

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE PETROLOGIA E GEOTECTÔNICA

CURSO DE GEOLOGIA

**FERRAMENTAS PEDOMÉTRICAS APLICADAS À CARACTERIZAÇÃO DE
SOLOS HIDROMÓRFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CACERIBU, RJ**

**Gustavo da Silva Vasconcellos Quirino
201804009-8**

**Orientadora
Helena Saraiva Koenow Pinheiro
(UFRRJ/IA/Departamento de Solos)**

Junho de 2025

1 – QUIRINO, GUSTAVO

Ferramentas pedométricas aplicadas ao caracterização de solos
hidromórficos da Bacia Hidrográfica do rio Caceribu, RJ.

Curso de Geologia / Departamento de Petrologia e Geotectônica
Instituto de Geociências / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –
UFRRJ

[Seropédica]

2025

Trabalho de Graduação
Monografia

Área de Concentração: Geologia – Pedologia – Pedometria –
Geoprocessamento - Geoestatística

AGRADECIMENTOS

Começamos o curso pensando que nunca acabaria, mas acabamos achando que foi rápido demais. E não é uma questão de saudosismo da juventude. É pela incerteza se seremos bons naquilo que estudamos tanto para ser. "O mercado é diferente"; "Mestrado ou trabalho?". Essas questões atropelam muitas coisas, mas é importante lembrar que nada sempre será tão fácil. Cada obstáculo deverá ser ultrapassado com suor, garra, determinação, disciplina e, o meu forte, otimismo. Certa vez me perguntaram se eu ficava ansioso facilmente. Eu demorei para responder e neguei logo em seguida. Nunca pensei nisso, e às vezes acho que não tenho tempo para isso. Se eu parasse um segundo, eu constataria que sim, eu sou ansioso. Mas meu otimismo sempre consegue camuflar isso.

Agradeço imensuravelmente à minha família. Aqueles que me serviram como base, inspiração, apoio, força e determinação. Àqueles que acreditaram em mim e ainda acreditam. Na família conseguimos encontrar a variedade que existe no mundo. Aprendemos a respeitar o outro como indivíduo e com um toque de sensibilidade. Um agradecimento especial ao meu pai, Álvaro; meus tios Marcos, Luciano e Francisco; minhas tias Anic, Eliana, Márcia e Tâmara; minha madrastra Lucélia; meus irmãos Washington, Matheus e Lorena; e meus primos Lucas, Pedro e Stephanie; pelos momentos intensos que foram esses últimos anos, servindo de apoio de tantas formas diferentes.

Em sequência, gostaria de agradecer à minha orientadora fantástica, Helena Pinheiro. Sou eternamente grato pela oportunidade com o projeto de pesquisa. Além do suporte financeiro, que foi essencial para meu permanecimento no curso, me deu a chance de me autodesafiar e me autoconhecer. Mas acima de tudo, me deu a graciosidade da sua amizade e o seu suporte. Obrigado pela troca sincera, pelos cafezinhos no IA ou na sua casa, enquanto trabalhávamos com prazos curtos. Além de tudo, obrigado por ter me permitido conhecer tanto a Helena professora, quanto a Helena pessoa. Carrego ambas em um lugar de extrema admiração.

Aos meus antigos roommates: Fabrício, Pedro, Alexandre, Bruno, Gabriel e Lucas. Obrigado pelo acolhimento, convivência, parceria e companhia. Vocês fazem parte de uma caixinha de memórias que levarei para sempre.

Às minhas irmãs de coração, Vivi e Caroly, e toda família Takiguchi. Em especial, Ana e Rikiya, por essa construção de amizade, respeito e cumplicidade.

Um agradecimento especial à minha turma da Geologia, ano 2018. Quando eu olho para trás, parece que tudo foi mágico. Todos vocês fizeram parte de uma fase linda da minha vida, aquela que a gente consegue sentir a brisa e derramar algumas lágrimas. Aos mais próximos, obrigado

pela amizade, pela ajuda, pelos momentos, abraços, sorrisos e sufocos: Lara, Mylena, Bruninha, Sthe, Ruth, Guerart, Jane, Welerson, Layra, Gabi, Suzana, Hugo, Mayara, Catatau, Rafa, Giovana, Victoria, Helena e Marquinhos.

Aos amigos que a Geologia e a Rural me trouxeram: Renata, Nattasha, Isadora, Blenda, Everton, Vitória, Beatriz, Rapha, Rafael, Tigão, Cadu, Marie, Zé, Larinha, Mari, Gianna, Marabuto e Yuri. É impossível pensar nesse percurso sem me lembrar de vocês. Obrigado por terem sido tão especiais.

Aos meus amigos de Rio das Ostras, que nunca me deixaram esquecer quem sou e o meu propósito. Obrigado por permanecerem, mesmo antes de eu cogitar em fazer Geologia, e serem um conforto sempre que precisei: Lucca, Hemilly, Thais, Julia, Jhuly, Eloah, July e Dani.

À ANP, pelo privilégio que foi ter estagiado em um lugar tão enriquecedor e potente. Principalmente junto de pessoas queridas, onde pude, gradualmente, estreitar relações profissionais e ao mesmo tempo, com bastante harmonia. Um agradecimento especial ao meu supervisor de estágio, Paulo de Tarso Antunes. Sua inteligência e ensinamentos servirão não só como conhecimento, mas como estímulo e incentivo para o profissional que eu quero ser no futuro. Obrigado pela confiança, parceria e amizade. Além disso, um agradecimento a toda equipe da SDT e do BDEP.

À CPNq, EMBRAPA, COMPERJ/Petrobras, FAPED e LABMEG que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto, tanto com a bolsa de pesquisa, como também pelo investimento aplicado anteriormente para coleta dos dados de solo na região, além do suporte tecnológico e financeiro para fins de softwares pagos e apresentações em simpósios.

À UFRRJ. Agradeço o quanto me tornou mais eloquente e destemido, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional dentro de todos os âmbitos acadêmicos. Que seja eterno esse sentimento de pertencimento. Que eu volte para contribuir um pouco, pelo tanto que me fez.

Por fim, dedico este trabalho à minha mãe, Mônica; minha avó, Iracy; e meu avô, Joaquim. Por muito tempo eu acreditei que vocês eram a melhor parte que já foi tirada de mim. Mas dias melhores sempre virão. “Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir”. E assim, sigo otimista.

RESUMO

Os solos hidromórficos desempenham um papel crucial na regulação dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, sendo caracterizados pela saturação hídrica e atuando como reservatórios de carbono e moduladores de nutrientes. No entanto, sua degradação pode levar à emissão de gases de efeito estufa e ao comprometimento da capacidade de armazenamento hídrico. A compreensão desses solos é fundamental para a gestão territorial e ambiental. Diante da capacidade da pedometria em analisar a variabilidade vertical de atributos do solo, este estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de métodos pedométricos, especificamente utilizando o pacote AQP (Algorithms for Quantitative Pedology) nos softwares R e RStudio, na caracterização da composição granulométrica (areia, silte e argila) e na comparação de perfis de solos hidromórficos da bacia hidrográfica do rio Caceribu (RJ), a partir de um banco de dados com 18 perfis de solos hidromórficos (12 Gleissolos Háplicos, 3 Neossolos Flúvicos, 3 Planossolos Háplicos e 1 Neossolo Quartzarênico). A análise da variabilidade vertical da granulometria e da dissimilaridade entre os tipos de solos foi realizada ao fatiar cada perfil em segmentos de 1 cm de espessura. Em seguida, os atributos dos solos foram reassociados a profundidades predefinidas. Após isso, foi possível aplicar funções de profundidade do solo em representações gráficas e estatísticas, com base principalmente na granulometria. As funções de profundidade, para análise da variação granulométrica, permitiram identificar tendências texturais distintas entre as ordens de solo analisadas, sendo os Gleissolos marcados pelo acúmulo de argila em subsuperfície, os Neossolos por variações aluviais e os Planossolos por uma transição abrupta entre horizontes, no que tange ao conteúdo de argila e areia. A avaliação das probabilidades de ocorrência dos horizontes A, B, C e Cg, especialmente com o uso do Modo 2 (ponderação pela densidade de dados), revelou a predominância superficial do horizonte A, a limitação do horizonte B aos Planossolos com horizonte plânico e a expressividade marcante do horizonte Cg nos Gleissolos, favorecida pelos processos de iluviação da argila em subsuperfície, intensificando a gleização. As análises granulométricas e a reclassificação hierárquica contribuíram para a visualização clara do comportamento das classes, destacando, por exemplo, o alto teor de areia nos Gleissolos Háplicos, a diversidade dos Neossolos Flúvicos com influência de sódio e a presença expressiva de areia no Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, além da transição textural típica dos Planossolos Háplicos. A avaliação da similaridade entre classes evidenciou a proximidade entre Gleissolos e Neossolos Flúvicos, influenciada tanto pelas propriedades intrínsecas quanto pela profundidade dos perfis. Assim, foi possível concluir que o uso das ferramentas se mostrou eficaz na identificação de padrões e características marcantes das classes de solo estudadas, proporcionando um avanço relevante no entendimento da variabilidade dos solos, no manejo sustentável e na compreensão da dinâmica em ambientes hídricos de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Pedologia; Recursos Hídricos; Funções de Profundidade; AQP

ABSTRACT

Hydromorphic soils play a crucial role in regulating hydrological and biogeochemical cycles. They are characterized by water saturation and act as carbon reservoirs and nutrient modulators. However, their degradation can lead to greenhouse gas emissions and compromise their water storage capacity. Understanding these soils is essential for territorial and environmental management. Considering the ability of pedometrics to analyze the vertical variability of soil attributes, this study aimed to evaluate the application of pedometric methods—specifically using the AQP package (Algorithms for Quantitative Pedology) in R and RStudio software—for characterizing the particle-size distribution (sand, silt, and clay) and comparing hydromorphic soil profiles from the Caceribu River watershed (RJ), based on a soil database containing 18 hydromorphic profiles (12 Haplic Gleysols, 3 Fluvi Neosols, 3 Haplic Planosols, and 1 Quartzarenic Hydromorphic Neosol). The analysis of vertical variability in granulometry and dissimilarity among soil types was conducted by slicing each profile into 1 cm thick segments. Subsequently, soil attributes were reassigned to predefined depths. This enabled the application of depth functions to graphical and statistical representations, primarily based on granulometry. The depth functions revealed distinct textural trends among the analyzed soil orders: Gleysols were marked by clay accumulation in the subsoil, Neosols by alluvial variability, and Planosols by abrupt textural transitions in clay and sand content between horizons. The analysis of the probability of occurrence of horizons A, B, C, and Cg, especially using Mode 2 (weighted by data density), showed the predominance of horizon A at the surface, horizon B restricted to Planosols with a plinthic horizon, and a striking presence of horizon Cg in Gleysols, associated with subsurface clay illuviation and intensification of gleying processes. Particle-size analysis and hierarchical clustering contributed to a clearer visualization of class behavior, highlighting, for example, high sand content in Haplic Gleysols, the diversity of Fluvi Neosols influenced by sodium, and expressive sand content in the Quartzarenic Hydromorphic Neosol, as well as the typical abrupt textural transition in Haplic Planosols. The similarity analysis revealed a closer relationship between Gleysols and Fluvi Neosols, influenced by both their intrinsic properties and the depth of the profiles. Thus, it was concluded that the applied tools were effective in identifying patterns and key characteristics of the studied soil classes, representing a meaningful advancement in understanding soil variability, contributing to sustainable management and better insight into the dynamics of hydrological environments in watershed contexts.

Keywords: Pedology; Water Resources; Soil-Depth Functions; AQP

ÍNDICE GERAL

1. Introdução	1
2. Caracterização da Área de Estudo	3
2.1. Localização e Contexto Geográfico	3
2.2. Aspectos do Meio Físico.....	5
2.2.1. Geologia	5
2.2.2. Geomorfologia	9
2.2.3. Hidrografia	11
2.2.4. Pedologia.....	12
3. Materiais e Métodos.....	17
4. Resultados e Discussão	21
4.1. Análise da Variação Granulométrica.....	21
4.2. Probabilidade de Ocorrência de Horizontes Diagnósticos.....	25
4.3. Análise da Dissimilaridade entre perfis	27
5. Conclusão	36
6. Referências Bibliográficas	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC) com os pontos de perfis de solos usados para o estudo*.	3
Figura 2 – Distribuição da precipitação pluvial, em termos médios, ao longo do ano, com destaque para a área de estudo Caceribu. Adaptado de EMBRAPA (2012).	4
Figura 3 – Geologia Regional do Orógeno Ribeira e sua interação com o Orógeno Brasília. A ilustração apresenta o arcabouço tectônico e a zona de interferência entre os dois cinturões detalham: SFC ou CSF (Cráton São Francisco); OCT (Terreno Ocidental); PSET (Terreno Paraíba do Sul); ORT (Terreno Oriental); CRT (Terreno Cabo Frio). O detalhamento abrange a Cobertura Fanerozoica (1), plutons alcalinos do Cretáceo Superior (2), unidades do Cinturão Brasília (3 e 4), e componentes do Cráton São Francisco (5, 6 e 7). O Orógeno Ribeira (7-18) é representado por seus diversos terrenos e domínios estruturais, como Apiaí (11), Embú (12), Paraíba do Sul (13), Cambuci (14), além de domínios específicos do Terreno Ocidental (Andrelândia - 8, Juiz de Fora - 9) e Oriental (arcos magmáticos - 15 e 16, metassedimentos - 17). Adaptado de Heilbron et al. (2017).	6
Figura 4 – Mapa litológico da região de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. A legenda do mapa detalha as unidades como Grupo Búzios-Palmital, Depósitos aluvionares, Depósitos de pântanos e mangues, Depósitos flúvio-marinhos, Granito Caju, Granito Cassorotiba, Granito Itacoatiara, Formação Itaboraí, Leucognaisses do Domínio Costeiro, Formação Macacu, Plug Itaboraí, Corpo Rio Bonito, Suíte Rio de Janeiro, Unidade São Fidélis, Corpo Soarinho, Corpo Tanguá e Complexo Tinguí.	8
Figura 5 – Mapa de unidades geomorfológicas da região de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. A legenda do mapa detalha as unidades como Colinas e Morros da Depressão da Guanabara, Maciços Costeiros Fluminenses, Planícies e Terraços Fluviais, Planícies Litorâneas e Tabuleiros e Colinas da Bacia Sedimentar de Macacu.	10
Figura 6 – Mapa de hipsometria e hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. Adaptado de Augusto (2017).	12
Figura 7 – Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. Os solos apresentam seu código e sua classificação até o 4º nível categórico do SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). É possível visualizar também as áreas de perímetro urbano e do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).	13

Figura 8 – Fluxograma metodológico do estudo. As etapas incluem: 1) Coleta e organização de dados de perfis de campo; 2) Padronização da profundidade em camadas; e 3) Avaliação comparativa de similaridade entre os solos hidromórficos. Adaptado de Pinheiro, 2016.	20
Figura 9 – Funções de profundidade do solo para representar a variabilidade vertical das frações granulométricas do solo a partir do conjunto de dados amostrados, separado por classes de solos, onde A, Gleissolos; B, Neossolos; e C, Planossolos.	22
Figura 10 – Funções de profundidade do solo para representar a variabilidade vertical das frações granulométricas do solo a partir do conjunto completo de dados amostrados.	25
Figura 11 – Rótulos de horizonte generalizados atribuídos para o conjunto de dados amostrados completo.	26
Figura 12 – Composição das frações granulométricas dos horizontes dos perfis de solos hidromórficos. A coloração representa o conteúdo granulométrico, com valores expressos em g kg ⁻¹ , onde: A, Areia; B, Silte; e C, Argila. Os símbolos se referem as seguintes classes de solo: Losango Amarelo, Gleissolos Háplicos; Triângulo Verde, Neossolo Flúvico; Estrela Vermelha, Neossolo Quartzarênico; e Círculo Azul, Planossolo Háplico.	28
Figura 13 – Dissimilaridade entre perfis de solos hidromórficos da bacia hidrográfica do rio Caceribu, RJ. A coloração apresenta o padrão de cores Munsell dos solos de cada horizonte. ...	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos tipos de solos hidromórficos selecionados. A tabela apresenta 14 tipos de solos classificados até o quarto nível categórico, de acordo com SiBCS (Santos et al., 2018). 18

1. Introdução

Os solos hidromórficos são caracterizados por períodos de saturação hídrica, temporária ou permanente, responsáveis pelas condições anaeróbicas que influenciam diretamente seus processos pedogenéticos químicos e biológicos (Santos *et al.*, 2018). Esses solos exercem um papel importante na regulação do ciclo hidrológico e na dinâmica biogeoquímica, servindo como reservatórios importantes de carbono e moduladores da disponibilidade de nutrientes (IPCC, 2019). Sua drenagem e fertilidade representam desafios específicos para a funcionalidade de um manejo sustentável que evite a degradação, erosão e diminuição de produtividade no setor agrícola.

Na bacia hidrográfica do rio Caceribu, localizada no estado do Rio de Janeiro, a diversidade de ocorrência de solos hidromórficos principalmente na porção da bacia que corresponde a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, que é uma região de alta relevância ecológica abrigando ecossistemas de manguezal com a funcionalidade essencial de proteção costeira, filtragem de poluentes e manutenção da biodiversidade aquática (Fanning & Fanning, 1989). O estudo de perfis de solo nesta bacia se torna fundamental para compreender a relação entre processos hidropedológicos e a dinâmica ambiental, além de subsidiar métodos eficientes de gestão territorial integrada (Santos *et al.*, 2018).

Diante das mudanças climáticas, os solos hidromórficos se destacam devido seu potencial em mitigar impactos ambientais, atuando por meio da regulação dos fluxos de carbono, hidrológico, e na proteção de ecossistemas sensíveis. Quando esses solos sofrem degradação, seja por drenagem inadequada ou ocupação desordenada, pode levar à emissão de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), agravando o aquecimento global (IPCC, 2019). Além disso, a perda da qualidade natural desses solos compromete a sua capacidade de armazenamento hídrico, o que levaria a aumentar os riscos de inundações e afetando ecossistemas adjacentes. A integração de análises pedológicas, hidrológicas e climáticas são essenciais para orientar políticas de conservação e seu uso de forma sustentável (Pinheiro *et al.*, 2018).

A aplicação de ferramentas pedométricas, como por exemplo, as disponíveis no pacote AQP (*Algorithms for Quantitative Pedology*) por Beaudette *et al.* (2013), permite uma análise da distribuição vertical de propriedades dos solos da região, otimizando sua caracterização e facilitando a identificação de padrões morfológicos e de variação granulométrica, entre outras possibilidades. O uso do AQP possibilita a modelagem de funções em profundidade do solo (*soil-depth functions*), a padronização de plotagem de perfis de solo (*sketches*) e comparação de perfis, em termos de semelhanças e dissimilaridades, a partir de conjuntos de dados de perfis de solos (Beaudette *et al.*, 2013). A aplicação do algoritmo para identificação de padrões modais de perfis de solos, como

demonstrado por Pinheiro et. al. (2018), auxilia na interpretação das características dos solos com base em suas propriedades físico-químicas.

Os estudos que envolvem a aplicação de ferramentas pedométricas para gestão de solos e recursos hídricos em subsuperfície destacaram os algoritmos como “slice-wise” e funções “spline” como úteis para quantificar a variabilidade vertical de atributos do solo (Hartermink *et al.*, 2010; Beaudette *et al.*, 2013). Pinheiro *et al.* (2016), aplicou essas ferramentas na bacia do Guapi-Macacu com a discussão de similaridade entre Gleissolos, Planossolos e Neossolos Flúvicos. As transições texturais críticas identificadas neste estudo foram fundamentais para compreensão da dinâmica hidropedológica e os processos biogeoquímicos nesses ambientes. Enquanto isso, estudos focados na construção de perfis medianos para representar a tendência da variabilidade vertical de Argissolos através do pacote AQP por Carvalho Junior *et al.* (2015), e Pinheiro *et al.* (2018) com aplicações de funções de profundidade e análise de dissimilaridade em solos do semiárido, evidenciaram o potencial de agrupamento de perfis homogêneos, predição de horizontes diagnósticos e correlações entre propriedades físico-químicas, oferecendo bases robustas para o monitoramento de ecossistemas e auxílio da formulação de políticas sustentáveis do solo.

Com base nas ferramentas pedométricas disponíveis no pacote AQP (beaudette *et al.*, 2013) para o estudo da variabilidade vertical de propriedades dos solos, este estudo se baseia na hipótese de que a partir da aplicação do pacote AQP, seja possível a identificação de tendências na distribuição de frações granulométricas ao longo dos perfis de solos hidromórficos da bacia hidrográfica do rio Caceribu. Além disso, que será possível estimar a probabilidade de ocorrência de horizontes diagnósticos para o melhor entendimento da gênese desses solos. Por fim, a análise de similaridade entre perfis de solo, através do pacote AQP, permitirá a inferência de ocorrência de processos pedogenéticos importantes para compreensão da evolução e comportamento hídrico desses solos.

Este estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de métodos pedométricos na caracterização da composição granulométrica (areia, silte e argila) e na comparação de perfis de solos hidromórficos da bacia hidrográfica do rio Caceribu, no estado do Rio de Janeiro. Para isso, foram realizadas análises preliminares durante o projeto de iniciação científica "Harmonização de dados de solos e estudo da variabilidade vertical de atributos relacionados ao comportamento da água no solo", financiado pelo CNPq, inicialmente focando na granulometria dos 75 perfis da coleção original. No entanto, a necessidade de um estudo mais aprofundado de diferentes tipos de solo levou à determinação e análise exclusiva do agrupamento de solos hidromórficos, permitindo maior aprofundamento das discussões sobre os solos que ocorrem nestes ambientes de drenagem restrita/impedida, que inspiraram o presente estudo.

2. Caracterização da Área de Estudo

2.1. Localização e Contexto Geográfico

A bacia hidrográfica do Rio Caceribu está localizada entre os municípios de Rio Bonito, São Gonçalo, Tanguá, Guapimirim e Itaboraí, estendendo-se por aproximadamente 60 km e atravessando essas regiões. Responsável por 20% de toda a drenagem da Baía de Guanabara (Comitê Baía de Guanabara, 2024), a bacia também abastece populações e núcleos urbanos, atendendo a usos domiciliares e industriais ao longo de seu curso. Seu trajeto termina na região noroeste da Baía de Guanabara, dentro da APA de Guapimirim. Os perfis de solos estudados neste trabalho cruzam os municípios de Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito, como mostra a Figura 1.

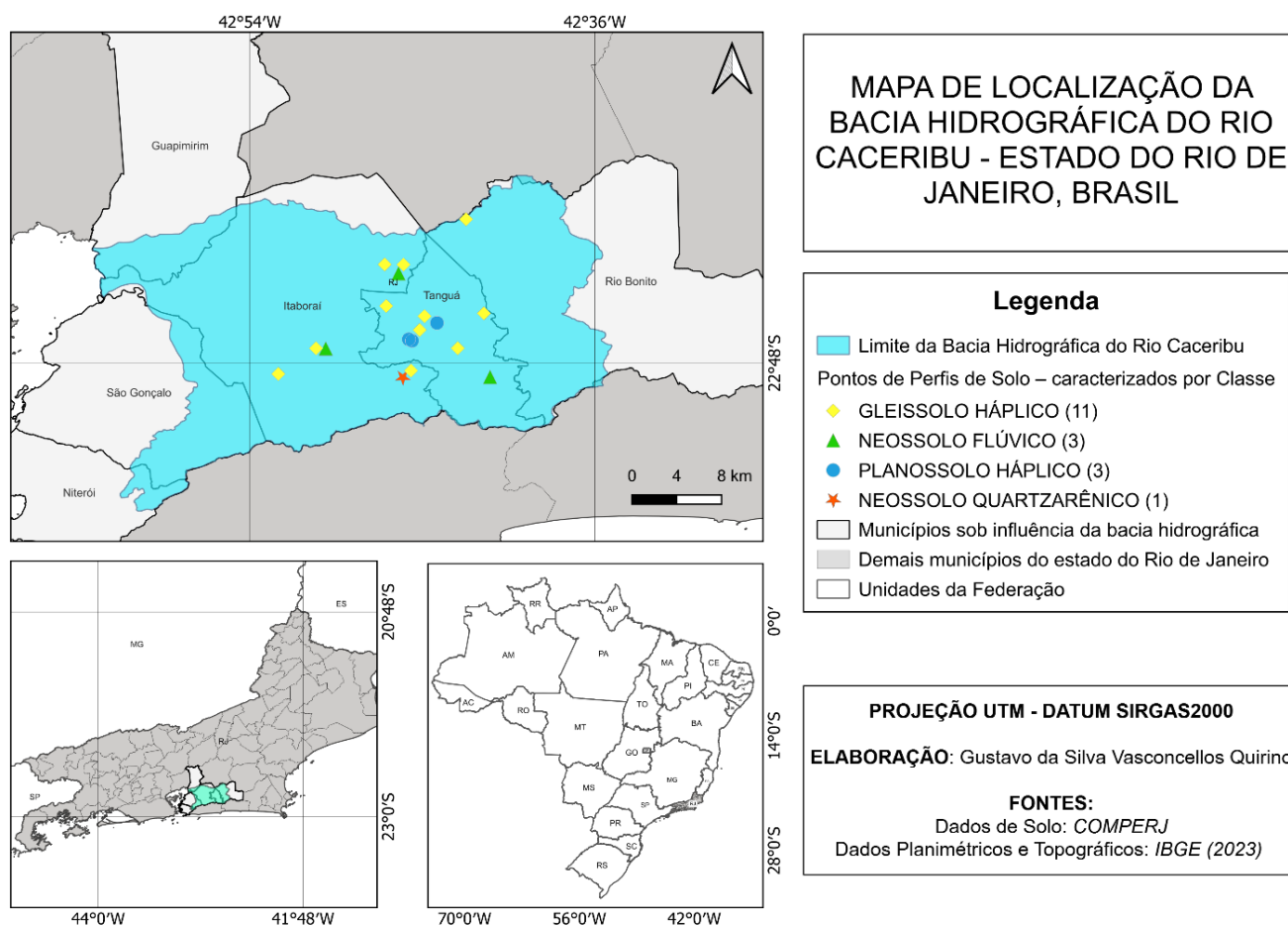


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC) com os pontos de perfis de solos usados para o estudo*.

*Na representação, as simbologias indicam: Losango amarelo (Gleissolos Háplicos: solos escuros e/ou acinzentados e boa fertilidade natural); Triângulo verde (Neossolos Flúvicos: solos jovens formados por sedimentos de fluviais, encontrados em várzeas e planícies fluviais, com fertilidade natural variável); Estrela vermelha (Neossolos Quartzarênicos hidromórficos: solos muito arenosos, com baixa fertilidade natural e coloração clara); e Círculo azul (Planossolos Háplicos: solos com camada superficial arenosa sobre camada argilosa adensada, que restringe a drenagem da água).

A área de estudo, inserida a sudeste da região Metropolitana do Rio de Janeiro, apresenta os seguintes limites geográficos: ao norte, pela bacia do rio Guapi-Macacu e Serra dos Garcias; ao sul, pela Serra do Espriado e Serra da Cassoribita; a leste, pela Serra do Catimbau Grande e pelo Tingui; e a oeste, pela bacia do rio Guaxindiba.

De acordo com o Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 205 da EMBRAPA (2012a), o contexto climático regional é tipicamente tropical úmido, quente e chuvoso. Nas áreas mais elevadas as temperaturas atingem índices entre 20°C e 18°C, enquanto em áreas de planície ou baixada a temperatura média oscila entre 19°C e 20°C. É importante sintetizar que o verão climático é sempre muito quente e muito longo, perdurando entre os meses de setembro a março, com picos de temperatura máxima em dezembro ou janeiro. O clima da região é marcado por eventos sazonais, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre novembro e março, trazendo uma faixa de nebulosidade e chuvas intensas, como é possível observado na Figura 2, que exhibe a distribuição média anual da pluviosidade na área de estudo. O sistema meteorológico que influencia o Rio de Janeiro é chamado Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que embora promova estabilidade e céu claro por grande parte do ano, pode ser interrompida pela chegada de frentes frias ou ciclones, que aumentam a nebulosidade e a precipitação. A pluviosidade média anual varia entre 1200 e 1600 mm (Rodrigues *et al.*, 2010).

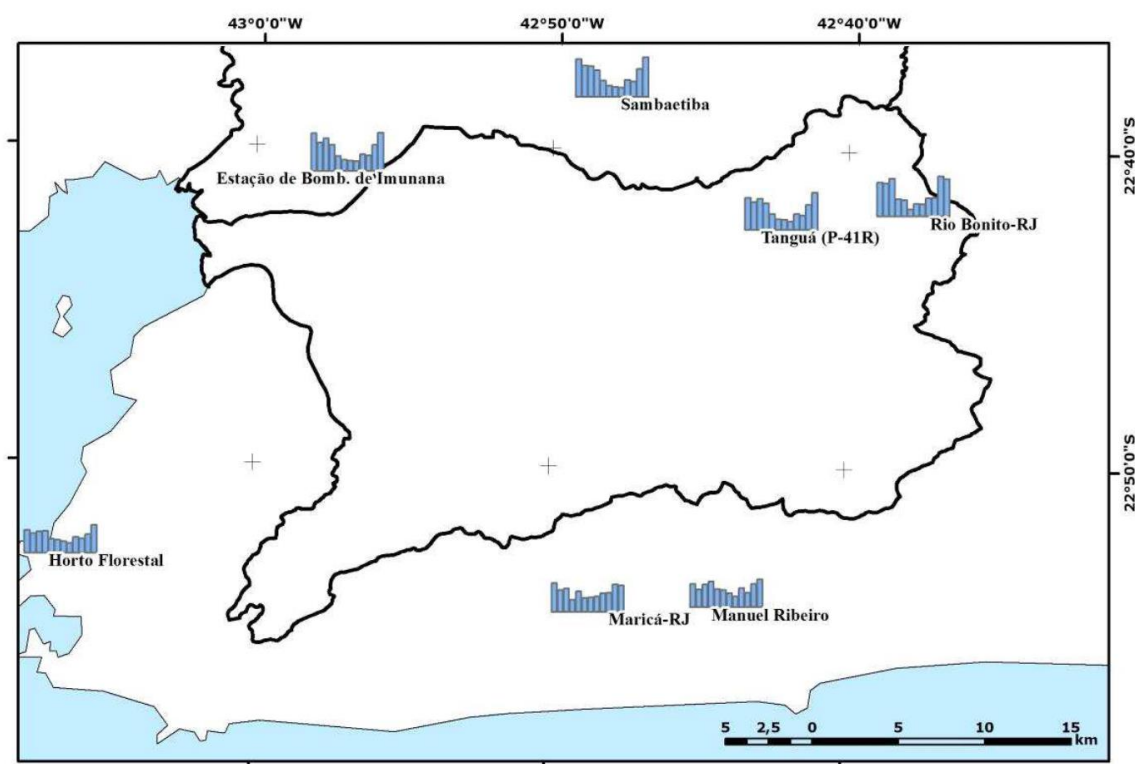


Figura 2 – Distribuição da precipitação pluvial, em termos médios, ao longo do ano, com destaque para a área de estudo Caceribu. Adaptado de EMBRAPA (2012).

2.2. Aspectos do Meio Físico

Para entender a dinâmica dos processos que influenciam a formação, distribuição e o comportamento dos solos na região, é necessário analisar os aspectos físico-ambientais da bacia hidrográfica do rio Caceribu e, evidentemente, contextualizar os elementos de geologia, geomorfologia, hidrografia e as características pedogenéticas. O conjunto dessas informações é fundamental para entender a evolução dos solos e suas propriedades.

2.2.1. Geologia

O Estado do Rio de Janeiro está inserido geologicamente na porção interna da Faixa Ribeira, considerado um importante cinturão geotectônico formado durante o Neoproterozóico (Almeida et. al, 1981). Devido a intensos processos tectono-metamórficos ao decorrer de sua evolução orogênica, terrenos geológicos compartimentados foram gerados dominado por processos de deformação, metamorfismo, magmatismo e encadeamento de diferentes domínios crustais no estado, considerada como a colagem brasileira/pan-africana mais recente do segmento crustal. (Heilbron et. al, 1999).

A melhor terminologia adotada para atender aos conceitos de orogênese (ambientes de convergência em margens ativas) e orógeno (estruturas resultantes desses processos) foram propostas por Sengör (1990), uma vez que o termo cinturão é inadequado pois trata-se da formação por orógenos distintos, a partir de inúmeros processos de convergências diferentes.

Novos estudos com o apoio de refinamentos de métodos geocronológicos precisos foram capazes de identificar três principais eventos orogênicos na região: a Orogênese Brasileiro I (Rio Negro, > 600 Ma) associadas às modificações na porção oriental do estado; a Orogênese Rio Doce (~560 Ma), correspondente a uma extensão sudeste do Orógeno Araçuaí; e a Orogênese Búzios (~520 Ma), caracterizada por Schmitt *et al.* (1999). Esta divisão tripartite foi confirmada por dados geocronológicos (U-Pb), demonstrando a complexa evolução da colagem neoproterozóica no Sudeste Brasileiro em dois novos sistemas de orógenos: Brasileiro II (630-600 Ma: Orogênese Rio Negro); Brasileiro III: (570-560 Ma: Orogênese Araçuaí) e (520 Ma: Orogênese Búzios). A complexa evolução desta colagem é caracterizada pelo metamorfismo e fusão parcial das rochas supracrustais e infracrustais, pela deformação contracional de baixo ângulo, sucedida por cisalhamento transcorrente de expressão regional e pela colocação de variados corpos granitoides em diferentes dimensões. A compartimentação tectônica gerada após todas as fases da orogênias é exibida na Figura 3, que correlaciona não só as é representada pela Figura 3.

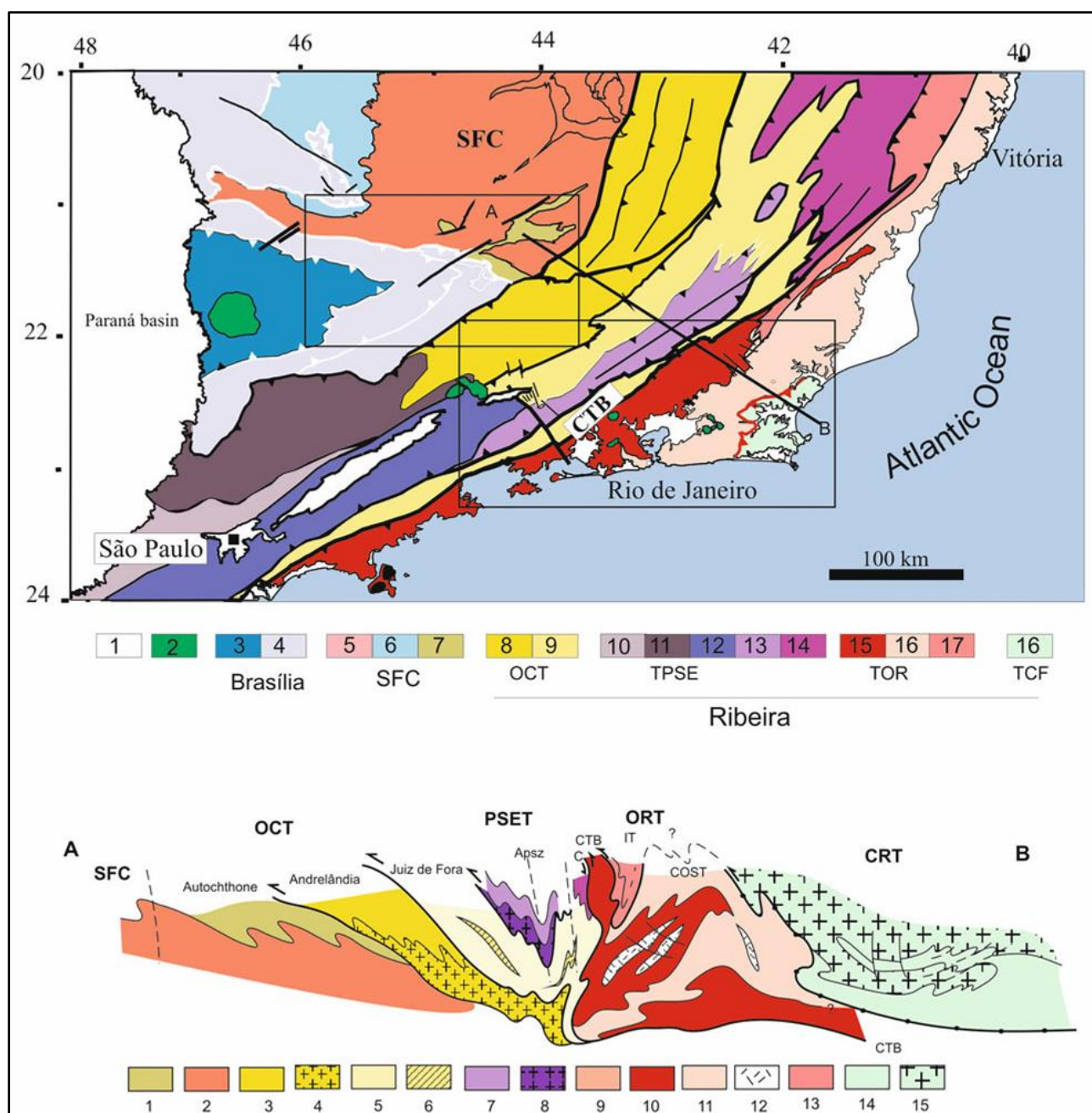


Figura 3 – Geologia Regional do Orógeno Ribeira e sua interação com o Orógeno Brasília. A ilustração apresenta o arcabouço tectônico e a zona de interferência entre os dois cinturões detalham: SFC ou CSF (Cráton São Francisco); OCT (Terreno Ocidental); PSET (Terreno Paraíba do Sul); ORT (Terreno Oriental); CRT (Terreno Cabo Frio). O detalhamento abrange a Cobertura Fanerozoica (1), plutons alcalinos do Cretáceo Superior (2), unidades do Cinturão Brasília (3 e 4), e componentes do Cráton São Francisco (5, 6 e 7). O Orógeno Ribeira (7-18) é representado por seus diversos terrenos e domínios estruturais, como Apiaí (11), Embú (12), Paraíba do Sul (13), Cambuci (14), além de domínios específicos do Terreno Ocidental (Andrelândia - 8, Juiz de Fora - 9) e Oriental (arcos magmáticos - 15 e 16, metassedimentos - 17). Adaptado de Heilbron *et al.* (2017).

Dentre os domínios tectônicos que integram o Orógeno Ribeira, o Domínio Serra do Mar é o que predomina entre os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. Localizado na porção centro-

oriental do estado, corresponde, do ponto de vista geográfico, à “Microplaca” Serra do Mar (Campos Neto, 2000), apresentando uma evolução polifásica que pode ser compreendida através de três grandes estágios de desenvolvimento:

Na primeira fase, entre 630-500 Ma, estabeleceu-se o Arco Rio Negro a oeste, representado por associações TTG típicas de arcos imaturos (Heilbron *et al.*, 2004). Este arcabouço inicial foi sucedido pelo Arco Serra dos Órgãos (570-560 Ma) na porção central, mais evoluído do tipo cordilheirano maturo (Tupinambá *et al.*, 2012). A fase final de construção do arco magmático ocorreu com o Arco Rio de Janeiro (~560 Ma), de estágio sin-colisional com magmatismo crustal na parte mais oriental.

O Complexo Paraíba do Sul apresenta rochas metamórficas supracrustais em fácies anfibolito, indicativo de condições de alta temperatura e baixa pressão da região (Silva *et al.*, 2005), que foram determinadas devido a processos de fusão parcial *in situ* nestas rochas. O atual contexto tectônico é resultado de intensa deformação com cavalgamentos de vergência NW, conforme interpretado por Trouw *et al.* (2000), relacionados à sobreposição tectônica do Domínio Região dos Lagos no limite sudeste. O último estágio para consolidação crustal é marcado por intrusões de plútons de idade cambriana pós-tectônicos, datado por Valladares *et al.*, (2008), além dos granitoides orogênicos associados aos eventos de colisão neoproterozoicos.

A bacia hidrográfica do rio Caceribu é dominada por uma geologia diversificada e complexa, caracterizada por diferentes eventos tectônicos que moldaram sua configuração litológica e estrutural. Inserida predominantemente no Domínio Serra do Mar, apresenta um embasamento geológico composto por rochas metamórficas e granitoides associadas ao Ciclo Brasileiro (CPRM, 2001). Destacam-se as unidades da Suíte Rio de Janeiro, representadas por corpos graníticos a granodioríticos típicos do arco magmático Serra do Mar, e o Granito Cassorotiba, caracterizado por gnaisses nebulíticos com porfiroblastos de feldspato potássico em matriz quartzo-diorítica a granodiorítica. O Granito Caju e o Granito Itacoatiara complementam este conjunto, ambos sendo representados por granitos de textura porfirítica a granular (EMBRAPA, 2015). Toda litologia da área que embasa a bacia hidrográfica de estudo pode ser visualizada na Figura 4, cujo as descrições das unidades serão descritas ao decorrer deste item.

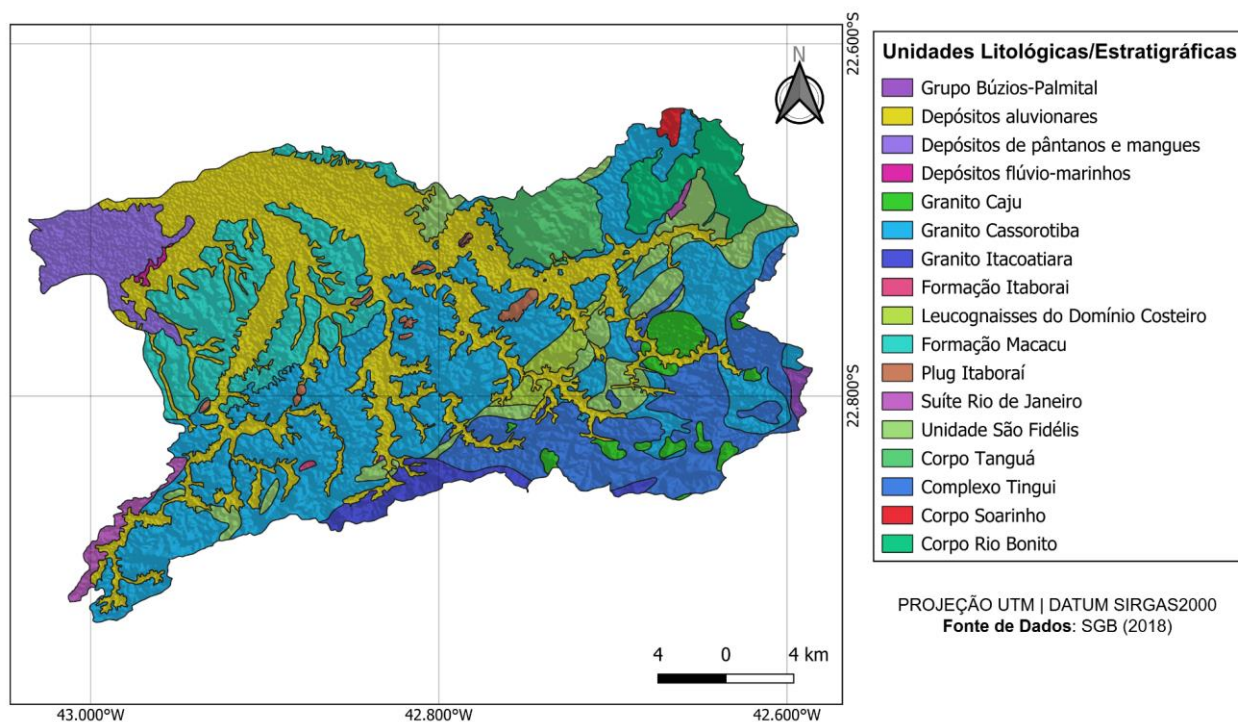


Figura 4 – Mapa litológico da região de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. A legenda do mapa detalha as unidades como Grupo Búzios-Palmital, Depósitos aluvionares, Depósitos de pântanos e mangues, Depósitos flúvio-marinhos, Granito Caju, Granito Cassorotiba, Granito Itacoatiara, Formação Itaboraí, Leucognaisses do Domínio Costeiro, Formação Macacu, Plug Itaboraí, Corpo Rio Bonito, Suíte Rio de Janeiro, Unidade São Fidélis, Corpo Soarinho, Corpo Tanguá e Complexo Tingui.

O magmatismo alcalino mesozoico é representado pelo Complexo Alcalino de Rio Bonito, dispostos em corpos intrusivos de Rio Bonito, Soarinho e Tanguá. Estas rochas são compostas por sienitos e nefelina-sienitos e comumente estão associadas a brechas magmáticas de matriz fonolítica, relacionadas ao processo de rifteamento durante a abertura do Atlântico Sul (EMBRAPA, 2015). O Plug Itaboraí, é um corpo alcalino intrusivo, pertencente ao embasamento da Bacia do Macacu, com ocorrência predominante próxima sua borda sul. São constituídos por fonolito pórfico, microsienito e traquito, em dimensões pequenas, também associados a diques (CPRM, 2016).

As coberturas sedimentares cenozoicas representam uma porção significativa nos limites da bacia hidrográfica, com destaque para a Formação Macacu, caracterizada por lamitos seixosos maciços e arenitos estratificados, localmente conglomeráticos e caulinizados, com coloração esbranquiçada a avermelhada, oriunda de processos diagenéticos e intempéricos (CPRM, 2016). Ela pode ser subdividida em dois membros: o Membro Rio Vargem, que compreende depósitos eocênicos (Lima *et al.*, 1996) a oligocênicos, formados por sedimentação lacustre, e constituídos por linhito e lamitos laminados a maciços, arenitos argilosos e lamitos arenosos a seixosos maciços (Ferrari, 2001).

Os depósitos flúvio-marinhos desenvolvem-se nas proximidades da Baía de Guanabara devido à influência de planícies de maré e à progradação costeira, sob um regime estuarino que possibilita a formação de manguezais. Sua constituição principal é composta por sedimentos finos, siltico-argilosos ou argilo-silticos, ricos em matéria orgânica. Paralelamente, os depósitos de pântanos e mangues estão associados a sistemas lagunares e estuarinos que interagem com planícies de maré nas porções da desembocadura dos baixos cursos dos canais fluviais. Esses sistemas lagunares formam-se em áreas baixas, entre terraços arenosos (pleistocênicos e holocênicos) ou em vales fluviais não preenchidos (CPRM, 2016)

Os depósitos aluvionares registram deposições inerentes aos processos de erosão e transporte de fontes diversas, dependendo de diferentes mecanismos integrados para classificar a dimensão de suas partículas. Comumente, ocorrem nas margens, fundos de canal, barras arenosas e planícies de inundação de rios (CPRM, 2016). Na Figura 4, é possível notar uma presença significativa desses depósitos dentro da bacia estudada. Além disso, a geomorfologia local, juntamente com outras propriedades do relevo, auxilia nos padrões de drenagem, permitindo relacionar tais depósitos ao fluxo hidrográfico e, assim, investigar a disponibilidade hídrica e a susceptibilidade a processos morfogenéticos.

2.2.2. Geomorfologia

O contexto geomorfológico da região é fortalecido pelo registro de escarpamentos com desnivelamentos que podem superar 2.000 metros, variando para depressões e bacias sedimentares que refletem a influência tectônica na compartimentação do relevo, oriunda de um rifteamento continental na borda sudeste brasileira entre o Cretáceo e o Paleógeno, com reflexos de uma neotectônica do Neógeno (Almeida, 1976; Riccomini, 1989). A Figura 5 retrata o mapa geomorfológico da área de estudo, subdividido em unidades geomorfológicas, com base nos dados da SGB/CPRM (2018).

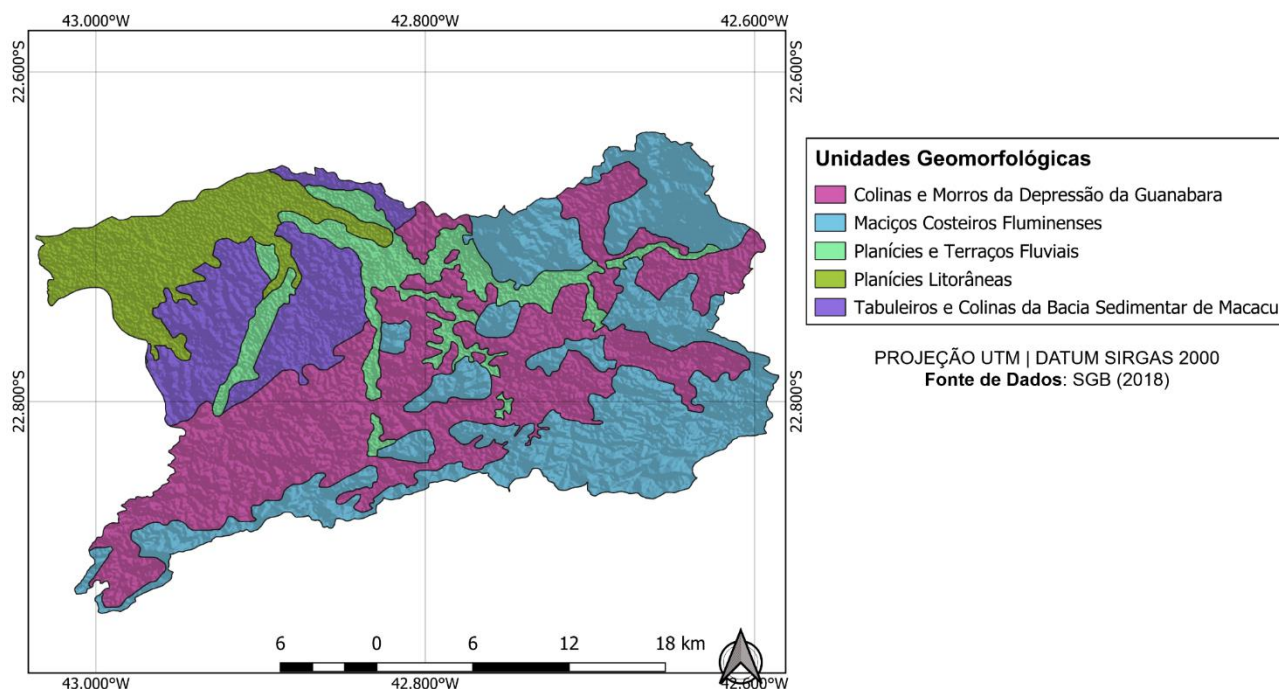


Figura 5 – Mapa de unidades geomorfológicas da região de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. A legenda do mapa detalha as unidades como Colinas e Morros da Depressão da Guanabara, Maciços Costeiros Fluminenses, Planícies e Terraços Fluviais, Planícies Litorâneas e Tabuleiros e Colinas da Bacia Sedimentar de Macacu.

Os Maciços Costeiros Fluminenses, que abrangem a região sudeste da bacia hidrográfica, fazem parte da Unidade Geomorfológica da Região dos Lagos. Eles constituem um conjunto de alinhamentos serranos que se prolongam a leste da Baía de Guanabara e atuam como uma zona dispersora de águas entre as Colinas e Morros da Depressão Guanabara, convergindo devido ao seu relevo colinoso (EMBRAPA, 2012b). Além deles, também integram essa unidade os maciços montanhosos intrusivos de formas dômicas e circulares a semicirculares de Tanguá e Rio Bonito. Sua morfologia é importante, pois abriga a nascente do rio Caceribu, que drena em direção à bacia da Baía de Guanabara. A Serra do Sambê, localizada próxima a Rio Bonito, consiste em um dos maciços mais preservados, resultado do processo de dissecação do relevo, apresentando cristas anelares. Mais ao norte, a Serra do Soarinho é caracterizada por um maciço dômico com cristas paralelas, alongado na direção W–E (CPRM, 2000).

Em suma, a unidade dos Maciços Costeiros Fluminenses é extremamente acidentada, em meio à predominância de baixadas e planícies costeiras. Suas vertentes são retilíneas a côncavas, escarpadas e com cristas alinhadas no topo, aguçadas ou levemente arredondadas. Trata-se de uma área caracterizada pela presença de drenagem com densidade alta a muito alta, apresentando padrão de escoamento variando de paralelo a dendrítico, comumente centrífugo. As amplitudes topográficas podem ultrapassar 300 metros, e os gradientes costumam ser bastante elevados,

favorecendo a ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, onde predominam solos rasos e afloramentos rochosos (EMBRAPA, 2015).

Esses maciços intrusivos marcam uma abrupta delimitação com baixas colinas aplainadas da Região dos Lagos, colinas e morrotes isolados adjacentes e planícies fluviais do rio Caceribu. Essas colinas e morrotes de baixa amplitude se concentram no centro da bacia hidrográfica do rio Caceribu, definido por planícies costeiras e baixadas flúvio-marinhas, juntamente com a Unidade Geomorfológica Superfície Aplainada da Região dos Lagos, que na BHRC é determinado por uma depressão estrangulada entre o maciços costeiros e o espigão da serra da Botija (fora da área de estudo). Nessa área ocorre a divisão de águas entre as bacias dos rios Macacu-Caceribu e São João-Bacaxá (EMBRAPA, 2016).

A região onde se encontram os Tabuleiros e Colinas da Bacia Sedimentar de Macacu está situada a noroeste da bacia hidrográfica do rio Caceribu, predominando características de relevo com superfície aplainada e colinas baixas. As colinas tabulares e alongadas apresentam extensas planícies fluviais, resultantes da dissecação dos tabuleiros pelos rios Macacu, Caceribu, Iguá e da Aldeia. As vertentes dessa unidade são retilíneas, com vales encaixados em “forma de U”, devido à dissecação recente. A densidade de drenagem é muito baixa, com padrão paralelo, em meio a amplitudes topográficas inferiores a 50 metros e gradientes muito suaves, marcados pela sedimentação de colúvios e alúvios (EMBRAPA, 2016).

As planícies litorâneas localizadas no limite noroeste da BHRC consistem em áreas de acumulação flúvio-marinha, indicadoras de eventos de regressão e transgressão do nível relativo do mar (Amador *et al.*, 1995). Essa unidade geomorfológica é denominada Baixada das Baías de Guanabara, caracterizada pela deposição de sedimentos recentes em uma depressão tectônica, originando o graben da Guanabara (Ferrari, 1990). Esse corpo geomorfológico compreende extensas e dominantes planícies colúvio-aluviais, que margeiam áreas de manguezais, como os das desembocaduras dos rios Macacu-Guapiaçu, na Baía de Guanabara.

2.2.3. Hidrografia

O regime hidrográfico da bacia do rio Caceribu envolve seus principais tributários: os rios Bonito, Tanguá, dos Duques, Iguá e Porto das Caxias. Ainda assim, trata-se de uma bacia pouco utilizada para abastecimento hídrico, sendo o afluente Bracanã empregado no atendimento aos municípios de Tanguá e Rio Bonito. Além disso, devido às condições topográficas, sua desembocadura localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, no recôncavo da Baía de Guanabara. Considerando que o fluxo de água do seu principal rio se dirige ao mar, a BHRC é classificada como uma bacia exorreica (Comitê Baía da Guanabara, 2023; Augusto, 2017).

Antes de possuir uma foz própria, o rio Caceribu era considerado um afluente do rio Macacu, pertencente à bacia hidrográfica Guapi-Macacu. Essas mudanças de configuração ocorreram durante intervenções na rede de drenagem do leste fluminense, implementadas na década de 1970 (Augusto, 2017).

Conforme ilustrado na Figura 6, as nascentes dos principais rios da bacia localizam-se nos interflúvios a nordeste, leste e sul. Na área sul, destacam-se como divisores de água a Serra da Tiririca, Serra de Itaitindiba, Serra de Cassorotiba, Serra do Lagarto e Serra do Mato Grosso. Na porção norte, duas serras de maiores altitudes são relevantes nesta caracterização: a Serra do Barbosão e a Serra do Sambê, que atingem elevações próximas a 926 metros.

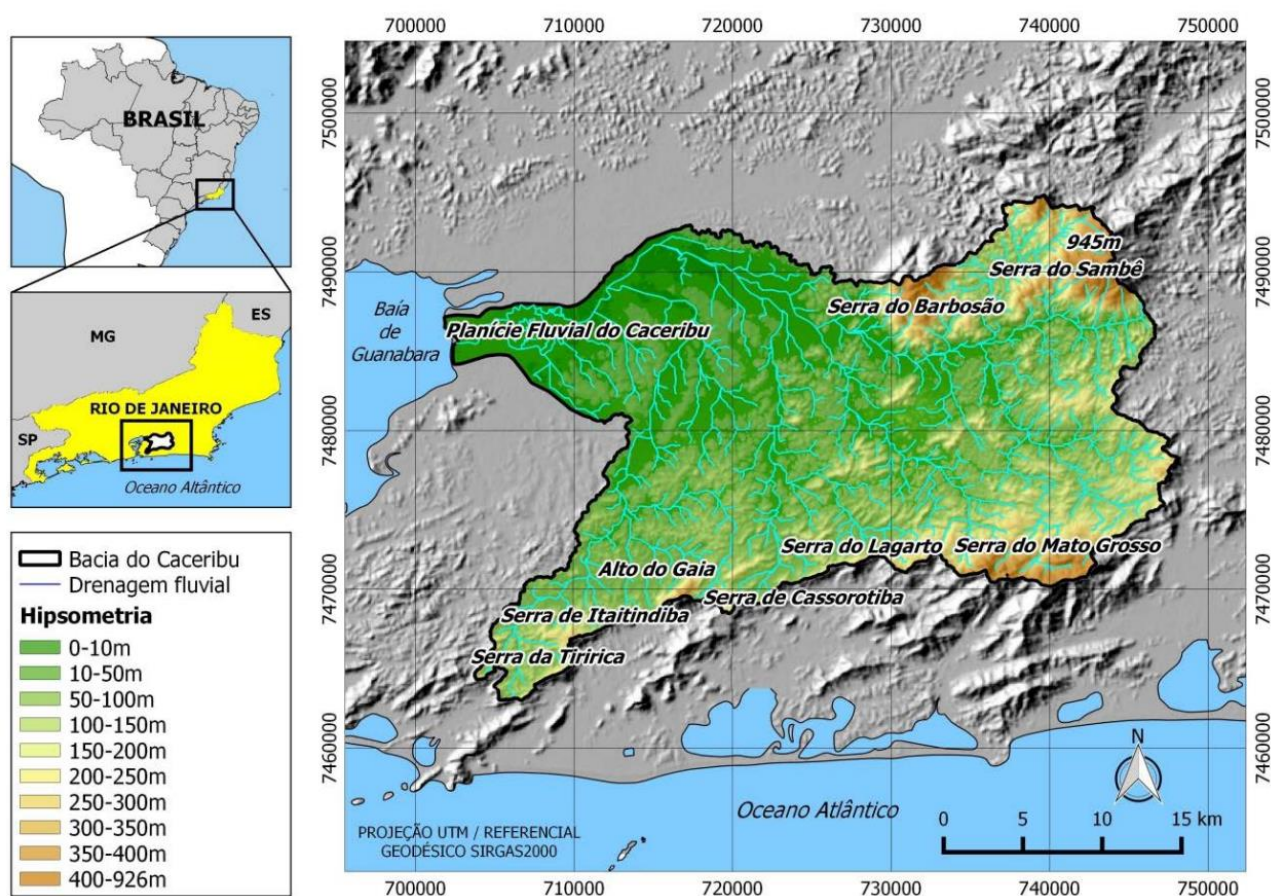


Figura 6 – Mapa de hipsometria e hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. Adaptado de Augusto (2017)

2.2.4. Pedologia

Para a análise e contextualização do estudo, é necessário observar os demais aspectos do meio ambiente, como vegetação, material de origem, relevo, clima, organismos e tempo, a fim de identificar padrões na distribuição dos solos na região. Entretanto, a caracterização pedológica deste capítulo será realizada com foco em 18 perfis de solos hidromórficos coletados na área de estudo.

A classificação de um solo é realizada após a avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos em um perfil. As descrições devem apresentar, de forma completa, as características morfológicas de campo, registrando de maneira concisa a designação dos horizontes do perfil (Santos *et al.*, 2015). Para isso, tornam-se indispensáveis as determinações das cores úmida e seca dos horizontes superficiais (H, O, A e AB) e das cores úmidas dos horizontes subsuperficiais, de acordo com a escala de cores Munsell (Munsell, 1994), além da textura, estrutura, cerosidade, consistência, transição e características como nódulos, concreções, *slickensides*, superfícies de compressão, entre outras, capazes de definir os horizontes diagnósticos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018).

Uma bacia hidrográfica constitui um sistema de processos e fenômenos controlados pelo formato de representação de sua superfície. A distribuição dos solos na paisagem reflete diretamente diversos condicionantes relacionados a combinações microclimáticas, pedogênese, relevo e processos geológicos (Birkeland, 1984), os quais são fundamentais tanto para a inferência de propriedades relevantes quanto para o manejo do solo.

A área de estudo, em escala de 1:50.000, conforme ilustrado na Figura 7, apresenta uma variação entre os tipos de solos Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos e Neossolos. De acordo com as classificações do SiBCS (Santos *et al.*, 2018), esses tipos de solos provenientes da região serão brevemente descritos e contextualizados. Embora alguns perfis da coleção de solos não estejam diretamente representados no mapa em escala 1:50.000, eles serão conceituados e discutidos no Capítulo 3, complementando a caracterização pedológica da região.

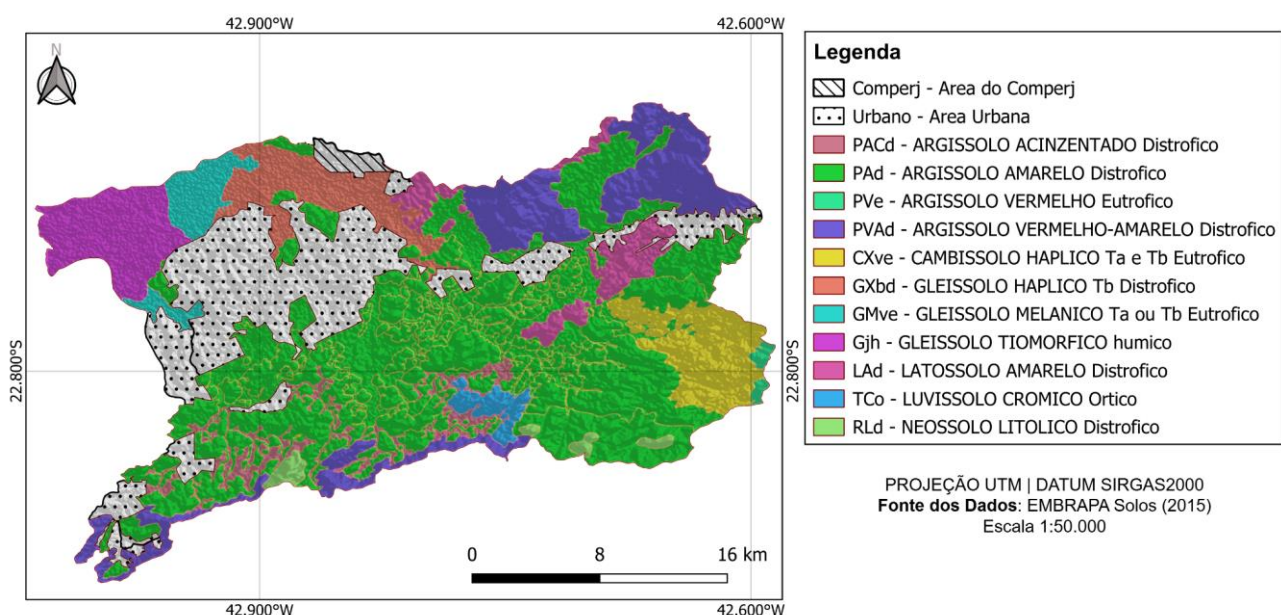


Figura 7 – Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu. Os solos apresentam seu código e sua

classificação até o 4º nível categórico do SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). É possível visualizar também as áreas de perímetro urbano e do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

A seguir são descritas as principais classes de solos que ocorrem na região de estudo.

■ **PACd - ARGISSOLO ACIZENTADO Distrófico**

Os Argissolos Acinzentados são classificados de acordo com o SiBCS, sendo provenientes de materiais argilosos ou areno-argilosos, com a identificação de um gradiente textural ao longo do perfil, evidenciado pelo aumento do teor de argila. O quarto nível categórico do SiBCS, denominado Distrófico, é definido com base na relação entre essas classes e suas implicações para o uso e manejo do solo, representando baixa fertilidade. Na área de estudo, esse tipo de solo ocorre em estreitas faixas nas porções sul e oeste.

■ **PAd - ARGISSOLO AMARELO Distrófico**

São materiais argilosos ou areno-argilosos, com uso limitado devido à fertilidade comumente baixa, ao desgaste erosivo causado pelo gradiente textural superficial e subsuperficial, e às condições de declividade. Suas propriedades físicas atuam como excelentes retentores de umidade e apresentam boa permeabilidade. Nesta região, em sua maioria, os solos são classificados como abrupticos, em razão da variação textural que dificulta a infiltração de água e favorece o processo erosivo. Por outro lado, alguns pontos específicos também são enquadrados na classificação típica da classe, mantendo as características iniciais.

■ **PVe - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico**

São solos caracterizados por teores mais elevados de argila, resultantes da presença de óxidos de ferro no material de origem, cuja natureza diversificada torna a fertilidade desse tipo de solo variável, também condicionada pela sua ocorrência em diferentes tipos de relevo. Entretanto, por sua caracterização como Eutrófico, trata-se de um solo com alta fertilidade. Esse qualificador é relevante, pois indica elevada saturação por bases. Classificado como Típico no quarto nível da SiBCS, não apresenta outras particularidades, sendo um exemplo clássico dessa classe.

■ **PVAd - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico**

São solos localizados na porção sul do mapa apresentado, identificados pela coloração característica resultante da presença de óxidos de ferro, associada a variações na mineralogia ou na intensidade de hidratação desses óxidos. Devido à sua classificação de 3ª ordem como solo distrófico, trata-se de um tipo típico com baixa capacidade de fertilidade.

■ **CXve - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb Eutrófico**

Os Cambissolos apresentam características do material de origem, com presença de mineralogia primária no horizonte B incipiente (Bi), que ainda não atingiu o desenvolvimento necessário para ser considerado um horizonte B textural (Bt). Costumam ocorrer em regiões de relevo elevado ou montanhoso, o que pode limitar sua fertilidade natural, além da presença de fragmentos rochosos ao longo da massa de solo. Os Cambissolos Háplicos (pouco diferenciados) desta região podem variar entre Ta e Tb Eutróficos, o que, por outro lado, indica solos com alta fertilidade. Os Ta são caracterizados pela atuação de argila de alta atividade, capaz de reter nutrientes (argilominerais do tipo 2:1), enquanto os Tb apresentam baixa atividade da fração argila, com menor capacidade de retenção de nutrientes, devido à predominância de argilominerais do tipo 1:1.

■ **GXbd - GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico**

Os Gleissolos são solos com expressiva gleização, resultante da forte influência de água estagnada e de processos de redução de ferro. Nesta região, ocorrem exemplares dessa classe com características comuns e pouco diferenciadas, pertencentes à subordem Háplica. Apresentam argila com baixa capacidade de retenção de nutrientes e, além disso, são quimicamente pobres em bases.

■ **GMve - GLEISSOLO MELÂNICO Ta ou Tb Eutrófico**

Trata-se de um solo hidromórfico caracterizado pela gleização, em que o excesso de água, permanente ou periódico, no perfil provoca a redução e mobilização de ferro e manganês. Destaca-se pela presença de um horizonte superficial escuro e rico em matéria orgânica. A argila desse solo apresenta alta capacidade de troca de cátions (CTC) e elevada capacidade intrínseca de retenção de cátions. Sua classificação como Eutrófico indica boa fertilidade, mesmo sob condições de excesso de umidade, devido à alta saturação por bases.

■ **Gjh - GLEISSOLO TIOMÓRFICO húmico**

Trata-se de um solo influenciado por gleização no horizonte diagnóstico logo abaixo da superfície, em que a distinção Tiomórfica decorre da presença de materiais sulfídricos ou de um horizonte sulfúrico a até 100 cm de profundidade. O aspecto Húmico indica a presença de um horizonte A húmico, caracterizado por ser um horizonte superficial mineral escuro, com alto teor de matéria orgânica e baixa saturação por bases

■ **LAd - LATOSSOLO AMARELO Distrófico**

São solos altamente intemperizados e evoluídos, com horizonte B latossólico abaixo da superfície, caracterizado por intensa desilicificação e concentração residual de sesquióxidos, além de apresentar baixa capacidade de troca catiônica. Apresentam coloração predominantemente

amarela e são classificados como Distróficos, devido à baixa saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

■ **TCo - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico**

São solos não hidromórficos que apresentam textura de alta atividade de argila no horizonte B e elevada saturação por bases. A transição abrupta entre as texturas dos horizontes A ou E e o horizonte B é representada por coloração de caráter crômico, em tons avermelhados e/ou amarelados. A classificação com o qualificador Órtico indica a ausência de contatos líticos próximos, bem como a inexistência de condições como salinidade, sodicidade, argilas expansivas ou camadas impermeáveis que provoquem encharcamento superficial.

■ **RLd - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico**

Representam solos pouco evoluídos, com a camada superficial composta por material mineral ou orgânico, além da ausência de qualquer horizonte B diagnóstico plenamente desenvolvido. São definidos pela presença de contato lítico ou lítico-fragmentário nos primeiros 50 cm da superfície, o que restringe sua profundidade. Caracterizam-se também pela baixa saturação por bases.

Para este estudo, foram selecionadas quatro diferentes classes de solos, com o objetivo de realizar uma análise detalhada da variabilidade das frações granulométricas em profundidade. A coleção de perfis inclui Gleissolos Háplicos, cuja gleização reflete o excesso de água armazenada em função da textura; Planossolos Háplicos, que apresentam restrição à percolação de água no horizonte B mais argiloso, resultando em hidromorfismo devido à mudança textural abrupta; Neossolos Flúvicos, originados por depósitos aluviais e frequentemente afetados pela sazonalidade hídrica; e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos, cuja ocorrência, em determinadas condições de relevo, leva à saturação hídrica subsuperficial. A análise dessa coleção será fundamental para compreender a capacidade de armazenamento e drenagem desses solos, bem como a presença de água, suas limitações e potenciais para uso e manejo.

3. Materiais e Métodos

O estudo da variabilidade vertical dos atributos do solo é fundamental, e os avanços computacionais possibilitam diversas formas de análise de dados coletados por horizontes ou camadas, com base em variações texturais e morfológicas (Santos *et al.*, 2015), conforme os objetivos do estudo. Para isso, utilizam-se dados de perfis de solos em uma abordagem quantitativa das propriedades texturais em profundidade, por meio do pacote estatístico desenvolvido por Beaudette *et al.* (2013), denominado Algoritmos para Pedologia Quantitativa (*Algorithms for Quantitative Pedology – AQP*).

A coleção de dados inclui dezoito perfis de solo com informações analíticas e descrição completa dos horizontes, sendo 11 Gleissolos Háplicos, 3 Neossolos Flúvicos, 3 Planossolos Háplicos e 1 Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, conforme apresentado na Tabela 1. O pacote oferece um conjunto abrangente de ferramentas para o processamento, análise e representação de dados pedológicos, possibilitando a visualização, agregação e classificação de perfis de solo, além da execução de funções especializadas para análise de bancos de dados pedológicos. Entre suas principais capacidades, destacam-se a interpolação de valores de atributos do solo ao longo dos perfis, a harmonização de dados provenientes de diferentes profundidades (horizontes genéticos), a avaliação quantitativa de similaridade e dissimilaridade entre perfis e a geração padronizada de representações gráficas de horizontes e perfis de solo por meio de esboços (*sketches*) normalizados (Barbosa, 2019).

Os perfis de solos foram coletados em campanhas realizadas nos anos de 2011 e 2012, cujos detalhes sobre os procedimentos de seleção dos pontos amostrais, identificação dos solos e descrições encontram-se no Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da EMBRAPA (2015), que representa os resultados do levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos da bacia hidrográfica. Os dados analíticos e as descrições completas dos horizontes totalizam 75 perfis de solos na região da Bacia Hidrográfica do rio Caceribu; entretanto, 18 perfis de solos hidromórficos foram selecionados para a aplicação das ferramentas de pedometria propostas, em função dos objetivos do presente estudo.

Tabela 1: Descrição dos tipos de solos hidromórficos selecionados. A tabela apresenta 14 tipos de solos classificados até o quarto nível categórico, de acordo com SiBCS (Santos *et al.*, 2018).

ID	Solos	Caracterização dos Solos (SiBCS 2018)
GXn-231	GLEISSOLO HÁPLICO Sódico neofluvisólico	Alto sódio, formação recente em depósitos aluviais
GXva-TG257	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Alumínico argissólico	Hidromorfismo, acidez (Al^{3+}), aumento abrupto de argila
GXve-249	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico	Textura arenosa, alta fertilidade (rico em bases)
Gxba-TG07	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Alumínico argissólico solódico	Hidromorfismo, acidez (Al^{3+}), aumento abrupto de argila, alto sódio (dispersão)
GXbd-216 GXbd-235 GXbd-241A GXbd-243 GXbd-TG20 GXbd-TG32 GXbd-TG33	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	Textura argilosa, baixa fertilidade, sem excesso de alumínio.
RYve-TG19	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico	Solo jovem (aluvial), textura arenosa, fértil.
RYbd-219	NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico	Solo jovem (aluvial), textura argilosa, baixa fertilidade.
RYbd-222	NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico álico solódico	Solo jovem (aluvial), argiloso, ácido (Al^{3+}), alto sódio (problemas estruturais).
RQg-209	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico	Solo arenoso (>90% areia), com saturação hídrica (mosqueamento) ou plintita (endurecimento).
SXd-232	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	Solo com saturação por bases (<50%) na maior parte do horizonte B, comumente plânico. Baixa fertilidade.
SXd-TG281	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico	Transição abrupta de textura, hidromorfismo, baixa fertilidade.
SXe-TG14	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico	Transição abrupta de textura, horizonte superficial arenoso, fértil.

O banco de dados da coleção completa (75 perfis) foi organizado com informações detalhadas referentes aos horizontes genéticos e aos teores de areia, silte e argila. Após a padronização das informações dos perfis em tabela, realizou-se uma triagem para a seleção daqueles que apresentavam indícios de hidromorfismo.

A aplicação do algoritmo de “fatiamento”, por meio da função *slice-wise* (Beaudette *et al.*, 2013), atribui valores ponderados a cada intervalo de 1 cm do perfil de solo, com base em uma coleção, os quais podem ser posteriormente agregados conforme profundidades predefinidas. Isso possibilita a harmonização do banco de dados para fins como o mapeamento de propriedades dos solos. A partir da coleção de perfis, é possível calibrar uma função de profundidade (*soil-depth function*) para representar a variabilidade vertical de determinada propriedade ou horizonte de interesse, além de estimar valores médios e medianos para cada segmento de profundidade e, posteriormente, realizar comparações com base na dissimilaridade entre os perfis de solo (Pinheiro *et al.*, 2016).

Uma matriz de dissimilaridade foi estabelecida a partir de uma base de dados segmentada em camadas de 1 cm de espessura, possibilitando a comparação entre os perfis de solos hidromórficos selecionados. Essa etapa foi viabilizada pela aplicação da função *profile compare*, que considera a profundidade máxima e um coeficiente de ponderação de 0,01, com a fração de contribuição refletindo a probabilidade por profundidade. As funções utilizadas para renderizar os esquemas dos perfis seguiram rigorosamente a carta de cores Munsell para Solos, garantindo padronização e menor subjetividade na descrição das cores dos horizontes, conforme recomendado no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos *et al.*, 2015).

Todos os procedimentos estatísticos para análise dos dados e implementação das funções de profundidade do solo foram executados no programa de livre acesso R (The Development Core Team, 2013) e no RStudio (Posit Team, versão 2024.12), por meio do pacote AQP (Beaudette *et al.*, 2013). O fluxograma com os procedimentos é apresentado na Figura 8.

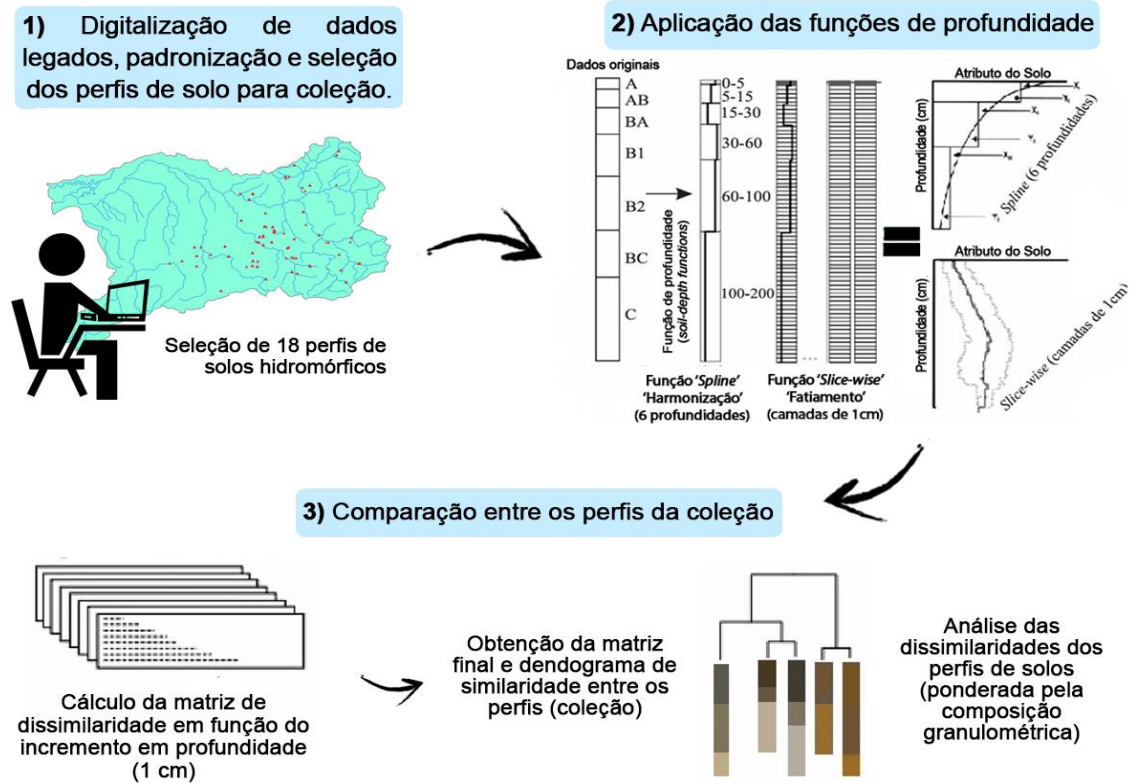


Figura 8 – Fluxograma metodológico do estudo. As etapas incluem: 1) Coleta e organização de dados de perfis de campo; 2) Padronização da profundidade em camadas; e 3) Avaliação comparativa de similaridade entre os solos hidromórficos. Adaptado de Pinheiro, 2016.

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise da Variação Granulométrica

Os procedimentos estatísticos para a construção de *sketches* associadas às funções de profundidade foram gerados com o apoio do pacote AQP (Beaudette *et al.*, 2013), com dados 18 perfis de solos. Considerando que a variação vertical de atributos do solo tende a ser contínua em um perfil, é possível inferir que as funções de profundidade conseguem representar as tendências de variabilidade deste atributo em profundidade (Ponce-Hernandez *et al.*, 1986) (Malone *et al.*, 2011). Para a construção das *soil-depth fuctions* deste estudo foram utilizados os dados referentes às frações granulométricas, a partir da coleta das amostras por horizonte genético, e os cálculos estatísticos referentes ao “fatiamiento” centimétrico permitiram reconstruir os dados contínuos em profundidade.

O algoritmo para definir as funções de profundidade foi a função de agregação de solos, que utiliza os valores das frações granulométricas (areia, silte e argila), apoiado por cálculos estatísticos, para determinar suas tendências quantitativas ao longo da variabilidade vertical dos horizontes. Isso foi feito de forma similar ao que Barbosa (2019) utilizou para determinar tendências centrais de classes texturais presentes na coleção de estudo da Bacia Guapi-Macacu. Neste estudo, os dados legados são compostos por 18 perfis de solos hidromórficos, totalizando 57 horizontes. A Figura 9 ilustra a aplicação da função de solo-profundidade a partir dos valores da mediana calculada, cujos perfis foram subdivididos a partir das ordens classificadas (A, Gleissolos; B, Neossolos; e C, Planossolos). No gráfico, o eixo vertical à esquerda representa a variação da profundidade, enquanto o eixo vertical à direita indica a porcentagem de dados amostrados que contribuíram para a estimativa da tendência. Já o eixo horizontal mostra o intervalo de valores para cada atributo analisado.

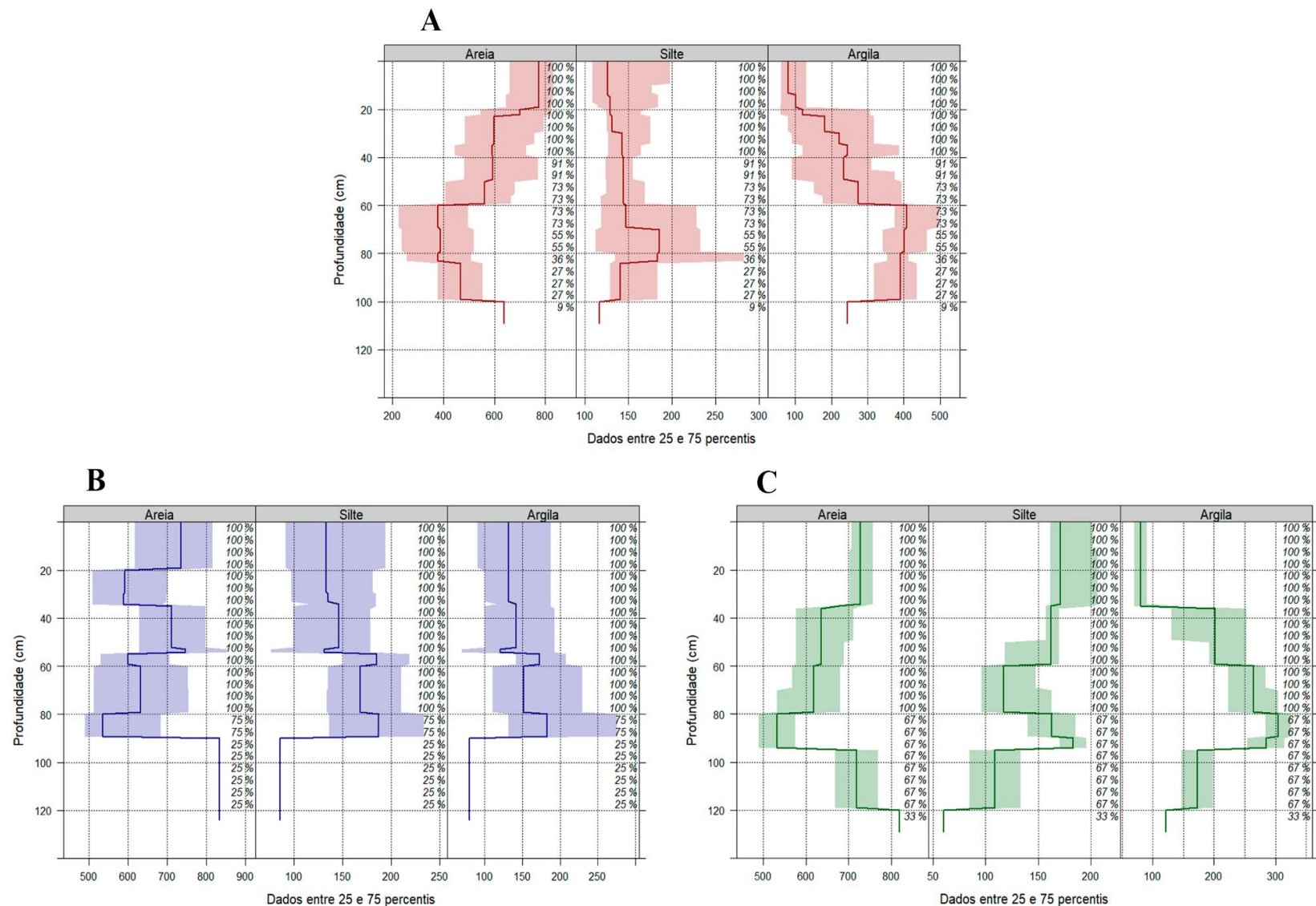


Figura 9 – Funções de profundidade do solo para representar a variabilidade vertical das frações granulométricas do solo a partir do conjunto de dados amostrados, separado por classes de solos, onde A, Gleissolos; B, Neossolos; e C, Planossolos.

O gráfico de tendência central dos Gleissolos (A) apresenta a estimativa da variabilidade vertical até 40 cm de profundidade, contabilizando os onze perfis da coleção (100%). Nele, é possível analisar o comportamento oposto entre as frações areia e argila, conforme esperado. Esse comportamento se inicia com um alto teor de areia na superfície (até 20 cm) e, em subsuperfície, os teores de argila tendem a aumentar expressivamente. Isso ocorre em função do possível processo pedogenético de iluviação e acúmulo de argila em profundidade, que costumam acontecer a partir de 40 cm. Esse tipo de ocorrência pode ser explicado por Kampf e Curi (2012), que caracterizam o processo pedogenético de translocação de partículas de argila dispersas dos horizontes superficiais para os horizontes subsuperficiais, devido à boa drenagem e maior infiltração da água em relevos de declive suave.

Os valores de silte também se acentuam, seguindo um comportamento similar ao da argila. Nesta faixa, o perfil de GXn-231 apresenta horizontes enriquecidos em altos teores de silte, associados a processos de gleização. Mesmo perdendo gradativamente o grau de confiança à medida que atinge maiores profundidades, o comportamento areia *versus* argila mantém uma dinâmica compatível. Isso é visível, por exemplo, aproximadamente entre 60 e 80 cm, onde os perfis apresentam maiores teores de argila e menores de areia. Esse indicativo textural condiz com as descrições dos perfis de solos amostrados na pesquisa, os quais incluem Gleissolos que variam entre texturas arenosas e argilosas de forma equilibrada, seja por predominância ou incrementos abruptos.

A análise de tendência central dos perfis de Neossolos (Gráfico B) exhibe o comportamento dos três perfis de Neossolo Flúvico e do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico. Os Neossolos Flúvicos, inerentemente, apresentam variabilidade textural em função das distintas camadas depositadas, por vezes, caracterizando descontinuidade litológica. A partir disso, foi possível observar a tendência central dos teores de areia, que demonstrou o comportamento ideal para os perfis de neossolos flúvicos, pela variabilidade inconstante do seu conteúdo no perfil, enquanto as frações argila e silte se mantêm lineares até aproximadamente 60 cm.

A tendência exhibe, entre 80 a 100 cm, uma acentuação dos teores de silte e argila, mesmo sendo insignificantes quando comparados aos valores em g/kg dos teores de areia em subsuperfície na mesma profundidade. Entre 100 e 130 cm, observa-se um novo aumento nos teores de areia, enquanto os de argila e silte diminuem drasticamente. Contudo, é fundamental considerar que o grau de confiança dos perfis de solo que contribuem para essa tendência central é de apenas 25% (correspondendo a 1 perfil da coleção). Apesar de apresentar um comportamento que, à primeira vista, parece ideal entre as texturas, o perfil que alcança essa profundidade é predominantemente o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, que mantém altos teores de areia ao longo de todo o seu perfil. Isso é justificado justamente pela escassez de dados de outros perfis nesta profundidade.

Os Planossolos (Gráfico C) mostraram a variabilidade esperada entre as frações granulométricas (areia, silte e argila), compreendendo uma análise de tendência central com 100% de confiança. Isso significa que perfis longos e com processos pedogenéticos diagnósticos estão sendo exibidos. Antes de atingir os 40 cm de profundidade, é possível identificar a primeira transição abrupta textural, com o início marcado pelo alto teor de areia, sendo diminuído pelo acréscimo da argila. O alto teor de areia pode ser justificado por deposições recentes de origem flúvica ou coluvionar. Já a alteração abrupta deflagrada em horizontes Bt subjacentes é justificada pela sua característica de acúmulo de argila. Mesmo após o gráfico perder o nível de confiabilidade (após 80 cm de profundidade), os perfis analisados mantiveram o comportamento ideal para esta classe de solos, com o aumento do conteúdo de areia em subsuperfície e o decréscimo da argila. No entanto, é importante reconhecer que a argila acumulada restringe o percolamento de água, levando à saturação temporária e à oxidação/redução frequente, elementos que favorecem a gleização. Essa ocorrência pode ser vista no horizonte Cg do perfil Tg-281.

A Figura 10 mostra a tendência central de toda a coleção dos 18 perfis de solos, correlacionando todas as características pertinentes descritas anteriormente na figura anterior, que dividia os solos por classes. É importante ressaltar a influência dos Gleissolos entre 0 a 40 cm de profundidade (100% de confiabilidade), justificada pelo alto teor de areia nos horizontes superficiais e pela incrementação linear da argila. Entre 60 e 80 cm, foi observado o crescente aumento da argila e redução da areia, condizente com os tipos de solos presentes: Gleissolos com transições equilibradas, Planossolos com mudanças abruptas e Neossolos Flúvicos contextualizados pela variabilidade textural associada ao material de origem. Por fim, em profundidades superiores a 1 m, o aumento da areia e a queda nas frações finas refletem, majoritariamente, o comportamento do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico.

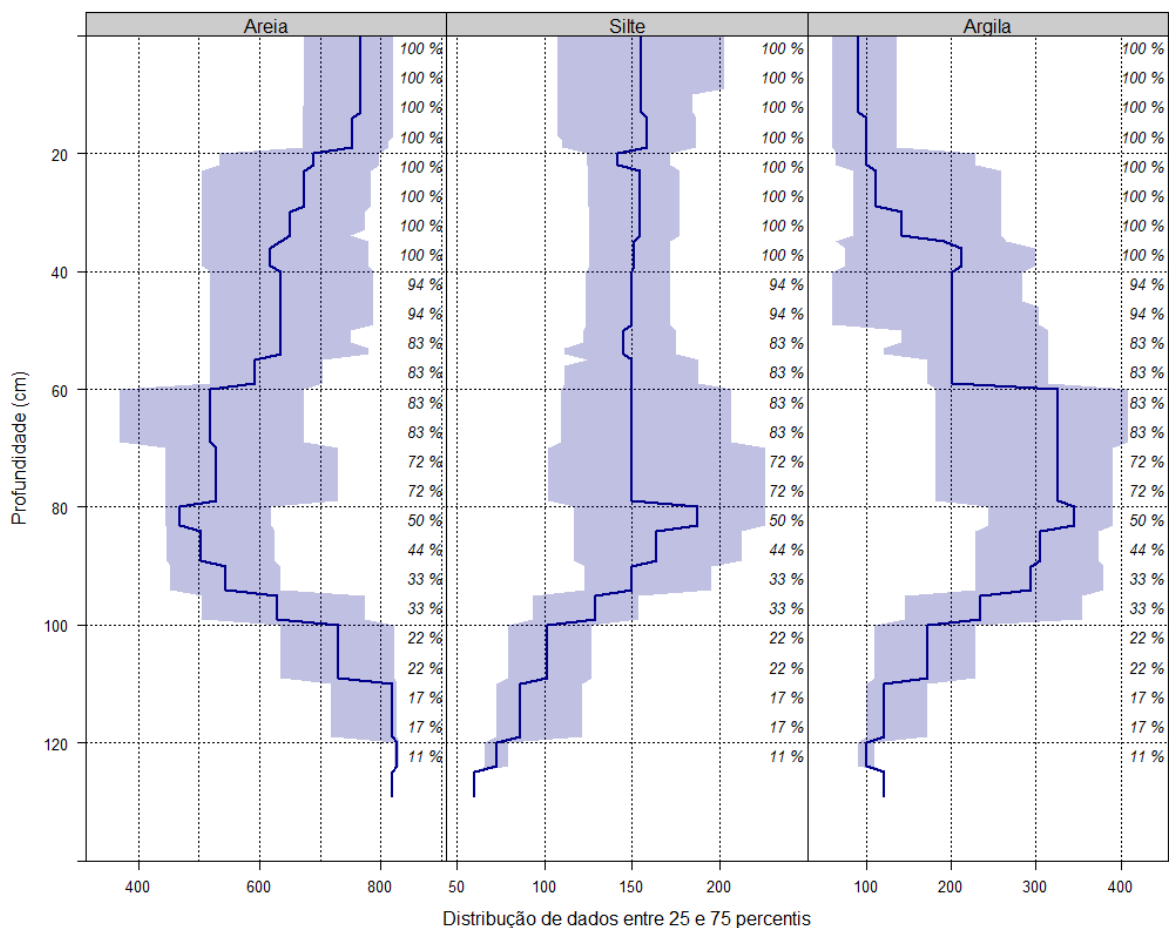


Figura 10 – Funções de profundidade do solo para representar a variabilidade vertical das frações granulométricas do solo a partir do conjunto completo de dados amostrados.

4.2. Probabilidade de Ocorrência de Horizontes Diagnósticos

Outra abordagem utilizada, que auxilia na análise das semelhanças e diferenças entre os perfis da coleção, assim como as tendências apresentadas nas distintas ordens de solos, foi o agrupamento dos horizontes diagnósticos da coleção de dados, gerando uma probabilidade de ocorrência de cada horizonte generalizado rotulado, detalhando a ocorrência de quatro horizontes genéticos específicos: A, B, C e Cg em profundidade.

O gráfico, representado na Figura 11, pode ser interpretado a partir do entendimento de que o eixo vertical indica a profundidade (cm) entre 0 e 140, e o eixo horizontal representa o valor da probabilidade de ocorrência, variando de 0 e 1. As curvas de probabilidade foram realizadas com base em dois modos distintos de representação estatística. O Modo 1 está relacionado a uma probabilidade geral de ocorrência dos horizontes em profundidade, considerando todos os dados igualmente, independente da densidade de amostras por camada. Já o Modo 2 apresenta uma abordagem ajustada, em que a probabilidade é ponderada de acordo com a densidade de dados em cada profundidade, gerando uma representação mais realista da distribuição dos horizontes no

perfil, apresentando uma representação consistente da distribuição dos horizontes (Santos *et al.*, 1983). Uma análise quantitativa da ocorrência de horizontes pode ser importante para a definição de critérios numéricos na classificação de solos e na identificação de perfis modais (Beaudette *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2018). A representação mais concisa sobre a distribuição dos horizontes é o Modo 2, que pondera a probabilidade considerando o número de perfis da coleção.

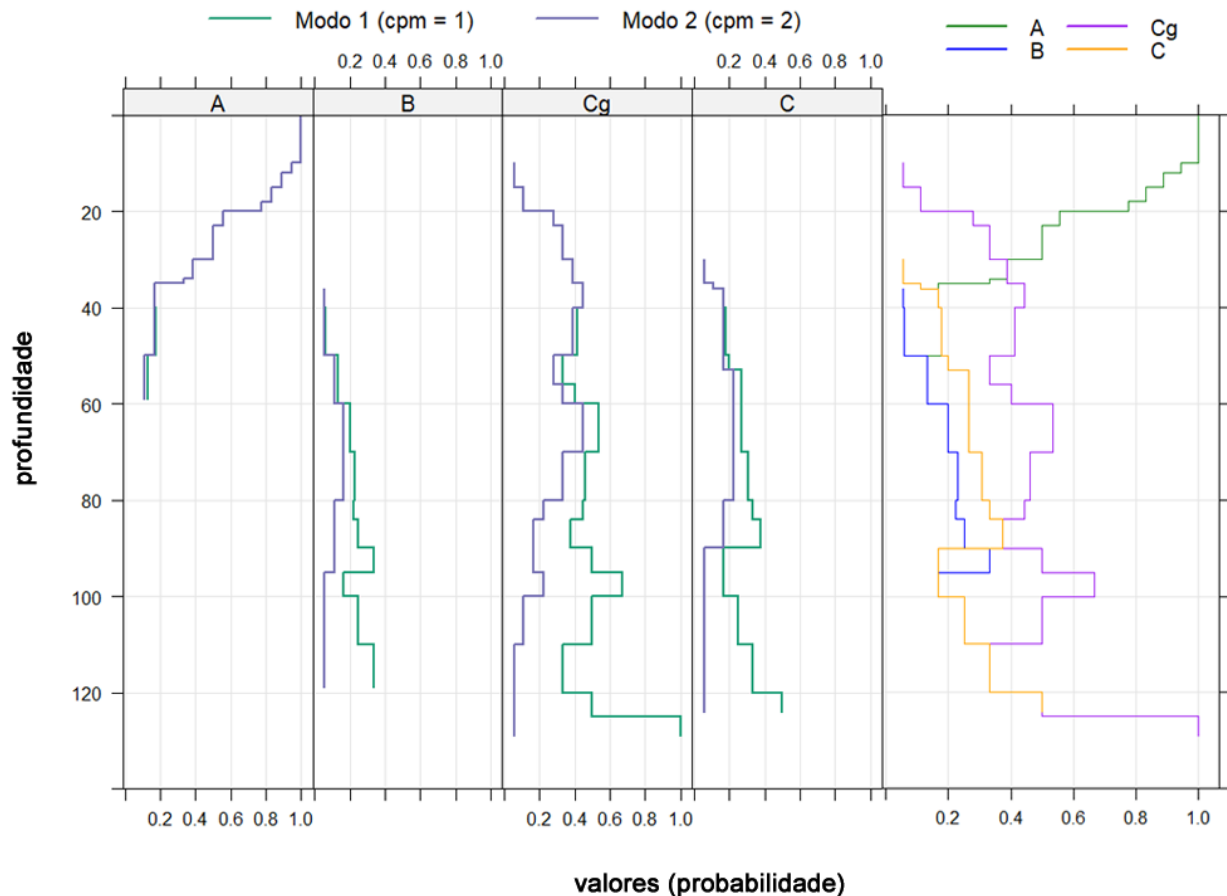


Figura 11 – Rótulos de horizonte generalizados atribuídos para o conjunto de dados amostrados completo.

O horizonte A é classificado como horizonte mineral superficial, comumente associado à elevada presença de matéria orgânica. Geralmente, esses horizontes apresentam menores teores de argila, favorecendo frações que contribuem para a circulação de ar, o fluxo de água e a fixação dos vegetais no solo (Pereira *et al.*, 2019). As curvas do primeiro gráfico exibem a probabilidade de ocorrência do horizonte A nos perfis de solos hidromórficos da coleção. Conforme ilustrado, a probabilidade de ocorrência deste horizonte é máxima nos primeiros 10 cm de profundidade, coexistindo em todos os perfis analisados. Essa probabilidade diminui gradualmente a partir desta profundidade, quase atingindo 60 cm de profundidade, onde os horizontes diagnósticos subsuperficiais e/ou camadas tendem a começar a ocorrer. Em Gleissolos, os perfis apresentaram uma variabilidade na espessura deste horizonte, que sofre uma transição subjacente por camadas acometidas pela gleização. Planossolos, por sua vez, também apresentam espessuras variadas,

associadas a camadas subsequentes com transição granulométrica abrupta.

O horizonte B, mineral subsuperficial, é capaz de expressar diretamente os processos pedogenéticos do solo, com características herdadas da sua gênese. É o horizonte que permite a classificação dos solos, devido à pouca ocorrência de ações erosivas ou atividades antrópicas nessa seção (Pereira *et al.*, 2019). Nesta coleção, é importante lembrar que 11 perfis são Gleissolos e 4 são Neossolos, que são solos com ausência do horizonte B diagnóstico por diferentes razões: nos Gleissolos, pela presença do horizonte glei, associado à saturação hídrica; e nos Neossolos, por serem solos muito jovens ou pouco desenvolvidos (Santos *et al.*, 2018). Diante disso, as curvas determinaram, de forma constante, valores de baixa probabilidade de ocorrência desses horizontes, perfazendo um intervalo entre, aproximadamente, 40 a 120 cm. A ocorrência de horizontes B está unicamente associada aos Planossolos, cujo horizonte B plânico se torna obrigatório para sua classificação, configurando uma abrupta mudança textural, associada ao acúmulo de argila (Btg).

O horizonte ou camada C, e caracterizado como mineral e adjacente ao material de origem, possui características semelhantes às da rocha matriz, desenvolvendo-se diretamente do intemperismo de rochas, ou pela deposição de sedimentos. Este horizonte pode ser subdividido em C1, C2 e C3 (Pereira *et al.*, 2019). As curvas de probabilidade de ocorrência desse horizonte exibem valores baixos, entre 30 e 130 cm de profundidade. Eles estão diretamente associados aos Neossolos Flúvicos e Quartzarênicos, apresentando a sequência A-C, típica desses solos. Os Neossolos Flúvicos são formados por sedimentos aluviais recentes, o que indicaria que as camadas C são sedimentos pouco ou nada alterados. Já os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos são perfis profundos, cujo horizonte C predomina areia constituída de minerais dificilmente alteráveis como o quartzo.

O horizonte Cg é mineral e subsuperficial, indicativo de ambiente hidromórfico e com a predominância da coloração acinzentada com a presença ou não de mosqueados. Esses solos estão condicionados à saturação por água o que nitidamente indica sinais de hidromorfismo. Na coleção, as curvas de probabilidade variam de forma intermediária, entre 10 e 130 cm de profundidade. Isso se deu à influência direta da quantidade de perfis de Gleissolos existentes na coleção. Nesta análise, o horizonte Cg foi bastante expressivo ao longo da curva gerada.

4.3. Análise da Dissimilaridade entre perfis

A variabilidade vertical da granulometria em profundidade pode ser visualizada por meio de esboços padronizados (Beaudette *et al.*, 2013). Esses esboços são particularmente úteis para destacar o comportamento da composição granulométrica por horizontes em diferentes ordens de solos hidromórficos presentes na coleção, como ilustrado na Figura 12.

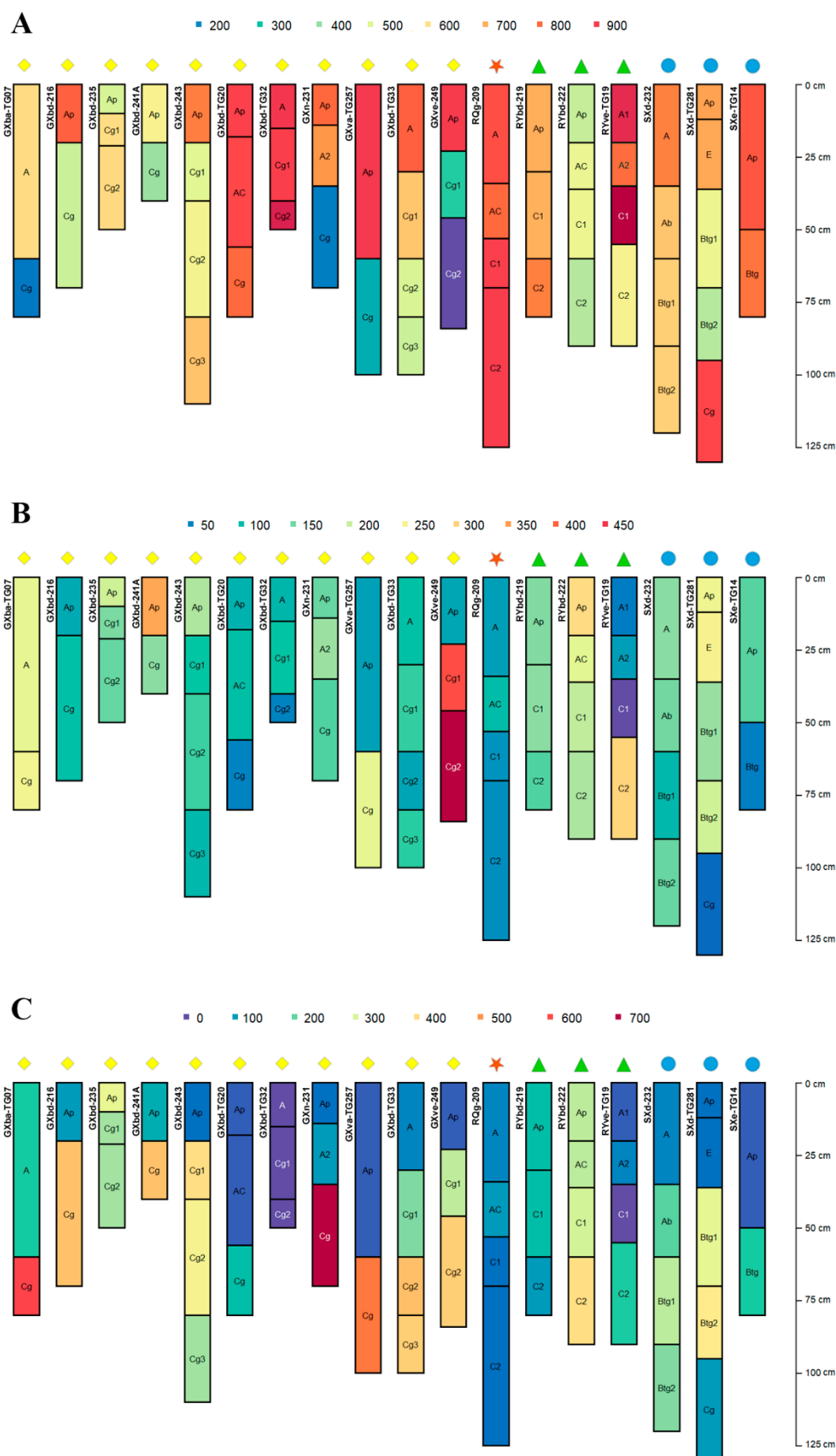


Figura 12 – Composição das frações granulométricas dos horizontes dos perfis de solos hidromórficos. A

coloração representa o conteúdo granulométrico, com valores expressos em g kg^{-1} , onde: A, Areia; B, Silte; e C, Argila. Os símbolos se referem as seguintes classes de solo: Losango Amarelo, Gleissolos Háplicos; Triângulo Verde, Neossolo Flúvico; Estrela Vermelha, Neossolo Quartzarênico; e Círculo Azul, Planossolo Háplico.

A ilustração gerada por *sketch* mostrou-se eficaz na caracterização e comparação da composição granulométrica entre os perfis dos solos, considerando a profundidade e os intervalos por horizontes, conforme observado por Pinheiro *et al.* (2016). Para isso, as cores atribuídas estão associadas diretamente aos de areia, silte e argila, em termos quantitativos do conteúdo de cada fração, em intervalos de 100 g kg^{-1} para areia e argila e 50 g kg^{-1} para silte. As proporções para os teores de areia variam de 200 a 900 g kg^{-1} , de argila entre 0 a 700 g kg^{-1} e de silte entre 50 e 450 g kg^{-1} . Os gráficos estão divididos em A, fração areia; B, fração silte; e C, fração argila. Ao lado direito, há uma métrica de profundidade, correlacionando os horizontes com sua posição na paisagem.

Os perfis de Gleissolos Háplicos revelaram teores elevados de areia em superfície, com valores variando entre 500 a 900 g kg^{-1} , e uma tendência de diminuição gradual desses teores em profundidade. Os perfis que exibiam uma redução no conteúdo de areia em horizontes subsuperficiais foram correlacionados com um aumento abrupto de argila, a presença do horizonte Bt nos Planossolos ou com a deposição de camadas típicas de depósitos aluviais, que por vezes podem apresentar teor de silte e argila mais elevado, associados a Neossolos.

Quanto aos teores de silte, estes se mostraram quase insignificantes nesta classe, com baixo teor predominante em praticamente todos os Gleissolos da coleção. Uma notável exceção foi o perfil GXve-249 que, apesar de sua textura arenosa, demonstrou um decréscimo nos teores de areia e uma concomitante acentuação dos valores de silte em profundidade. A fração Argila, por sua vez, mostrou teores mais elevados em subsuperfície na maioria dos perfis da coleção. Particularmente, a presença de argila revelou-se determinante em subsuperfície de perfis de Gleissolo Háplico Alumínicos ou Argissólicos, bem como naqueles desenvolvidos sobre depósitos aluvionares recentes. Tal ocorrência pode sugerir a predominância de material argiloso nessas formações. O aumento da argila pode estar relacionado tanto pelo processo de deposição estratigráfica de sedimentos antigos quanto por iluviação, diretamente influenciado pela capacidade de suporte e a dinâmica hídrica do solo. O estudo de Braga (2011) mostrou que os horizontes mais profundos (Cg) apresentavam alto teor de argila, o que reduz a permeabilidade e favorece a saturação hídrica, característica do processo de gleização intensa.

Os perfis de Neossolo presentes neste estudo são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral aluvial, cujos horizontes são expressos apenas em A-C (EMBRAPA, 2019). A coleção apresenta duas subordens de neossolos: Quartzarênico e Flúvicos. O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico exibe um perfil profundo, de textura arenosa (majoritariamente acima

de 90% do conteúdo de areia), como explicitado no esboço. Nesse perfil, o teor de areia variou no intervalo de 700 e 900 g kg⁻¹ ao longo do perfil, com acentuação máxima na superfície, decrescendo levemente os teores em camadas mais subsuperficiais e voltando a apresentar uma alta proporção do material arenoso em seu horizonte C2, que possui indício de gleização. Após a profundidade de 125 cm, o perfil se finaliza em contato direto com o lençol freático. Os valores de argila e silte são semelhantes, com variações entre 50 a 150 g kg⁻¹, e um acréscimo irrelevante na camada em que a areia diminuiu. Contudo, esses valores não as tornam frações predominantes.

A coleção inclui três perfis de Neossolos Flúvicos, solos que têm uma forte relação com depósitos aluviais. Esses depósitos se formam após o transporte de sedimentos por rios ou cursos d'água, incluindo diferentes tipos e tamanhos de materiais (Leite, 2022). Isso ajuda a entender a disparidade entre os perfis aqui apresentados, onde alguns são predominantemente arenosos, enquanto em outros, a argila e o silte são significativos. Observando o primeiro perfil (219), constatamos um alto teor de areia de forma constante em todos os horizontes, com baixos percentuais de argila e silte. Já o segundo perfil (222) apresentou alto teor de silte na superfície e argila em subsuperfície, com valores intermediários para a areia. Por fim, o Neossolo de número 19, com textura areia-franca, mostra altos teores de areia predominando até aproximadamente 60 cm de profundidade, com o conteúdo de silte aumentando na última camada.

Os Planossolos Háplicos também serviram como base para o estudo aprofundado e categórico de perfis de solos hidromórficos na área. Marcado pela transição textural abrupta, o perfil 281 apresentou essa característica de forma representativa. Em superfície, ele continha areia em proporções de 800 g kg⁻¹; essas proporções diminuíram em horizontes subsequentes e voltaram a exhibir, em seu horizonte mais subsuperficial, o enriquecimento de areia (horizonte Cg). Os valores de silte seguiram essa mesma tendência, com a diferença de que, ao contrário da areia, em seu horizonte mais inferior, seus teores continuaram a diminuir. Enquanto a variação da areia no perfil seguiu um fluxo de enriquecimento, empobrecimento e novo enriquecimento, os teores de argila apresentaram o movimento contrário, o que constituiu a causa da variação abrupta de textura, exibindo um comportamento de empobrecimento, enriquecimento e novo empobrecimento nessas partículas. Esse comportamento pedogenético está diretamente associado à iluviação nas camadas diagnósticas mais enriquecidas em argila (Btg), que, por sua vez, influencia no processo de gleização em camadas subjacentes (Cg) (Pereira *et al.*, 2019). O perfil 232 também exhibe um comportamento da classe, com horizonte B plânico mais enriquecido em argila, no entanto, ainda mantendo teores de areia constantes. O perfil Planossolo Háplico (14) foi representado por apenas dois horizontes de textura areia franca a franco-arenosa, sem apresentar transições abruptas, apenas uma troca de teores mais significativos de silte e argila em zonas subsuperficiais. Por ter sido um ponto extra de coleta, não houve descrição de todos os horizontes deste perfil de solo.

Beaudette *et al.* (2013) detalham que a análise da similaridade serve como uma abordagem inovadora para a compreensão dos perfis de solo, principalmente com o uso do algoritmo slice-wise, que possibilita a geração de matrizes de dissimilaridade estratificadas por profundidade. O reconhecimento da textura do solo é fundamental para a compreensão de bacias hidrográficas (Saldanha *et al.*, 2024). Sendo assim, a comparação de diferentes ordens de solo utiliza agrupamento hierárquico divisório, considerando que cada ordem representa um conjunto amplo de perfis. Esses perfis são subdivididos em grupos menores e mais homogêneos com base em características morfológicas e arranjo de horizontes/camadas (Kaufman & Rousseeuw, 2005).

O entendimento da distribuição dos solos, especialmente os hidromórficos, está intrinsecamente ligado ao relevo da paisagem. Os Gleissolos e Planossolos analisados apresentaram, em sua maioria, textura arenosa ao longo do perfil, com presença de argila em subsuperfície. Essas classes de solos são típicas de áreas de baixa declividade, como planícies e depressões, onde a drenagem reduzida favorece a saturação hídrica prolongada (Lepsch *et al.*, 1991). A ocorrência de Neossolos Flúvicos, por sua vez, se dá em planícies de inundação e margens de rios, diretamente condicionados à dinâmica fluvial. Esse direcionamento pode ajudar na compreensão do material aluvial presente nos perfis estudados, bem como das disparidades morfológicas entre eles. Portanto, a geomorfologia da paisagem atua como um fator crucial na modelagem das condições hidrológicas que determinam a formação e a distribuição desses solos.

A Figura 13 apresenta um reagrupamento dos perfis de solo da coleção, buscando exibir solos com maior similaridade por meio de um dendrograma. Isso valida o uso dos atributos granulométricos, pois essas propriedades influenciam diretamente a hidrologia, porosidade e fertilidade do solo. O agrupamento foi gerado com o método *single linkage* (ligação simples), que une dois grupos a partir do par de elementos mais próximo, utilizando a menor distância como base. Nesse caso, basta que haja um único elemento "próximo" para que dois grupos sejam unidos — *clusters* (Hair *et al.*, 2009; Everitt *et al.*, 2011). As linhas horizontais indicam o ponto de dissimilaridade entre os perfis agrupados, e a altura do dendrograma representa a dissimilaridade entre os *clusters* gerados; quanto mais alto, menos semelhantes eles são.

As ramificações superiores agrupam os perfis de solo de acordo com a dissimilaridade baseada na composição granulométrica, considerando também a profundidade de cada perfil. A discussão abaixo se baseia nos perfis da Figura 12 e na dissimilaridade gerada pelo algoritmo na Figura 13.

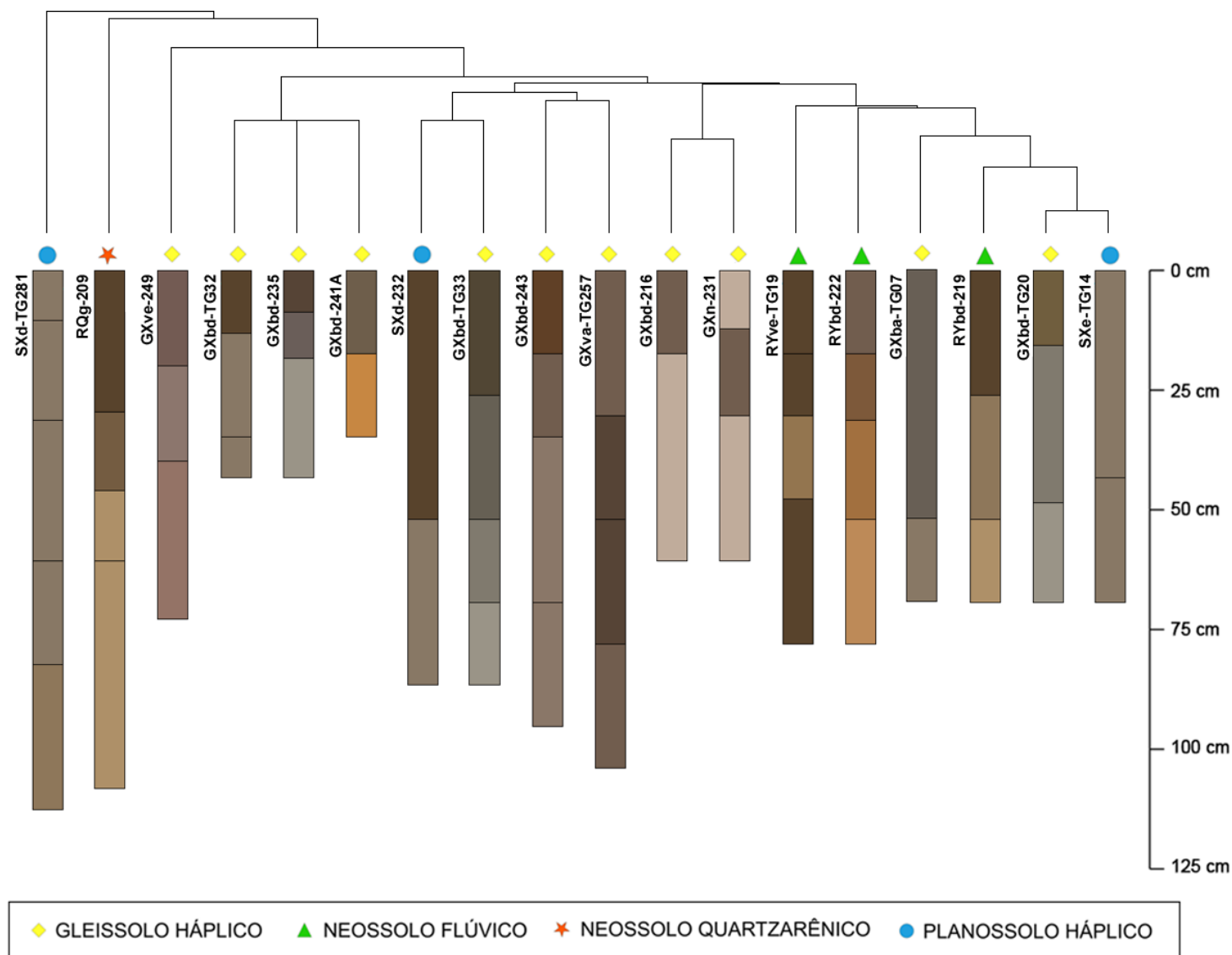


Figura 13 – Dissimilaridade entre perfis de solos hidromórficos da bacia hidrográfica do rio Caceribu, RJ. A coloração apresenta o padrão de cores Munsell dos solos de cada horizonte.

É possível identificar que, além da granulometria, a profundidade total do horizonte também influenciou o cálculo de dissimilaridade entre os perfis, como pontuado por Beaudette *et al.* (2013), separando, em primeira instância, solos mais rasos dos mais profundos. Destaca-se o agrupamento de solos no subcluster de Gleissolos (perfis TG32, 235 e 241A), que, embora apresentem texturas granulométricas totalmente diferentes, foram agrupados. Os perfis 235 e 241A exibiram um gradiente textural inverso quanto ao conteúdo de silte e argila. Já o Gleissolo TG32 mostrou-se majoritariamente arenoso. A coloração superficial de todos é bruno-escura, indicando a presença de matéria orgânica e possíveis condições de redução; onde há nuances acinzentadas a variegadas, contendo mosqueado, ou não, aponta-se para condições hidromórficas com drenagem deficiente, nas quais a saturação da água pode ter levado à remoção e à redução do ferro. Em contrapartida, a presença de coloração amarelo-avermelhada no perfil 241A pode representar uma fase de reoxidação do ferro em áreas onde o lençol freático oscila, onde comumente é observada a presença de mosqueados (Teixeira *et al.*, 2009; Fundação CECIERJ, 2002; EMBRAPA, 2021).

Os perfis TG20 (Gleissolo Háplico) e TG14 (Planossolo Háplico) foram os que demonstraram maior similaridade dentro da coleção de perfis, apesar de pertencerem a classes distintas. Junto ao perfil 219 (Neossolo Flúvico), que se aproxima da semelhança da dupla supracitada, são marcados pela presença constante de areia em todos os horizontes. Nesse caso, o comportamento da argila e do silte também é concordante, com baixos teores ao longo do perfil.

Visualmente, a partir da cor do solo, é possível identificar o perfil TG20 como um típico Gleissolo, devido às cores acinzentadas associadas a ambientes redutores e saturados por água, condizentes com horizontes glei (Santos *et al.*, 2018). Já o perfil TG14 é um Planossolo considerado uma amostra extra, pois não houve coleta de todos os horizontes genéticos, como, marcado por um ligeiro aumento no teor de argila nos horizontes subsuperficiais. O perfil 219, por sua vez, registra a variação de diferentes tonalidades de bruno: bruno-escuro no horizonte superficial (*topsoil*), bruno no horizonte subsuperficial e bruno-amarelo-claro nas maiores profundidades — transições que refletem horizontes com a presença de óxidos hidratados (óxidos de ferro — *goethita*) (Teixeira *et al.*, 2009).

Outra similaridade agrupada pelo algoritmo foi observada entre os perfis 232 (Planossolo) e 243 (Gleissolo), como visto anteriormente. Nesse caso, tratam-se de perfis mais profundos, caracterizados por um horizonte superficial arenoso. Os horizontes adjacentes, em ambos os perfis, apresentaram incremento no teor de argila (em proporções individuais), o que influencia nos processos pedogenéticos dos Gleissolos, favorecendo a intensificação da gleização. Já no caso do Planossolo, observa-se uma transição textural abrupta entre os horizontes, marcando a presença de um horizonte B diagnóstico do tipo plânico.

O dendrograma do cluster hierárquico apresentou ramificações que indicaram boa similaridade entre dois grupos de perfis de Gleissolos. No primeiro grupo, os perfis TG257 e TG33 revelaram uma superfície mais arenosa, com acentuação no conteúdo de argila na subsuperfície. Essa dinâmica evidencia uma textura mais argilosa em maiores profundidades do perfil. A proporção equilibrada entre os teores de argila e areia no horizonte Cg3 do perfil TG33 favoreceu o processo pedogenético de gleização nesse horizonte, confirmado pela coloração acinzentada do solo. Outros Gleissolos que também apresentam o processo pedogenético de gleização são os perfis 216 e 231, que compartilham características semelhantes: superfície arenosa e subsuperfície argilosa. Ambos exibem colorações acinzentadas ou mosqueadas nos horizontes glei. Diferentemente do habitual, o perfil 231 é classificado como um Gleissolo Háplico Neofluvíssólico, geralmente associado a solos pouco evoluídos, formados a partir de sedimentos aluviais em áreas de várzeas ou planícies de inundação — ambientes com alta variabilidade vertical, perceptível nas diferentes texturas e cores dos horizontes (Guimarães, 2010). Entretanto, a retenção hídrica nos horizontes mais profundos influencia significativamente o processo de gleização, conferindo a esses solos condições de hidromorfismo intenso, evidenciadas pelo horizonte diagnóstico Cg (Santos *et al.*, 2018)

A aproximação de similaridade entre os perfis TG07 (Gleissolo) e 222 (Neossolo Flúvico) também foi segmentada com base no comportamento granulométrico, caracterizado por teores intermediários de areia na superfície e incremento de silte e argila na subsuperfície. Essa é uma característica típica da unidade de Gleissolo, marcada por uma acentuação no teor de argila em profundidade, assim como do Neossolo Flúvico, que apresenta camadas formadas por material aluvial e argiloso nas porções mais profundas do perfil. No caso específico do perfil 222, a coloração amarelo-avermelhada nos horizontes mais profundos indica a presença de óxidos de ferro e sugere um possível grau de intemperismo, associado à influência de um ambiente com elevada umidade .

Os perfis TG19 (Neossolo Flúvico) e 249 (Gleissolo Háplico) foram agrupados em ramificações isoladas no dendrograma, cada um constituindo um cluster único. Isso se deve às suas características em profundidade, marcadas pelo comportamento granulométrico com alto teor de silte na subsuperfície e pela presença de areia restrita à superfície (ou brevemente intercalada em outros horizontes). A presença de areia no horizonte superficial pode influenciar o hidromorfismo do perfil; no entanto, as partículas mais finas e compactas de silte e argila funcionam como barreiras ao fluxo hídrico, favorecendo a saturação e os processos associados ao hidromorfismo, como a gleização, por exemplo.

O arranjo hierárquico mais próximo ao topo do eixo horizontal separou, em clusters únicos, os perfis do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (209) e do Planossolo Háplico (TG281), indicando uma alta dissimilaridade em relação aos demais perfis da coleção. Ambos apresentam os solos mais profundos entre os avaliados, com características genéticas típicas de suas respectivas classes. É

plausível que essa separação nos agrupamentos tenha considerado, prioritariamente, a profundidade dos perfis como fator determinante na dissimilaridade observada.

Os Gleissolos foram os perfis que mais demonstraram similaridade dentro da própria classe, mostrando coerência na interpretação baseada no algoritmo de dissimilaridade. Já os Planossolos e Neossolos, devido essencialmente aos processos pedogenéticos e características inerentes a estas ordens, apresentaram dissimilaridade entre perfis da mesma classe, sendo agrupados com diferentes Gleissolos da coleção. Isso reflete a diversificação desses solos conforme suas posições na paisagem e características.

5. Conclusão

A aplicação do pacote AQP permitiu uma reconstrução precisa dos dados contínuos de 18 perfis de solo, perfazendo 57 horizontes. O objetivo principal do estudo, que foi otimizar a identificação de tendências na distribuição granulométrica em profundidade foi atendido, revelando padrões consistentes de apoio para caracterização desses solos.

As funções de profundidade elucidaram tendências texturais distintas para cada ordem de solo e para a coleção como um todo. Nos Gleissolos, observou-se um padrão de oposição entre a ocorrência de areia (na superfície) e de argila (na subsuperfície), frequentemente associada ao horizonte glei, influenciado pelo acúmulo de argila em profundidade. Os perfis de Neossolos apresentaram teor de areia errática, em decorrência da deposição variável de materiais aluviais — sendo que o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico demonstra a presença de areia em maiores profundidades, por se tratar de um perfil mais profundo. Já nos Planossolos, a transição abrupta de areia para argila corroborou a presença do horizonte Bt. A análise global da coleção validou essa tendência central, evidenciando a correlação entre as características observadas em cada classe.

A análise da probabilidade de ocorrência dos horizontes A, B, C e Cg em profundidade, especialmente por meio do Modo 2 (ponderado pela densidade de dados), auxiliou na identificação de perfis modais. Constatou-se que o horizonte A ocorre em superfície, com pelo menos 10cm; o horizonte B é pouco expressivo na coleção, aparecendo apenas em Planossolos com horizonte plânico; e os horizontes/camada C que apresentam forte herança do material de origem e horizonte Cg (glei) apresentaram padrões distintos, sendo o horizonte Cg abundantemente expressivo em Gleissolos. Em síntese, essa abordagem aprofundou o conhecimento sobre a coleção dos perfis de solo, favorecendo uma melhor compreensão dos processos pedogenéticos atuantes nestes solos, na bacia hidrográfica em questão.

A etapa de análise granulométrica, por meio dos esboços padronizados — tanto os que refletiam apenas os dados de areia, silte e argila, quanto a reclassificação hierárquica divisória pela dissimilaridade — mostrou-se pertinente para uma melhor visualização dos perfis de solo e seu comportamento. Os Gleissolos Háplicos, com altos teores de areia na superfície e presença do horizonte glei, evidenciaram a influência do hidromorfismo natural. A diversidade dos Neossolos Flúvicos, influenciada pela natureza aluvial e pela presença de sódio em alguns perfis, destaca a complexidade das interações químicas e físicas que afetam a estrutura do solo. Os Planossolos Háplicos, por sua vez, exemplificaram a característica de transição textural abrupta, com inversão nos padrões de enriquecimento e empobrecimento de argila em profundidade. Por fim, o Neossolo Quartzarênico hidromórfico revelou-se representativo de sua classe, apresentando 90% de areia, o que demonstra uma relação direta com o material de origem.

A similaridade entre as classes revelou uma maior aproximação entre Gleissolos e Neossolos Flúvicos, especialmente influenciada pela predominância numérica dos Gleissolos na coleção e por suas características intrínsecas. A profundidade dos perfis mostrou-se um fator relevante no cálculo da dissimilaridade, agrupando perfis semelhantes quanto à profundidade, ainda que, por vezes, distintos em composição.

O uso de ferramentas pedométricas otimizou o trabalho de pedólogos e geocientistas no que diz respeito à definição e identificação de características típicas das classes de solo, por meio da análise de tendências relacionadas à textura e profundidade. No entanto, mais estudos devem ser conduzidos para aprofundar a compreensão sobre a variabilidade das propriedades do solo em profundidade, ampliando a base de dados dessas áreas e impulsionando a aplicação de técnicas e práticas mais precisas no manejo e na gestão dos recursos edáficos e hídricos.

6. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. (1976) - *The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48: 15-26.

ALMEIDA, F.F.M. (1981) - O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SBG, Simpósio do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, Salvador. Anais, p. 1-10.

AMADOR, E.S.; AMADOR, A.B. (1995) - Cenários paleogeográficos da baía de Guanabara. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), 5, Niterói, p. 65-72.

ARROUAYS, D.; MCKENZIE, N.; HEMPEL, J.; RICHER DE FORGES, A.; MCBRATNEY, A.B. (2014) - *GlobalSoilMap: Toward a fine-resolution global grid of soil properties*. *Advances in Agronomy* 125: 93-134.

AUGUSTO, R.C. (2017) - Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica do rio Caceribu. CEH/UERJ, Dissertação de Mestrado.

BARBOSA, T.R.P. (2019) - Análise e modelagem da variabilidade tridimensional de propriedades dos solos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, DG/UFRRJ, Monografia de Graduação.

BEAUDETTE, D.E.; ROUDIER, P.; O'GEEN, A.T. (2013) - *Algorithms for Quantitative Pedology (AQP): A toolkit for soil scientists*. *Computers & Geosciences* 52: 258-268.

BIRKELAND P.W. (1984) - *Soils and Geomorphology*. New York: Oxford University Press. 372p. (Revised edition of *Pedology, Weathering and Geomorphological Research*, first published in 1974).

BRAGA, M. M. (2011) - Crescimento e qualidade de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) em função da aplicação de calcário e enxofre. Universidade Federal de Lavras, Dissertação de Mestrado.

CAMPOS NETO, M.C. (2000) - *Orogenic Systems from Southwestern Gondwana*. In: **CORDANI, U.G.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS NETO, D.A.** (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. p. 355-365.

CARVALHO JR., W.; PEREIRA, N.R.; CHAGAS, C.S.; BHERING, S.B.; FILHO, B.C. (2015) - Pedologia Quantitativa: o Perfil mediano e o Perfil Médio. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de

COMITÊ BAÍA DE GUANABARA (2024) - Caceribu: um rio de diversos usos no leste da Baía de Guanabara. Boletim Rede Baía – Leste, Edição 04. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/boletim/redebaia/leste/04/materia6.php>. Acesso em: 13 Fev. 2025.

CPRM (2000) – Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro – Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Por Marcelo Eduardo Dantas – Brasília/DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; 75 p.

CPRM (2001) – Geologia do Estado do Rio de Janeiro – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Organizado por Luiz Carlos da Silva e Hélio Canejo da Silva Cunha – Rio de Janeiro/RJ: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; 2.ed. 94 p.

CPRM (2016) – Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil – Coordenação: Monica Heilbron, Luiz Guilherme do Eirado, Julio Almeida Orgs – Belo Horizonte/MG: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; 184 p.

EMBRAPA (2009) - Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra nas Bacias Hidrográficas de Guapi-Macacu e Caceribu, RJ. Relatório Técnico BPD 136, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA (2012a) - Estimativa da Erosividade nas Bacias Hidrográficas dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu, RJ. Relatório Técnico - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 205, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA (2012b) - Geomorfologia das Bacias dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu - Recôncavo da Baía de Guanabara, Estado do Rio de Janeiro. Relatório Técnico - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 215, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA (2015) - Levantamento de Reconhecimento de Alta Intensidade dos Solos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu, RJ. Relatório Técnico - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 257, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA (2019) - Formação e caracterização de solos. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1112549/1/Formacaoecharacterizacaodesolos2019.pdf>. Acesso em: 29 Mai. 2025.

EMBRAPA (2021) – Gleissolos: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos>. Acesso em: 13 Jun. 2025.

EVERITT, B. S., LANDAU, S., LEESE, M., STAHL, D. (2011) - *Cluster Analysis*. 5 ed. Chinchester: Wiley.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. (1989) – *Soil: Morphology, Genesis, and Classification*. Wiley Ed. New York, USA.

FERRARI, A.L. (1990) – A geologia do “rift” da Guanabara (RJ) na sua porção centro--ocidental e sua relação com o embasamento pré-cambriano. Congresso Brasileiro de Geologia. Soc. Bras. Geol., p. 2238-2249. Natal – RN.

FERRARI, A.L. (2001) – Evolução Tectônica do Gráben da Guanabara. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. Tese de Doutorado.

FUNDAÇÃO CECIERJ (2002) – Pedologia: o solo na sala de aula. Disponível em: https://extensao.cecierj.edu.br/material_didatico/geo09/popups/cor.htm. Acesso em: 3 Jun. 2025

GUIMARÃES, S. T. (2010) – Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. Dissertação de Mestrado

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. (2009) – *Multivariate Data Analysis*. 7. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

HARTEMINK, A.E.; MCBRATNEY, A.B.; MENDONÇA-SANTOS, M.L. (2010) – *GlobalSoilMap.net: A new digital soil map of the world*. Geoderma 207: 1-4.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; TUPINAMBÁ, M.; ALMEIDA, J.C.H. (1999) – *An evolutionary tectonic model for the central segment of Ribeira Belt: from the Transamazonian collage to Gondwana amalgamation*. In: SBG, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 7, Lençóis - RN. Anais, p. 58-61.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. (2004) – Província Mantiqueira. In: **MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Org.)**. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução

da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. p. 203-234. São Paulo – SP.

HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; VALERIANO, C.M.; PACIULLO, F.V.; ALMEIDA, J.C.H.; TROUW, R.J.A.; TUPINAMBÁ, M.; EIRADO SILVA, L.G. (2017) – *The Ribeira Belt*. In: **HEILBRON, M.; CORDANI, U.G.; FLECHA DE ALKIM, F. (Eds.)**. *São Francisco Cráton, Eastern Brazil*. Springer, *Regional Geology Reviews*. p. 277-302.

IPCC (2019) – *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 29 Mai. 2025.

KAMPF, N.; CURI, N. (2012) – Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: **KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P.** *Pedologia: Fundamentos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solos, 207-302p. Viçosa – MG.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P.J. (2005) – *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. Hoboken: J. Wiley, 368p.

LEITE, M.J.H., (2022) – Característica Gerais dos Principais Solos da Região Semiárida. RECIMA21: Revista Científica Multidisciplinar. Universidade Federal do Alagoas, UFAL, Maceió – AL.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. (1991) – Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4. Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 175 p, Campinas – SP.

LIMA, M.R., CABRAL JUNIOR, M., STEFANI, F.L. (1996) – Palinologia de Sedimentos da Formação Macacu – Rife da Guanabara, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Anais da Academia Brasileira de Ciências.

MALONE, B.P.; MCBRATNEY, A.B.; MINASNY, B. (2011) – *Empirical estimates of uncertainty for mapping continuous depth functions of soil attributes*. *Geoderma*, v.160, p.614-626.

MUNSELL (1994) - *Munsell soil color charts*. New Windsor, 1994. Revised edition.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PINHEIRO JUNIOR, C.R.; PINTO, L.A.S.R.; SILVA NETO, E.C.; FONTANA, A. (2019) – Formação e caracterização de solos. In: **TULLIO, L. (org.)**. *Formação, classificação e cartografia dos solos*. Atena Editora, cap. 1. Ponta Grossa – PR.

PINHEIRO, H. S. K. ; ANJOS, L. H. C. dos ; XAVIER, P. A. M. ; CHAGAS, S. C. ; CARVALHO JUNIOR, W. de (2018) – *Quantitative Pedology to Evaluates Soil Profile Collection from the Brazilian Semi-arid Region. South African Journal of Plant and Soil*, 1-11p.

PINHEIRO, H.S.K., CHAGAS, C.D.S., CARVALHO JÚNIOR, W.D., ANJOS, L.H.C.D. (2016) – *Pedometric tools to characterize soil granulometric composition from hydromorphical soil profiles*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51, 1326-1338.

PONCE-HERNANDEZ, R.; MARRIOTT, F.H.C.; BECKETT, P.H.T. (1986) – *An improved method for reconstructing a soil profile from analyses of a small number of samples. Journal of Soil Science* 37: 455-467.

POSIT TEAM. (2024) – *RStudio: Integrated Development Environment for R and Python* (versão 2024.12). Posit Software, PBC. Disponível em: <https://posit.co/downloads/>

R CORE TEAM (2013) – *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Disponível em: www.R-project.org.

RICCOMINI, C. (1989) – O rifte continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 256p.

RODRIGUES, J.L.M.; AFONSO, A.E. (2011) – Relações entre padrões de uso do solo e enchentes ao longo dos canais fluviais da bacia hidrográfica do rio Caceribu, Tanguá (RJ). Anais XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Dourados - MS.

SALDANHA, G.R.; BARBOSA, T.R.P.; RODRIGUES, N.B.; PINHEIRO, H.S.K.; CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; GUIMARÃES, L.D.D. (2024) – Predição de argila na camada superficial dos solos da Bacia Alto Taquari utilizando Machine Learning. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 21. Anais VIII Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, Viçosa – MG.

SANTOS, H.G. ; CAMARGO, M.N.; LARACH, J.O.I.; JACOMINE, P.K.T.; CARVALHO, A.P. (1983) – Definição e notação de horizontes e camadas do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 34 p.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. (2015) – Manual de descrição e coleta de solo no campo. SBCS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 7a. ed. Rio de Janeiro – RJ.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. (2018) – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Ed. Brasília, DF, Brasil. 5a. Edição.

SENGÖR, A.M.C. (1990) – *Plate tectonics and orogenic research after 25 years: synopsis of a Thetyan perspective. Earth Science Review* 27: 1-201.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R. (1999) – *The characterization of a Cambrian (~520 Ma) tectonometamorphic event in the coastal domain of the Ribeira Belt (SE Brazil), using U/Pb in syntectonic veins.* In: SEGEMAR, Simpósio Sudamericano de Geologia Isotópica, 2, Cordoba. Actas, p. 363-366.

SILVA, L.C.; McNAUGHTON, N.J.; ARMSTRONG, R.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R. (2005) – *The neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U-Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens.* Precambrian Research, 136. p. 203-240.

VALLADARES, C.S.; DUARTE, B.P.; HEILBRON, M.; REGATKY, D. (2000) – *The tectono-magmatic evolution of the occidental terrane and the Paraíba do Sul klippe within the Neoproterozoic Ribeira Orogenic Belt, Southeastern Brazil.* Revista Brasileira de Geociências 30 (1): 1-6.

TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C. (2009) – A cor do solo: interpretando as cores do solo com a finalidade de monitorar processos de recuperação em áreas degradadas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental.

TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R.R. (2000) – *The Central Segment of the Ribeira Belt.* In: **CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A. (eds.)** *Tectonic Evolution of South America.* Rio de Janeiro, p. 287-310.

TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. (2012) – Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira entre o neoproterozoico e o paleozoico inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências 35 (2): 140-151.