta que tem auxiliado nos estudos sobre o comportamento das bacias hidrográficas diante das intervenções humanas é a modelagem hidrológica. Segundo Tucci (2002), esses estudos são fundamentais para subsidiar projetos de diferentes usos da água. Almeida e Serra (2017) apresentam que os modelos hidrológicos buscam representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação em vazão numa determinada seção de um rio, e pode ser uma técnica com o intuito de se compreender e representar o funcionamento das bacias hidrográficas e simular diferentes cenários.

Um modelo hidrológico que tem ganhado destaque no âmbito de estudos em bacias hidrográficas é o *Soil e Water Assessment Tool* (SWAT), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura (ARS/USDA) dos Estados Unidos para analisar os impactos das alterações do uso e cobertura do solo sobre o escoamento da água, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas (ARNOLD *et al.*, 1998). Segundo Neitsch *et al.* (2009) o SWAT foi criado para prognosticar o impacto



das práticas de gestão de solo nos recursos hídricos e as produções de sedimentos e aplicação de produtos químicos nas plantações dentro dos grandes complexos de bacias hidrográficas, com diversos tipos de solo, uso do terreno e condições de gestão.

Desse modo, o modelo SWAT é observado como uma ferramenta que utiliza informações de uso e cobertura da terra, solos e relevo, acrescentando dados meteorológicos, com o intuito de modelar uma bacia hidrográfica em um determinado período avaliando o comportamento do balanço hídrico a partir da definição de possíveis cenários de uso e cobertura da terra. Para Dotto *et al.* (2024), a aplicação do modelo SWAT no Brasil ganhou destaque a partir do ano de 2013, refletindo no aumento de publicações sobre a temática.

O SWAT simula o transporte de sedimentos, água e nutrientes por meio de vários canais na bacia hidrográfica (ABBAS *et al.*, 2025). As versões mais atualizadas do SWAT têm oferecido mais flexibilidade para configuração das bacias hidrográficas. Nessa abordagem, as Unidades de Respostas Hidrológicas (HRUs), aquíferos, canais, reservatórios, lagoas, fontes pontuais e entradas são considerados objetos espaciais separados, e o usuário define sua interação hidrológica para representar com precisão as características físicas, ou seja, no SWAT+, as sub-bacias são divididas em áreas de captação de água e uma ou mais unidades de paisagem (LSUs), subdivididas em HRUs (ABITEW *et al.*, 2023).

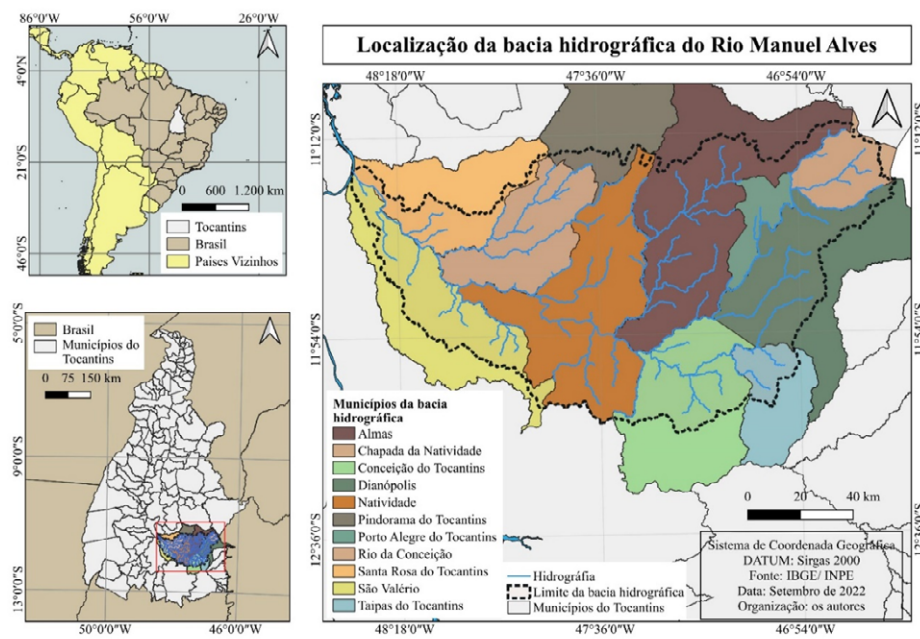
Uma etapa importante no modelo SWAT é a definição das HRUs, um conceito para representar o mapa resultante da integração de informações do uso e cobertura da terra, solos e declividade (HARIFIDY, *et al.*, 2024). Zou *et al.*, (2018), destacam que as HRUs respondem às transformações e perda de água individualmente, agregadas na escala de sub-bacia e direcionadas para saídas de captação associadas a uma rede de drenagem. Her *et al.* (2015) descrevem as HRUs como áreas fisicamente homogêneas e não contíguas, ou seja, podem ser encontradas em diferentes locais em uma sub-bacia, se tornando uma representação dos processos que acontecem na bacia hidrográfica durante a modelagem.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é realizar a identificação das unidades de resposta hidrológicas a partir da integração do uso e cobertura da terra, solos e declividade na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, região sudeste do estado do Tocantins.

A bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves (Figura 1) é uma afluente pela margem esquerda do Rio Tocantins e abrange áreas nos municípios de Almas, Chapada da Natividade, Conceição do Tocantins, Dianópolis, Natividade, Pindorama do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição, Santa Rosa do Tocantins, São Valério e Taipas do Tocantins.



FIGURA 1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves.



FONTE: Autores (2022).

Essa bacia hidrográfica está inserida no Cerrado, um bioma importante para a região central do Brasil que está passando por um processo de transformação avançado, impulsionado por programas governamentais, a exemplo da denominação da área de desenvolvimento agrícola, MATOPIBA (região que abrange o sul do Maranhão, todo o estado do Tocantins, o sul do Piauí e a região oeste da Bahia) (ROCHA e FOSCHIERA, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2022). Essa expansão agrícola está aliada à introdução de tecnologias de irrigação e fertilização do solo, e tem gerado diversas mudanças, resultando em impactos ambientais notáveis, como a fragmentação de habitats e a perda de biodiversidade (ASSIS *et al.*, 2025).

METODOLOGIA

Este estudo iniciou-se, com uma revisão bibliográfica sobre o modelo SWAT e suas atribuições, principalmente relacionada ao mapeamento e identificação das Unidades de Resposta Hidrológicas e levantamento e manipulação dos dados cartográficos para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, como uso e cobertura da terra, solos e Modelo Digital de Elevação (MDE) e em seguida realizou-se a aplicação do modelo hidrológico SWAT.

O levantamento do uso e cobertura da terra foi realizado na plataforma do MapBiomas (versão 9.0) para o ano de 2021, realizando uma reclassificação e adaptação de alguns usos e cobertura para a área de estudo. Assim, foram identificadas para a bacia hidrográfica as seguintes classes: Formação Florestal, Formação Savânica-Campestre, Agropecuária, Soja, Áreas Urbanas, Corpos Hídricos, Silvicultura, Culturas Irrigadas e Solos Expostos.



Os dados de solos foram realizados os levantamentos tanto nas informações vetoriais quanto em informações que correspondessem à característica dos perfis para cada tipo de solo. Essas informações foram adquiridas no Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA) que está vinculado ao próprio Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nesta base de dados é possível verificar informações sobre a quantidade de Areia, Silte e Argila por camada de cada perfis, além de apresentar também a profundidade de cada camada, são informações necessária e importante para modelagem hidrológica no SWAT.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizado *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* com uma resolução espacial de 90 metros, esses dados foram adquiridos na plataforma da *United States Geological Survey (USGS)*.

O modelo SWAT roda através do software QGIS em um *plugin* denominado de QSWAT+. A primeira parte é a inserção do MDE e definir a quantidade de células para gerar um fluxo e assim gerar a rede de drenagem. Para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, definiu-se 79.995 células que corresponde a uma área de 667,9 km² para o limite de fluxo e do canal, essas informações são importantes para definir a densidade da rede de drenagem que vai influenciar na geração das sub-bacias, pois cada canal para o modelo SWAT pode ser considerado como uma sub-bacia. Portanto, esses valores altos reproduzem uma bacia hidrográfica com pouca quantidade de canais e, se fosse o caso de inserir mais canais, precisaria reduzir esses valores. A próxima etapa é definir o ponto de exultório da bacia hidrográfica a ser modelada e gerar as sub-bacias, que nessa área de estudo foram 11 sub-bacias.

Com a definição das sub-bacias é possível iniciar o processo para gerar as HRUs, que se inicia com a inserção arquivo *raster* referente ao mapa de uso e cobertura da terra e também uma planilha eletrônica (Tabela 1) que tem que ter o mesmo ID de correspondência com o raster para fazer a leitura correta de cada tipo das classes.

TABELA 1 – Informações sobre uso e cobertura da terra.

| ID | CÓDIGO SWAT | USO E COBERTURA DA TERRA | ÁREA (%) |
|--------------|-------------|-----------------------------|------------|
| 1 | FRST | Formação Florestal | 5,04 |
| 2 | RNGE | Formação Savânica-Campestre | 59,67 |
| 3 | PAST | Pastagem | 28,85 |
| 4 | SOYB | Soja | 5,6 |
| 5 | URBN | Áreas Urbanas | 0,09 |
| 6 | WEHB | Áreas com Água | 0,31 |
| 7 | BARR | Solos Expostos | 0,04 |
| 8 | RUBR | Silvicultura | 0,13 |
| 9 | CRIR | Culturas Irrigadas | 0,27 |
| TOTAL | | | 100 |

FONTE: Autores (2025)



Os dados de solos também passam pela inserção do arquivo *raster* com as espacializações das classes de cada solo e duas planilhas eletrônicas, uma contendo informações sobre a identificação de cada classe de solos (Tabela 2) e outra planilha com as características químicas e físicas dos solos (Tabela 3).

Na tabela 3, são informações que podem ser geradas em uma planilha eletrônica com macros que se insere a profundidade de cada camada em horizontes, a quantidade de areia, silte e argila para cada perfis relacionados a uma determinada classes de solos, e nessa tabela macro é possível gerar as seguintes informações relacionados aos parâmetros do solo.

TABELA 2 - Informações sobre os dados Solos.

| ID | CÓDIGO SWAT | SOLOS | ÁREA (%) |
|--------------|-------------|------------------------------|------------|
| 1 | PVAe | Argissolos Vermelho-Amarelos | 27,63 |
| 2 | CXbd | Cambissolos | 1,75 |
| 3 | GXbd | Gleissolos | 1,02 |
| 4 | LAW | Latossolos Amarelos | 3,62 |
| 5 | LVd | Latossolos Vermelhos | 2,24 |
| 6 | LVAAd | Latossolos Vermelho-Amarelos | 18,06 |
| 7 | RLd | Neossolos Litólicos | 17,45 |
| 8 | RQo | Neossolos Quartzarênicos | 6,57 |
| 9 | NVe | Nitossolos Vermelhos | 0,4 |
| 10 | SXe | Planossolos | 0,69 |
| 11 | FXd | Plintossolos Háplicos | 20,01 |
| 12 | FFc | Plintossolos Pétricos | 0,56 |
| TOTAL | | | 100 |

FONTE: Autores (2025).

TABELA 3 – Informações sobre os parâmetros do solo.

| CÓDIGO SWAT | DESCRIÇÃO |
|-------------|--|
| SNAM | Nome do solo |
| NLAYERS | Número de camadas (horizontes do solo) |
| HYDGRP | Grupo Hidrológico |
| SOL_ZMX | Profundidade máx. total |
| ANION_EXCL | Fração de porosidade do solo |
| SOL_Z | Profundidade de cada horizonte (mm) |
| SOL_BD | Densidade aparente do solo (g/cm ³) (por camada) |
| SOL_AWC | Capacidade de retenção de água (mm/mm) (por camada) |
| SOL_K | Condutividade hidráulica saturada da camada (mm/hr) |
| SOL-CBN | Conteúdo de carbono orgânico (%) (por camada) |
| CLAY | Porcentagem de argila (por camada) |
| SILT | Porcentagem de silte (por camada) |
| SAND | Porcentagem de areia (por camada) |
| ROCK | Porcentagem de cascalho (por camada) |
| SOL_ALB | Albedo do solo (decimal) (por camada) |
| USLE_K | Fator de erodibilidade K da equação USLE (por camada) |

FONTE: Arnold et al., (2012).



Os limites de declividade no QSWAT são inseridos de forma manual, pois o modelo hidrológico já se baseia no MDE inserido para definição da rede de drenagem e sub-bacias. Para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves foram aplicados os seguintes intervalos: de 0 a 5%, de 5-15% e superior a 15% (Tabela 4).

TABELA 4 – Informações sobre a Declividade.

| DECLIVIDADE | CARACTERÍSTICA DO RELEVO | ÁREA (%) |
|--------------|--------------------------|------------|
| 0-5% | Áreas planas | 84,81 |
| 5-15% | Áreas onduladas | 11,62 |
| >15% | Áreas escarpadas | 3,57 |
| TOTAL | | 100 |

FONTE: Autores (2025).

Nesta etapa o modelo já tem as informações para gerar as HRUs para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, criando um arquivo vetorial com todas as unidades por sub-bacias, onde é possível observar algumas características dessa integração como espacialização e quantificação em áreas por km² e assim realizando algumas análises importantes para área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

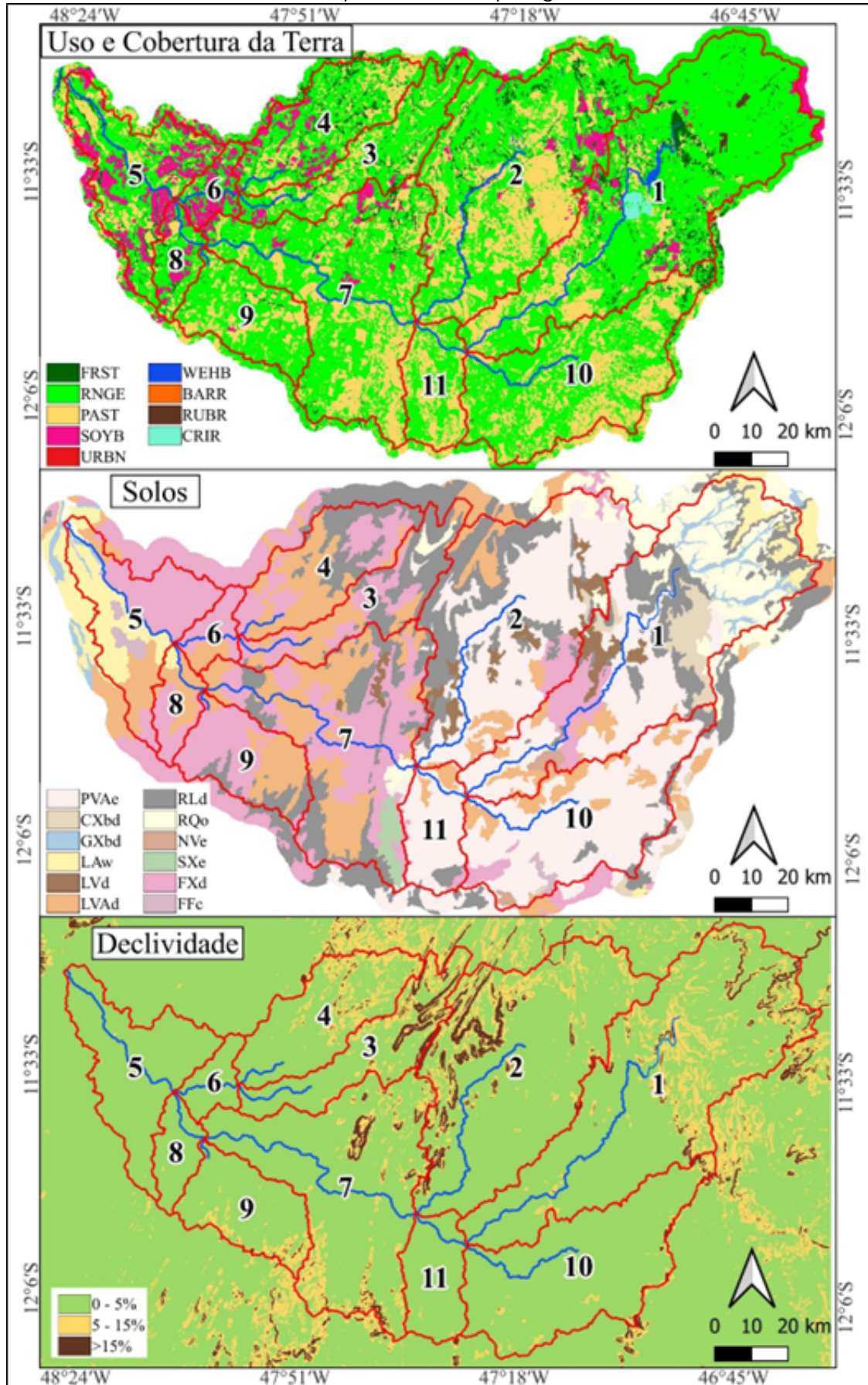
A bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves (Figura 2) está inserida no bioma Cerrado e sua principal característica de uso e cobertura da terra corresponde à Formação Savânica-Campestre com 59,67% da área. A pastagem é a segunda principal classe, com 28,85%, a soja e a floresta ocupam aproximadamente 5% cada uma.

Os principais solos desta bacia hidrográfica são do tipo Argissolos Vermelho Amarelos (27,63%), Plintossolos Háplicos (20,01), Latossolos Vermelho Amarelos (18,06%), Neossolos Litólicos (17,45%), essas quatro classes ocupam aproximadamente 76% da área.

Já a declividade da encosta analisada, sob os limites de 0-5%, 5-15% e maior que 15%, apresentou para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, que 84,81% são consideradas áreas planas, 11,62% são locais com característica de relevo ondulado e 3,57% são áreas escarpadas.



FIGURA 2 – Mapa das variáveis para gerar as HRUs.



FONTE: Autores (2025).



Analisando a integração dos dados de uso e cobertura da terra, solos e declividade para definição da Unidade de Respostas Hidrológicas da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves no modelo hidrológico SWAT, obteve-se as seguintes informações, foram identificadas 11 sub-bacias e 584 HRUs (Tabela 5 e Figura 3).

TABELA 5 – Informações sobre dados das HRUs por sub-bacia.

| SUB-BACIA | ÁREA (%) | HRUS |
|--------------|------------|------------|
| 1 | 22.15 | 168 |
| 2 | 18.83 | 87 |
| 3 | 5.7 | 53 |
| 4 | 6.51 | 28 |
| 5 | 7.21 | 32 |
| 6 | 1.57 | 13 |
| 7 | 15.56 | 79 |
| 8 | 1.99 | 18 |
| 9 | 4.91 | 25 |
| 10 | 12.05 | 59 |
| 11 | 3.52 | 22 |
| TOTAL | 100 | 584 |

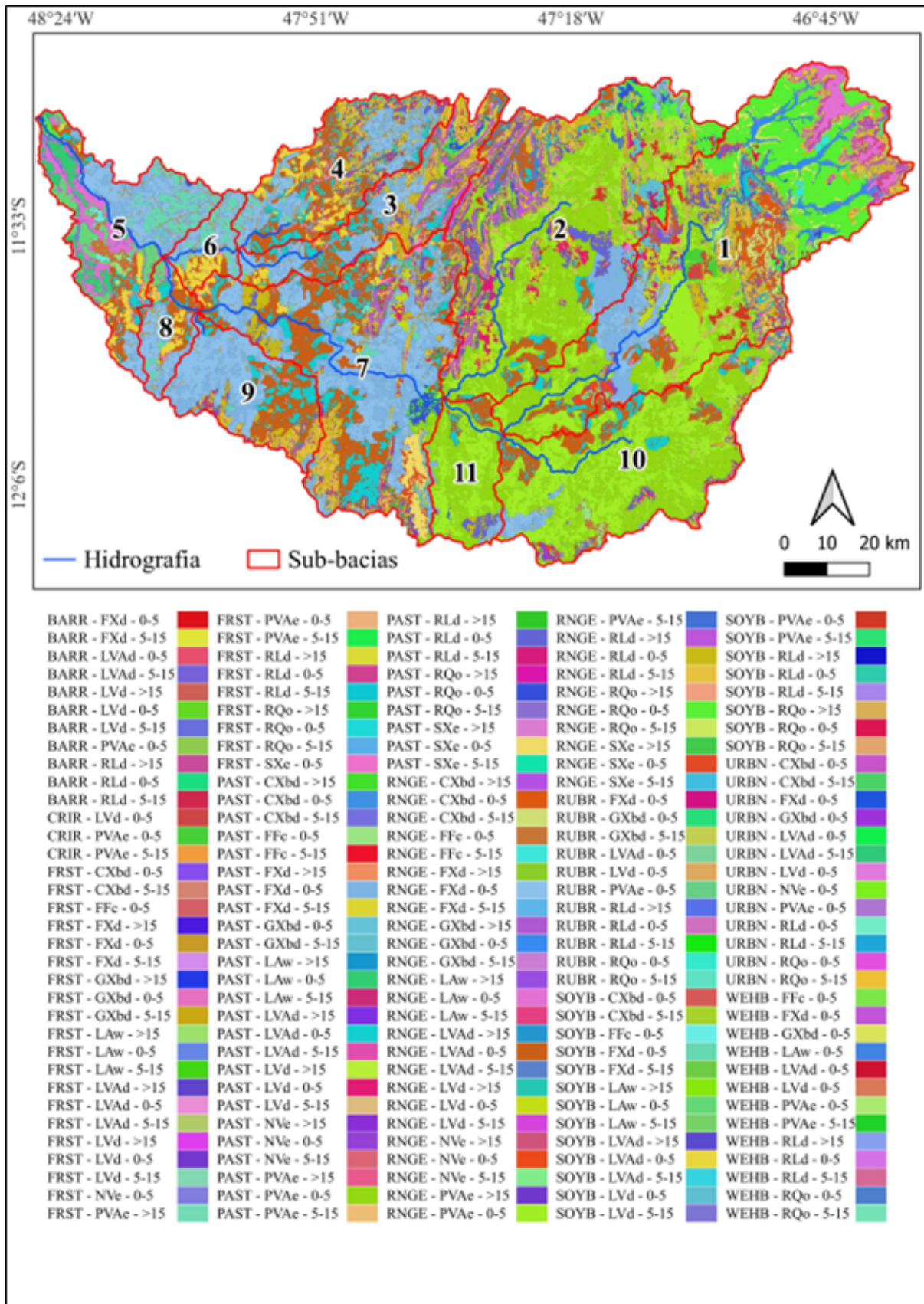
FONTE: Autores (2025).

De modo geral, as principais sub-bacias em termos de abrangência de área são as sub-bacia um, dois, sete e dez, que juntas ocupam aproximadamente 68,59% da área com 393 HRUs. Dessa forma, foi possível observar algumas características mais importantes, considerando as HRUs mais abrangentes em cada sub-bacia.

A sub-bacia 1 ocupa cerca de 22,15% da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, responsável pelas áreas das principais nascentes do rio. Nesta sub-bacia foram identificadas 168 HRUs, que se destacam três unidades com maior abrangência de áreas: RNGE_RQo_0-5; RNGE_PVAe_0-5 e PAST_PVAe_0-5. Desse modo, observa-se que os principais usos como Savânica-Campestre e Pastagem, que variam entre os solos Argissolos Vermelho Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, com um predomínio de declividade de 0 a 5%.



FIGURA 3 – Mapa das HRUs e sub-bacia.



FONTE: Autores (2025).



Analisando a sub-bacia 2, foi possível observar que a mesma abrange aproximadamente 18,83% da área de estudo e teve a identificação de 67 HRUs. Dentre as principais HRUs, são destacadas duas unidades PAST_PVAe_0-5 e RNGE_PVAe_0-5, apresentando uma diferenciação apenas na Formação Savânica-Campestre e Pastagem e um predomínio no solo Argissolos Vermelho Amarelos e em declividade de 0 a 5% com uma diferenciação apenas na Formação Savânica-Campestre e Pastagem e um predomínio no solo Argissolo Vermelho Amarelo e em declividade de 0 a 5%. Na figura 3 é possível observar uma HRUs com uso de pastagem, declividade de 0 a 5% e solos do tipo Latossolos Vermelhos.

FIGURA 4 – Apresentação da HRUs PAST_LVd_0-5.



FONTE: Autores (2025).

Na sub-bacia 3 observa-se uma ocupação de 5,70% da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves e foi identificado 53 HRUs, dessas podemos apontar as três principais RNGE_LVAd_0-5, RNGE_RLd_5-15 e RNGE_FXd_0-5. Nesta sub-bacia o predomínio é destacado pela Formação Savânica-Campestre, variando nos solos Latossolos Vermelho Amarelos, Neossolos Litólicos e Plintossolos Háplicos, enquanto a declividade varia de 0 a 5% e de 5 a 15%.



Observando a sub-bacia 4, constata-se uma abrangência de área de 6,51% e apresenta 28 HRUs com o destaque para duas unidades RUGE_LVAd_0-5 e RUGE_FXd_0-5, nota-se um predomínio da Savânica-Campestre e da declividade de 0 a 5%, diferenciando apenas no tipo de solos, Latossolos Vermelho Amarelos e Plintossolos Háplicos.

A sub-bacia 5 ocupa uma área de 7,21% com a presença de 32 HRUs, é onde acontece a foz da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves que deságua no Rio Tocantins. Destacam-se, duas HRUs importantes, RUGE_LAw_0-5 e RUGE_FXd_0-5. As principais HRUs dessa sub-bacia tem características semelhantes com as da sub-bacia 4, variando apenas no tipo de solos que são Latossolos Amarelos e Plintossolos Háplicos.

Já a sub-bacia 6 é considerada a menor em termos de abrangência de áreas, com apenas 1,57% e com 13 HRUs das quais podemos destacar as três principais, que são: SOYB_LVAd_0-5, SOYB_FXd_0-5 e RUGE_FXd_0-5. Neste sentido, identifica-se uma variação entre a Soja e Savânica-Campestre, em solos do tipo Latossolos Vermelho Amarelos e Plintossolos Háplicos e apresentando um predomínio nas declividades de 0 a 5%. Com uma característica de relevo predominante de áreas planas, a figura 4 ilustra duas HRUs nesta sub-bacia. Observa-se que a soja apresenta um significativo avanço sobre as áreas de vegetação natural do bioma cerrado, sinalizando uma mudança nas práticas de manejo do uso e cobertura das terras (ASSIS *et al.*, 2025).

FIGURA 5 – Apresentação das HRUs SOYB_LVAd_0-5 e FRST_LVAd_0-5.



FONTE: Autores (2025).



Analisando as informações sobre a sub-bacia 7, é possível observar que a mesma tem uma abrangência de 15,56% da área de estudo, com a presença de 79 HRUs, das quais quatro podem ser destacadas como as principais, sendo elas: RNGE_LVAd_0-5, RNGE_FXd_0-5, PAST_LVAd_0-5 e PAST_FXd_0-5. Observa-se que nessas quatro unidades a variação ocorre na Formação Savânica-Campestre e Pastagem, nos solos Latossolos Vermelho Amarelos e Plintossolos Háplicos e um predomínio de declividade de 0 a 5% em todas as quatro HRUs de maior importância. A figura 5 ilustra uma HRUs que representa a integração de pastagem com solos do tipo Latossolos Vermelho Amarelos e declividade de 0 a 5%. Outra unidade que aparece na imagem é definida pela Formação Florestal em declives 5 a 15% em solos Neossolos Litólicos.

FIGURA 6 – Apresentação das HRUs PAST_LVAd_0-5 e FRST_RLd_5-15.



FONTE: Autores (2025).

Os dados da sub-bacia 8 mostram que ela tem uma ocupação de 1,99% da bacia de estudo e apresenta 18 HRUs, das quais podem ser destacadas 3, RNGE_FXd_0-5, RNGE_LVAd_0-5 e PAST_LVAd_0-5, que tem uma variação no uso e cobertura da terra com a Savânica-Campestre e Soja, no solos Latossolos Vermelho Amarelos e Plintossolos Háplicos.

A sub-bacia 9 tem uma abrangência de cerca de 4,91% da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves e com a presença de 25 HRUs, que podem ser destacadas quatro unidades, RNGE_LVAd_0-5, RNGE_FXd_0-5, PAST_LVAd_0-5 e PAST_FXd_0-5. Aponta-se que a sub-bacia 9 teve os mesmos destaques da sub-bacia 7. Esse apontamento pode ser justificado pela proximidade entre as duas sub-bacias e



também pelo predomínio das mesmas classes de uso e cobertura da terra, solos e declividade nesta localidade.

Para a sub-bacia 10 foi identificada uma ocupação de aproximadamente 12,05% e 59 HRUs, das quais duas podem ser destacadas em termos de abrangência de área: RNGE_PVAe_0-5 e PAST_PVAe_0-5. Assim, é verificada uma variação apenas no uso e cobertura da terra, entre a Formação Savânica-Campestre e Pastagem, enquanto os solos e declividade apresentam um predomínio para Argissolos Vermelho Amarelos e 0 a 5%.

Já a sub-bacia 11 tem uma abrangência de 3,52% da área de estudo e apresenta 22 HRUs, nas quais são destacadas duas unidades, a RNGE_PVAe_0-5 e PAST_PVAe_0-5. Observa-se que as HRUs dominantes na sub-bacia 11 têm as mesmas características da sub-bacia 10 e dessa forma destacam-se os mesmos apontamentos realizados para as sub-bacias 7 e 9, que tiveram características semelhantes entre as principais unidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das HRUs para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves possibilitou observar algumas variações nos elementos uso e cobertura da terra, solos e declividade. Essa integração apontou alguns resultados importantes, principalmente na distribuição espacial das unidades de resposta hidrológica.

As principais HRUs ocupam cerca de 43% em cada uma das sub-bacias 10 e 11. Essas duas HRUs têm a mesma característica de uso e cobertura da terra, solos e declividade RNGE_PVAe_0-5. Uma observação importante é que essas HRUs são as mais importantes por sub-bacia, porém não abrangem a maior área.

Portanto, apesar de a criação das HRUs ser apenas uma etapa importante do modelo SWAT, ela já possibilita avaliar espacialmente quais são as sub-bacias com mais fragilidades ambientais, principalmente no que se refere ao uso e cobertura da terra que são correlacionados com os solos e declividade do terreno.

Agradecimentos:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES), código de financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, jan./jun. 2017.
- ABITEW, T. A.; ARNOLD, J.; JEONG, J.; JONES, A.; SRINIVASAN, R. Innovative approach to prognostic plant growth modeling in SWAT+ for forest and perennial vegetation in tropical and Sub-Tropical climates. **Journal of Hydrology X**, V. 20, 100156, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2023.100156>
- ABBAS, S. A.; WHITE, J. T.; ALMAHAWIS, M. K.; BAILEY, R. T. Dual-phase calibration for surface-subsurface hydrologic models with diverse hydrologic conditions. **Journal of Hydrologic Engineering**, 30, 2025. <https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-6479>
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.; WILLIAMS, J. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. **Journal of the American Water Resources Association** 34, 73-89. 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
- ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K.C., WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R. ARNOLD, J. F. G. SWAT: model use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, 55 (4) 1491-1508, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.
- DOTTO, A. V. E.; RIBEIRO, L. S.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Avaliação da produção científica sobre o uso do modelo hidrológico SWAT no Brasil através da Análise Bibliométrica. **Revista Tocantinense de Geografia**, v.13, n.31, ago-dez, 2024. <https://doi.org/10.70860/rtg.v13i31.17223>
- HER, Y.; FRANKENBERGER, J.; CHAUBEY, I.; SRINIVASAN, R. Threshold effects in hru definition of the soil and water assessment tool. **Transactions of the ASABE**, Vol. 58 (2): 367-37, 2015. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10805>
- HARIFIDY, R. Z.; HIROSHIB, I.; KAZUYOSHIB, S.; JUNB, M.; HARIVELOC, R. Z. M.; FERNÁNDEZ-PALOMINO, C. A. Multi-gauge calibration comparison for simulating streamflow across the Major River Basins in Madagascar: SWAT Toolbox, R-SWAT, and SWAT Editor Hard calibration. **Hydrology Research**, v. 55, n. 3, p. 412-430, 2024. <https://doi.org/10.2166/nh.2024.18>
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. editora da universidade/UFRGS, 2002.
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Ferramentas de avaliação de solo e água. Laboratório de pesquisas de solo e água GRASSLAND – SERVIÇO DE PESQUISA AGRÍCOLA 808 EAST BLACKLAND – TEMPLE, TEXAS 76502**, 2009. 634p. disponível em: <https://swat.tamu.edu/media/99193/swat2009-theory-portuguese.pdf>.
- ZOU, M.; KANG, S.; NIU, J.; LU, H. A new technique to estimate regional irrigation water demand and driving factor effects using an improved SWAT model with LMDI factor decomposition in an arid basin. **Journal of Cleaner Production**, 185, 814e828, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.056>
- ROCHA, C. E. R.; FOSCHIERA, A. A. Expansão da produção agrícola no território do Matopiba: territorialização de agentes econômicos do setor sojicultor em Porto Nacional - TO. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 52. 2018. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2018v28n52pp.2318-2962.2018v28n52p145>
- RIBEIRO, L. S.; ROBAINA, L. E. S.; CRISTO, S. S. V.; SILVA, M. L. B. As transformações de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado e a sobreposição de Unidades de Conservação da Natureza – Tocantins – Brasil. **Revista Interface**, Edição n 23, Junho, p. 40 – 57, 2022.
- ASSIS, P. C.; SILVA, A. P. M.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. Implicações das transformações no uso e cobertura da terra na gestão hídrica da bacia hidrográfica do Rio Araguaia. **Geotemas** -Pau dos Ferros, Brasil, v. 15, p. 01-25, e02505, 2025.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA). Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 01 de janeiro de 2025.
- United States Geological Survey -USGS. Modelos Digitais de Elevação. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 20 junho de 2022
- Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil - MAPBIOMAS. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em 10 de setembro de 2024.