

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Solos Orgânicos em Ambientes Altomontanos
no Sudeste do Brasil: Formação, Classificação e
Relações com a História da Vegetação**

Eduardo Carvalho da Silva Neto

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

SOLOS ORGÂNICOS EM AMBIENTES ALTOMONTANOS NO
SUDESTE DO BRASIL: FORMAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E RELAÇÕES
COM A HISTÓRIA DA VEGETAÇÃO

EDUARDO CARVALHO DA SILVA NETO

Sob a orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

e coorientação da Professora

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Física do Solo.

Seropédica, RJ
Agosto de 2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586v	<p>Silva Neto, Eduardo Carvalho da, 1990- Viabilidade da utilização de rochas silicáticas como fonte de potássio na agricultura/Eduardo Cavalho da Silva Neto. – Seropédica, 2022. 105 f. : il.</p> <p>Orientador: Marcos Gervasio Pereira. Tese (Doutorado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, 2022.</p> <p>1. Organossolos. 2. Relação solo-paisagem. 3. Mudanças climáticas. 4. Quaternário I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo III. Título.</p>
-------	---

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) Bolsa E_26/200.339/2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

EDUARDO CARVALHO DA SILVA NETO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Física do Solo.

TESE APROVADA EM 23/08/2022.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Fábio Soares de Oliveira. Dr. UFMG

Gustavo Souza Valladares. Dr. UFPI

Ingrid Horák-Terra. Dra. UFVJM

José João Lelis Leal de Souza. Dr. UFV

DEDICATÓRIA

*Ponta de Areia, ponto final
Da Bahia-Minas, estrada natural
Que ligava Minas ao porto, ao mar
Caminho de ferro mandaram arrancar*

*Velho maquinista com seu boné
Lembra o povo alegre que vinha cortejar
Maria fumaça não canta mais
Para moças, flores, janelas e quintais*

*Na praça vazia um grito, um ai
Casas esquecidas, viúvas nos portais.*

Milton Nascimento (“Bituca”), 1975.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas, instituições e agências de fomento me apoiaram intelectualmente, financeiramente e emocionalmente em meus estudos de doutorado. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e de inúmeras outras instituições públicas de ensino, através de seus colaboradores.

Os anos de doutorado foram desafiadores e às vezes frustrantes, mas no geral, eu não gostaria de perder nenhum deles. Durante este tempo, tive vários professores e colaboradores próximos que moldaram meu pensamento científico e minha filosofia, alguns dos quais quero agradecer aqui.

Em primeiro lugar, expresso minha gratidão ao Prof. Marcos Gervasio Pereira, por seu apoio e incentivo como amigo e professor, sua dedicação inabalável e inspiradora às questões profissionais, por ser incrivelmente flexível com minha trajetória acadêmica e me conceder a liberdade de buscar minhas próprias questões de pesquisa e pelas diversas oportunidades que me fizeram expandir minha rede de colaboradores. Também agradeço pelos conselhos e palavras de encorajamento em tempos difíceis e por oferecer uma oportunidade de estágio a um estudante de graduação há cerca de dez anos, que agora termina seu doutorado. Obrigado!

Agradeço à Profa. Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela atenção ao processo científico, por sempre me desafiar a crescer como cientista, pensar criativamente e explorar hipóteses alternativas para questões que sondam minha compreensão do mundo natural. Tudo isso foi fundamental para me permitir encontrar minha paixão na Ciência do Solo.

Também agradeço à Profa. Marcia Calegari, pelo conhecimento científico compartilhado durante o curso de pedobiomarcadores aplicados aos estudos de reconstrução paleoambiental no Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental (LEDA), na Unioeste.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro me proporcionou não apenas a oportunidade de construir sólidos conhecimentos com pessoas inspiradoras e ampliar minhas perspectivas, mas também um lar (físico e metafórico) e um contínuo apoio financeiro, sem os quais minha formação acadêmica não teria sido possível. Não importa onde eu esteja ou quão longe eu vá no futuro, o que eu aprendi na Rural sempre estará entre as coisas mais valiosas que me acompanharão em todos os aspectos da minha vida.

No Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS) tive a sorte de conviver com uma equipe incrivelmente solidária, que me ensinou muito sobre o lado prático da ciência do solo. Agradecimentos especiais a Ana Paula Pessim, Luiz Alberto Rodrigues, Victória Monteiro, Melania Ziviani, Carlos Roberto Pinheiro, Gilsonley Lopes, Sandra Santana, Otavio Queiroz, Andressa Rosas, Polliana Machado e João Pedro Scott.

Nos últimos anos de doutorado, enquanto professor substituto no Departamento de Solos da UFRRJ, contei com o apoio de colegas e professores, os quais gostaria de agradecer também. Em especial, ao Prof. Nivaldo Schultz, à Profa. Erica Lima e à Maria Helena, na disciplina de Física do Solo. E, claro, meus queridos alunos da turma 06 de Física do Solo (2022-1), Barbara Melissa, Bianca Cristina, Evellyn Alvarenga, Fernanda Seixas, Gabriela Camargo, Lucas Gabriel, Naila Garcia, Thiago Franco e Wanderley Philippe.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos distantes e não tão distantes: Janne Kety, Camila Almeida, Ana Amélia Cordeiro, Sabrina Gonçalves, Ailson Marques, Mariana Dionísio, Felipe Melo, Aparecida Maffra, Pablo Ferreira, Júlio César e João Chrysostomo. Menção especial à minha amiga Andressa Souza, com quem convivi desde o primeiro ano na

universidade, porque vimos um ao outro no bem e no mal, enfrentamos juntos as pressões e os desafios do doutorado. Todos vocês sabem por que e o quanto são importantes na minha vida, não vou deixar meu sentimentalismo aflorar aqui. Desculpem-me por todos os meus dramas e ausências. Enquanto escrevo estes parágrafos e me vêm as lembranças com vocês, posso dizer verdadeiramente: a jornada é mais importante que o destino.

Agradeço também à minha família que finalmente receberá uma resposta para a pergunta: “quando você termina a tese?”. Em especial minha irmã, Rívian Carvalho, que sempre me incentivou a estudar, trabalhar e acreditar em mim mesmo. E minha mãe, Eurides Carvalho, por seu amor e pelas longas conversas por telefone em muitas ocasiões.

E, finalmente, ao Marcondes, por seu amor e multidimensional paciência comigo, principalmente durante o período de introspecção e exploração dos resultados. Eu não posso agradecer o suficiente pelo seu apoio e incentivo ao longo desses anos. Obrigado por viver com todas as minhas loucuras e espero compartilharmos muitas viagens exploratórias à frente.

Muito obrigado!

RESUMO GERAL

SILVA NETO, Eduardo Carvalho. **Solos orgânicos em ambientes altomontanos no Sudeste do Brasil: formação, classificação e relações com a história da vegetação.** 2022. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

A pesquisa busca contribuir para o entendimento da gênese de solos orgânicos não hidromórficos em ambientes altomontanos na região Sudeste do Brasil. A tese foi organizada em dois capítulos, no Capítulo I - Referencial teórico sobre Organossolos, são apresentadas e discutidas fontes bibliográficas importantes para o embasamento teórico da tese. Além da grande relevância ambiental, os solos orgânicos são importantes arquivos naturais para a compreensão do passado por meio da reconstituição paleoambiental, fornecendo dados para inferências sobre o clima e a vegetação do passado e tendências futuras diante das mudanças climáticas. Possuem grande relevância na regulação do clima, armazenamento de água, manutenção da biodiversidade. No Capítulo II, de título – Solos orgânicos em ambientes altomontanos no Sudeste do Brasil: formação, classificação e relações com a história da vegetação, são apresentados e discutidos os resultados da caracterização de 14 perfis descritos e coletados em ambientes altomontanos na região da Serra da Mantiqueira, no Sudeste do Brasil. As seguintes hipóteses foram levantadas: (i) a formação de solos orgânicos em condições de drenagem livre, está relacionada com a história da vegetação e variações das condições climáticas no passado; (ii) o clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região Sudeste do Brasil resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos). O objetivo geral foi propor um esquema geral de formação desses solos, com base no entendimento da relação solo-paisagem e na reconstituição da história da vegetação. Quanto a primeira hipótese, com base nos registros de fitólitos, $\delta^{13}\text{C}$, estoques de carbono derivados de plantas C_3 e C_4 , e datações ^{14}C foi possível inferir 4 momentos ambientais: Fase I (antes de ~18.900 anos cal AP), clima marcadamente mais frio e seco do que o atual, com predomínio de vegetação de campos subtropicais e ocorrência de incêndios; Fase II (~18.900 anos cal AP a ~11.100 anos cal AP), ligeiro aumento de umidade, diminuição de incêndios e expansão de formações florestais, com rara presença de *Araucaria angustifolia*; Fase III (a partir de ~11.100 anos AP) aumento da umidade, com estabelecimento das condições atuais (clima frio e úmido, típico dos ambientes altomontanos), e marcada presença de *Araucaria* nas florestas altomontanas; Fase IV (presente) mudanças ambientais relacionadas com o aumento da ocorrência de incêndios, redução de indivíduos de *Araucaria* e aumento de Bambusoid, Arecaceae e plantas C_4 , possivelmente ligada à atividades humanas. Quanto a segunda hipótese, os Organossolos Fólicos nos ambientes altomontanos da Serra da Mantiqueira são formados por acumulação de liteira (resíduos da vegetação) e podem ocorrer dois pedoambientes: (i) diretamente sobre rochas nos campos de altitude, pelos processos de adição e transformação da liteira, que constituem o principal material parental desses solos; e (ii) em florestas altomontanas, com horizontes hísticos formados sobre horizontes minerais. Em ambos os casos, o clima frio e úmido e a vegetação (organismos) são os principais fatores de formação, não apenas reduzindo a decomposição da matéria orgânica, mas influenciando as propriedades físicas e químicas dos solos. O clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região sudeste do Brasil também resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos).

Palavras-chave: Organossolos. Relação solo-paisagem. Mudanças climáticas. Quaternário.

GENERAL ABSTRACT

SILVA NETO, Eduardo Carvalho. **Organic soils in upper montane environments of southeastern Brazil: formation, classification, and relations to vegetation history**. 2022. 105 p. Thesis (Doctor in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

The research developed in this thesis aims to contribute to the understanding of the formation of non-hydromorphic organic soils in upper montane environments in the southeastern Brazil. The thesis was organized in two chapters, in Chapter I “Organic soils - definitions and use as record of paleoenvironmental changes”, a theoretical framework based on relevant bibliographical sources is presented and discussed. In addition to the environmental relevance, organic soils are important natural archives of paleoenvironmental changes, providing data for inferences about the climate and vegetation of the past and future. They have great relevance for climate regulation, water storage and maintaining biodiversity. In the Chapter II, entitled - Organic soils in upper montane environments in Southeastern Brazil: formation, classification and relations with the history of vegetation, the results obtained from the characterization of 14 soil profiles, described and collected in upper montane environments in southeastern Brazil, are presented. The following hypotheses were set: (i) the formation of organic soils under free drainage conditions is related to the history of vegetation and variations in climatic conditions in the past; (ii) the cold and humid climate of the upper montane environments in the Southeastern region of Brazil results in soils with andic (non-allophanic) properties. The objective of this research was to propose a general scheme for the formation of these soils, based on the understanding of the soil-landscape relationship and on the reconstitution of the vegetation history. As for the first hypothesis, based on records of phytoliths, $\delta^{13}\text{C}$, carbon stocks derived from C_3 and C_4 plants, and ^{14}C dating, it was possible to infer four environmental conditions: Phase I (before ~18,9k yr BP), markedly colder climate and drier than current one, with a predominance of subtropical grassland vegetation and the occurrence of fires; Phase II (~18,9k yr BP to ~11,1k yr BP), slight increase in humidity, decrease in fires and expansion of forest formations, with rare presence of *Araucaria angustifolia*; Phase III (from ~11,1k years BP) increase in humidity, with the establishment of current conditions (cold and humid climate, typical of southeastern Brazilian highlands), and marked presence of *Araucaria* in upper-montane forests; Phase IV (present) environmental changes related to increased occurrence of fires, reduction of *Araucaria* individuals and increase of Bambusoid, Arecaceae and C_4 plants, possibly linked to human activities. On the second hypothesis, *Organossolos Fólicos* (Folists) in the upper montane environments of Serra da Mantiqueira are formed by the accumulation of litter (vegetation residues) and can occur in two soil environments: (i) directly on rocks in the high-altitude fields, by the processes of addition and transformation of litter, which constitute the main parental material of these soils; and (ii) in upper montane forests, with histic horizons formed over mineral horizons. In both cases, the cold and humid climate and the vegetation (organisms) are the main soil formation factors, not only reducing the decomposition of the organic matter, but influencing the physical and chemical properties of the soils. The cold and humid climate of the upper montane environments in southeastern Brazil also results in soils with andic (non-allophanic) properties.

Keywords: Histosols. Soil-landscape relationship. Climate change. Quaternary.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 CAPÍTULO I	3
SOLOS ORGÂNICOS – DEFINIÇÕES E USO COMO	3
REGISTRO DE MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS	3
2.1 RESUMO	4
2.2 ABSTRACT	5
2.3 INTRODUÇÃO	6
2.4 TURFA, TURFEIRA OU SOLO ORGÂNICO?	7
2.5 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS	8
2.5.1 Material orgânico.....	8
2.5.2 Horizontes de constituição orgânica.....	9
2.5.3 Definição e estruturação das classes de solos orgânicos	12
2.6 FORMAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS	16
2.7 MATA ATLÂNTICA E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO ALTOMONTANA NO QUATERNÁRIO TARDIO	18
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
3 CAPÍTULO II.....	27
ORGANIC SOILS WITH ANDIC PROPERTIES IN HIGHLANDS OF SOUTHEASTERN BRAZIL: FORMATION, CLASSIFICATION, AND RELATIONS TO VEGETATION HISTORY	27
3.1 RESUMO	28
3.2 ABSTRACT	29
3.3 INTRODUCTION	30
3.4 MATERIALS AND METHODS	32
3.4.1 Study area and environmental setting.....	32
3.4.2 Field work and sampling	33
3.4.3 Physical and chemical soil characteristics.....	34
3.4.4 Andic properties	34
3.4.5 Isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) and ^{14}C dating	35
3.4.6 Phytolith analysis.....	35
3.4.7 Data analysis.....	36
3.5 RESULTS	37
3.6 DISCUSSION.....	51
3.6.1 Soil formation and processes	51
3.6.1 Timing of vegetation history	54
3.6 CONCLUSIONS	58
4 CONCLUSÕES GERAIS	59
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
6 APÊNDICES	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os solos constituem o maior reservatório de carbono (C) terrestre e desempenham papel crucial no balanço global de C, regulando processos biogeoquímicos e a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (Lal, 2013; Batjes, 2014). Nesse sentido, os solos orgânicos merecem destaque pois, apesar de cobrirem apenas ~3% da superfície terrestre (Köchy et al., 2015; Jackson et al., 2017; Xu et al., 2018), armazenam ~644 Gt de C, equivalente a 21% do estoque global de C do solo de ~3000 Gt (Yu et al., 2010; Page et al., 2011; Scharlemann et al., 2014). Esses solos requerem atenção específica por fornecerem uma grande variedade de funções ecológicas e são altamente vulneráveis às mudanças climáticas. Portanto, a preservação e restauração de áreas com solos orgânicos, particularmente nos trópicos, é um passo crítico para a mitigação das mudanças climáticas globais (Leifeld e Menichetti, 2018).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), os solos orgânicos representam a ordem dos Organossolos, solos com preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos sobre os dos constituintes minerais (Santos et al., 2018). Podem ser formados a partir de materiais depositados sob condições de excesso de água, ou sem estagnação de água, condicionados, sobretudo, pelo clima úmido, frio e de vegetação altomontana. Em nível de subordem, os Organossolos são diferenciados em três classes (Fólicos, Tiomórficos e Háplicos), de acordo com o ambiente de formação. Os Organossolos Fólicos se distinguem das demais subordens por apresentarem condição de drenagem livre e serem restritos a ambientes altomontanos, onde as condições de baixa temperatura, distrofismo e elevada acidez favorecem o acúmulo de material orgânico pela redução da atividade biológica. Exceto pelo critério mínimo de C orgânico, esta subordem se correlaciona com a subordem *Folists* no Soil Taxonomy (United States, 2014) e *Folic Histosol* no World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015).

Do ponto de vista da pedogênese, Organossolos em condições de hidromorfismo são formados pelo processo pedogenético específico de paludização (Buol et al., 2011; Schaetzl e Thompson, 2015). No caso dos Organossolos Fólicos, em que a acumulação de matéria orgânica ocorre em condições de drenagem livre, ainda não há um processo definido para a sua formação. Alguns autores utilizam o termo *littering* (“acumulação de liteira”) (Hart et al., 1962; Buol et al., 1980; Mitchell e Humphreys, 1987), para se referir ao acúmulo de restos vegetais na superfície de um solo mineral. No entanto, algumas perguntas sobre a gênese desses solos ainda permanecem sem resposta: Há um processo pedogenético específico que rege a formação e o desenvolvimento desses solos? Em que condições ambientais (vegetação e clima) e quando eles foram formados? Eles estão se formando atualmente ou são relictuais? Qual a relação entre esses solos e a história da vegetação, durante as mudanças climáticas no Quaternário?

Outra questão sobre a gênese desses solos, diz respeito ao desenvolvimento de propriedades ândicas. A acumulação de matéria orgânica em clima frio e úmido, juntamente com a grande quantidade de alumínio nesses solos, pode levar à formação de complexos organometálicos (principalmente Al-húmus), resultando em maior estabilidade da matéria orgânica (IUSS Working Group WRB, 2015). Existem registros de Organossolos Fólicos com propriedades ândicas (não-alofânicos) na região Sul do Brasil, Formação Serra Geral (Dümig et al., 2008a; 2008b; Santos Júnior e Almeida, 2021). Assim, surge a questão: as condições climáticas dos ambientes altomontanos na região sudeste do Brasil também poderiam levar à formação de solos com propriedades ândicas?

Considerando essas questões, foi desenvolvida essa pesquisa, que busca contribuir para o entendimento da gênese desses solos. A tese foi organizada em dois capítulos, o Capítulo I –

Solos orgânicos – definições e uso como registro de mudanças paleoambientais, em que são apresentadas e discutidas fontes bibliográficas importantes para o Capítulo II, de título – Solos orgânicos em ambientes altomontanos no Sudeste do Brasil: formação, classificação e relações com a história da vegetação. Neste segundo capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos do estudo de 14 perfis descritos e coletados em ambientes altomontanos na região da Serra da Mantiqueira, no Sudeste do Brasil.

As seguintes hipóteses foram levantadas: (i) a formação de solos orgânicos em condições de drenagem livre, está relacionada com a história da vegetação e variações das condições climáticas no passado; (ii) o clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região sudeste do Brasil resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos).

Assim, o objetivo geral da pesquisa foi propor um esquema geral de formação desses solos, com base no entendimento da relação solo-paisagem e na reconstituição da história da vegetação.

Os objetivos específicos foram:

- a) descrever e caracterizar os atributos morfológicos, físicos e químicos de Organossolos Fólicos em ambientes altomontanos no Sudeste do Brasil;
- b) verificar a ocorrência de propriedades ândicas nos solos dessa região;
- c) reconstituir as mudanças paleoambientais e relacioná-las com a gênese dos solos; e
- d) identificar os processos pedogenéticos envolvidos na formação dos Organossolos Fólicos.

2 CAPÍTULO I

SOLOS ORGÂNICOS – DEFINIÇÕES E USO COMO REGISTRO DE MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS

2.1 RESUMO

Os solos orgânicos desempenham papel importante na conservação da natureza e na mitigação das mudanças climáticas. Funcionam como reservatórios de carbono e desempenham um papel importante na manutenção do ciclo hidrológico, uma vez que, em geral, as regiões onde esses solos ocorrem regulam o fluxo de água de bacias hidrográficas. Existem diversas definições e classificações para os solos orgânicos; mas, em termos de sua gênese, eles se formam sob condições ambientais que promovem o acúmulo de matéria orgânica e inibem sua decomposição, seja em regiões com temperaturas frias, com saturação de água ou ambas. Outro aspecto a ser destacado é o papel dos solos orgânicos como arquivos de mudanças paleoambientais, por serem formados por resíduos vegetais provenientes quase exclusivamente da cobertura vegetal do solo. Neste capítulo é apresentado referencial teórico sobre solos orgânicos e são discutidas definições e fontes bibliográficas importantes para o embasamento teórico da tese. Além da grande relevância ambiental, os solos orgânicos são importantes arquivos naturais para a compreensão do passado por meio da reconstituição paleoambiental, fornecendo dados para inferências sobre o clima e a vegetação do passado e tendências futuras diante das mudanças climáticas. A singularidade dos ecossistemas onde ocorrem os solos orgânicos proporciona uma rica biodiversidade, com a coexistência de espécies que vão além da classificação da fitogeografia e da ecologia.

Palavras-chave: Organossolos. Carbono do solo. Turfeiras. Mudanças climáticas.

2.2 ABSTRACT

Organic soils play an important role in conserving nature and mitigating climate change. They function as carbon reservoirs and play an important role in maintaining the hydrological cycle, since, in general, the regions where these soils occur regulate the flow of water in watersheds. There are several definitions and classifications for organic soils; however, in terms of pedogenesis they form under environmental conditions that promote the accumulation of organic matter and inhibit its decomposition, whether in regions with cold temperatures, water saturation, or both. Another aspect to be highlighted is the role of organic soils as archives of paleoenvironmental changes, because they are formed by plant residues coming almost exclusively from the soil vegetation cover. This chapter presents a theoretical framework on organic soils in which definitions and important bibliographic sources for the thesis are discussed. In addition to their great environmental relevance, organic soils are important natural archives for understanding the past through paleoenvironmental reconstitution, providing data for inferences about the climate and vegetation of the past and future trends in the face of climate change. The uniqueness of the ecosystems where organic soils occur provides a rich biodiversity, with the coexistence of species that go beyond the classification of phytogeography and ecology.

Keywords: Histosols. Soil carbon. Peat. Climate change.

2.3 INTRODUÇÃO

Os solos orgânicos desempenham um papel importante na conservação da natureza e na mitigação das mudanças climáticas. Além de funcionarem como reservatórios de carbono, eles desempenham um papel importante na manutenção do ciclo hidrológico, uma vez que as regiões onde esses solos ocorrem regulam o fluxo de água de bacias hidrográficas. Além disso, eles possuem grande relevância em relação à biodiversidade, pois estão associados a diversas fitofisionomias onde os processos de interação ecológica de espécies da fauna e da flora estão intrinsecamente associados às características do solo, que influenciam a disponibilidade de recursos para a biodiversidade e a manutenção das interações entre as espécies.

Existem diversas definições e classificações para os solos orgânicos. Eles se formam sob condições que promovem o acúmulo de matéria orgânica e inibem sua decomposição, seja em regiões com temperaturas frias, com saturação de água ou ambas. Quando a produção de biomassa excede a decomposição, horizontes de solo orgânico e, conseqüentemente, solos orgânicos podem ser formados. Como resultado, esses solos têm várias propriedades que os distinguem dos solos minerais, como o alto teor de carbono orgânico, densidade muito baixa e uma impressionante capacidade de retenção de água.

Outro aspecto a ser destacado é o papel dos solos orgânicos como arquivos de mudanças paleoambientais. Os horizontes desses solos são formados principalmente por resíduos vegetais de diferentes estágios de decomposição, provenientes quase exclusivamente da cobertura vegetal do solo. Mudanças na cobertura vegetal resultam em mudanças no material aportado ao solo fazendo com que este se comporte como um registro de eventos ambientais pretéritos (Pessenda et al., 2005). Portanto, os solos orgânicos podem ser considerados arquivos naturais de condições ambientais do passado, fornecendo informações sobre temperatura, umidade ou precipitação, composição química da atmosfera, vegetação etc.

Neste capítulo apresenta-se um referencial teórico sobre solos orgânicos em que são apresentadas e discutidas definições e fontes bibliográficas importantes para o embasamento teórico da tese.

2.4 TURFA, TURFEIRA OU SOLO ORGÂNICO?

Solos orgânicos muitas vezes são associados a ambientes de turfeiras, motivo pelo qual se confundem termos e definições. Embora existam diferentes definições na literatura, pode-se admitir que há consenso sobre sua relação básica: turfa é o material (sedimentos orgânicos, predominantemente de origem vegetal) a partir do qual é formada uma turfeira, uma vereda, ou um banhado – um ecossistema com uma camada de turfa naturalmente acumulada na superfície do terreno (Charman, 2002; Joosten e Clarke, 2002; Chesworth, 2008; Rydin et al., 2013). Como resultado, os solos encontrados nessas áreas são classificados como solos orgânicos.

A turfa consiste principalmente em restos de plantas que se acumulam (ou que se acumularam) devido à decomposição incompleta sob condições próximas de saturação com água. Diferentes materiais vegetais podem estar envolvidos no processo de formação da turfa, por exemplo, partes lenhosas, folhas, rizomas, raízes e musgos (*Sphagnum* spp.). Nas diversas definições, dependendo do país ou mesmo da disciplina científica, a camada de turfa deve apresentar uma espessura mínima para uma área ser classificada como turfeira, variando de 10 cm a 100 cm (Joosten e Clarke, 2002). Há ainda uma variedade de nomes usados para designar ecossistemas com solos orgânicos, incluindo *mire*, *moor*, *bog*, *fen*, *marsh* (banhado), *swamp* (vereda), entre outros. Esses termos se aplicam a ecossistemas ou paisagens específicas caracterizadas por determinadas comunidades de organismos, regimes hidrológicos, reação do solo (pH), estado de nutrientes e padrões de relevo (Buol et al., 2011).

Com relação ao conceito de solo orgânico, as definições encontradas na literatura são geralmente associadas a sistemas de classificação de solos. Essas definições dependem de critérios estabelecidos por cada sistema, que, neste caso, geralmente envolvem valores mínimos de teor de carbono orgânico e espessura. Assim, a turfa pode ser considerada como o material de origem dos solos orgânicos formados em ambientes de turfeira (Fig. 1). No entanto, a ocorrência de solos orgânicos não é restrita a áreas de turfeiras. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e na maioria dos sistemas de classificação, os solos orgânicos são separados em classes de acordo com os ambientes de formação: (1) solos formados a partir de materiais depositados sob condições de excesso de água (em áreas úmidas e/ou ecossistemas de turfeiras mineralotóficas); e (2) solos formados em condições de drenagem livre (bem a moderadamente drenados), em ambientes de clima úmido, frio e de vegetação altomontana e/ou ecossistemas de turfeiras ombrotóficas (Santos et al., 2018).

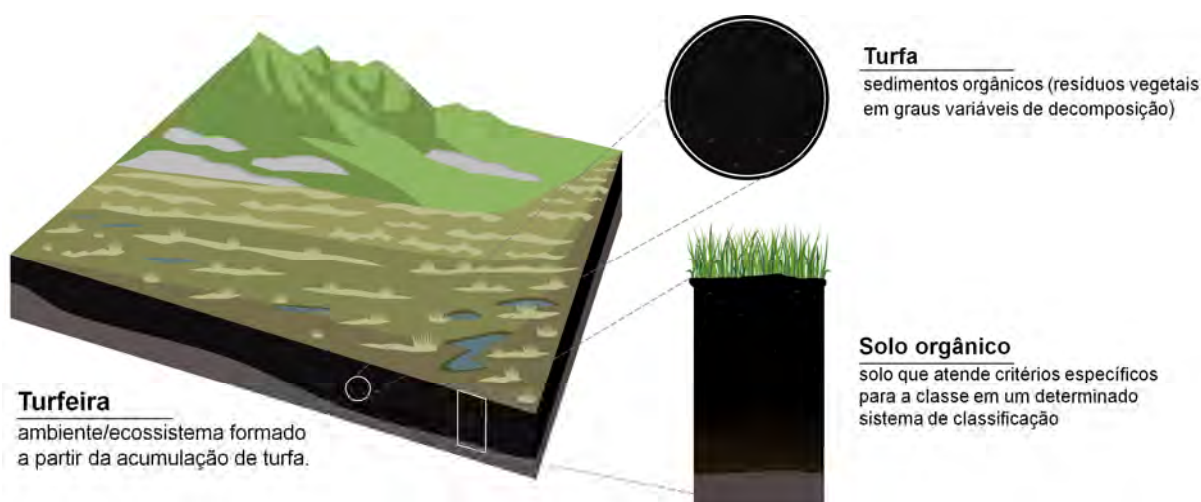


Figura 1. Representação esquemática da relação entre os conceitos de turfa, turfeira e solo orgânico. Elaborado pelo autor.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS

A definição e classificação de solos orgânicos variam entre sistemas de classificação. Neste item é comparada a classificação desses solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018), *World Reference Base for Soil Resources – WRB* (IUSS Working Group WRB, 2022) e *Keys to Soil Taxonomy – ST* (United States, 2014). O SiBCS tem como prioridade a classificação de solos no território brasileiro e possui alguns critérios, atributos e conceitos que se originaram de definições correlatas no WRB ou ST. Os sistemas WRB e ST são recomendados pela *International Union of Soil Sciences* (IUSS) como internacionais para atividades de correlação de solos, relatórios para documentos técnicos, mapeamento de solos em várias escalas e publicações científicas (Hempel et al., 2013).

2.5.1 Material orgânico

No SiBCS, material orgânico é definido como “aquele constituído por materiais originários de resíduos vegetais em diferentes estádios de decomposição, excluindo raízes vivas, mas incluindo fragmentos de carvão finamente divididos e biomassa presentes no solo como resultado de processos naturais.” (Santos et al., 2018). Pode estar associado a material mineral em proporções variáveis e deve atender conjuntamente os seguintes requisitos:

- a) O conteúdo de constituintes orgânicos deve impor preponderância de suas propriedades sobre as dos constituintes minerais; e
- b) O teor de carbono orgânico (C.Org) deve ser igual ou maior que 80 g kg^{-1} , avaliado na fração terra fina seca ao ar (TFSA), conforme método adotado pela Embrapa Solos.

Nos sistemas WRB e ST, os valores de carbono orgânico devem ser maiores para a identificação de material orgânico. No WRB, material orgânico é definido como “uma grande quantidade de resíduos orgânicos que se acumulam sob condições úmidas ou secas e nas quais o componente mineral não influencia significativamente as propriedades do solo” (IUSS Working Group WRB, 2015). Para ser considerado material orgânico, o conteúdo de C.Org. deve ser $\geq 20\%$ (em massa) na fração TFSA ($< 2,0 \text{ mm}$). Já na definição do ST, os requisitos variam de acordo com o regime hídrico e drenagem do solo. Quando saturado com água por menos de 30 dias (cumulativos) por ano, o teor de C.Org deve ser $\geq 20\%$ (em peso) na fração TFSA ($< 2,0 \text{ mm}$). Quando saturado com água por 30 dias ou mais (cumulativos) por ano, o teor de C.Org. deve ser $\geq 18\%$ se a fração mineral contiver 60% ou mais de argila; $\geq 20\%$ se a fração mineral não contiver argila; ou $\geq 12\% +$ (porcentagem de argila multiplicada por 0,1) se a fração mineral contiver menos de 60% de argila (United States, 2014).

Em sua primeira edição (Embrapa, 1999), o SiBCS considerava a relação entre textura e C.Org. para estabelecer os limites mínimos, de forma semelhante ao ST. Devido às diferenças entre as metodologias utilizadas em cada sistema, nessa mesma edição foi apresentada uma correlação entre os valores de carbono orgânico determinados em laboratórios da Embrapa Solos e do *Soil Conservation Service* (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Mediante análises procedidas em fração das mesmas amostras, foi verificada a equivalência de valores de carbono orgânico. Dessa forma, para a conversão de valores de C.Org. determinados a partir do método da Embrapa Solos, em correspondente ao determinado pelo SCS, deve-se multiplicar o valor na Embrapa Solos pelo fator 1,5. Para conversão inversa, dividir o valor do SCS pelo mesmo fator 1,5.

O limite para o teor de C.Org. ($\geq 80 \text{ g.kg}^{-1}$) adotado pelo SiBCS foi proposto por Valladares (2003), a partir de um banco de dados de perfis com horizontes hísticos descritos em diversas regiões do Brasil. Valladares (2003) observou que não havia correlação entre os teores de argila e C.Org. para os solos orgânicos brasileiros, sugerindo o uso de um limite único inferior de 80 g.kg^{-1} (8%) de carbono orgânico para a definição de material orgânico. Assim, a

partir da segunda versão o SiBCS (Santos et al., 2006), adotou o valor de 8% (80 g.kg⁻¹) para a definição de material orgânico. Cabe ressaltar que, o critério de preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos em relação aos minerais, sempre foi considerado.

2.5.2 Horizontes de constituição orgânica

No SiBCS, os horizontes de constituição orgânica são denominados horizontes hísticos. São definidos como horizontes de cores escuras em função dos altos teores de matéria orgânica, com teores de C.Org. ≥ 80 g.kg⁻¹ em que predominam características relacionadas ao elevado teor de matéria orgânica (Fig. 2). São resultantes de acumulações de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, depositados superficialmente, ainda que, no presente, possa encontrar-se recoberto por horizontes ou depósitos minerais e mesmo camadas orgânicas mais recentes (Santos et al., 2018). Para ser classificado como hístico, além dos teores de C.Org. superiores a 8%, o horizonte deve atender a um dos seguintes requisitos quanto a espessura:

- a. Espessura maior ou igual a 20 cm; ou
- b. Espessura maior ou igual a 40 cm quando 75% ou mais do volume do horizonte for constituído de tecido vegetal na forma de restos de ramos finos, raízes finas e cascas de árvores, excluindo as partes vivas; ou
- c. Espessura de 10 cm ou mais quando sobrejacente a um contato lítico ou lítico fragmentário ou a um horizonte e/ou camada constituído por 90% ou mais (em volume) de material mineral com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões).

O horizonte hístico é formado em dois ambientes distintos, sendo diferenciado em horizonte O hístico e H hístico (Santos et al., 2018):

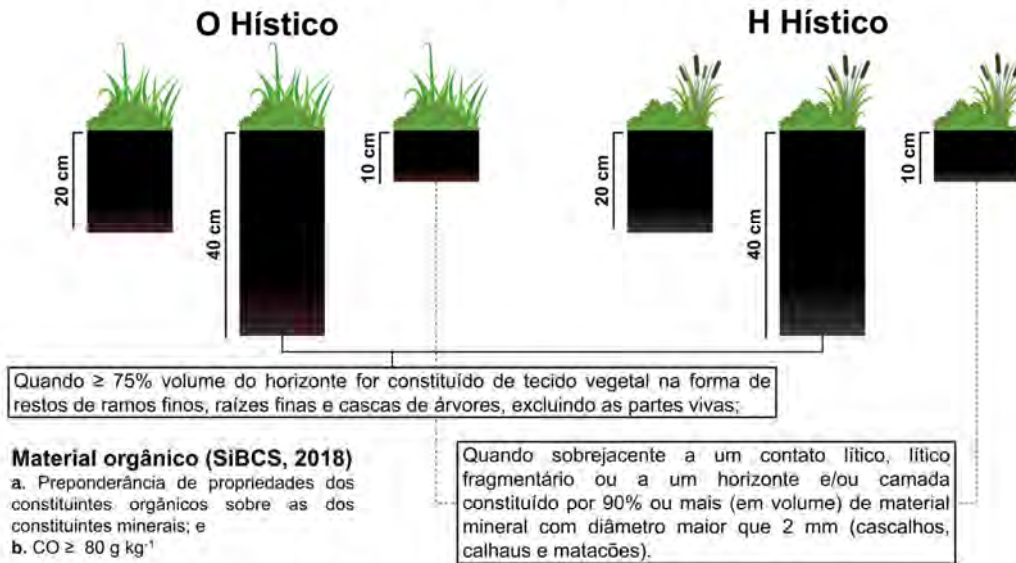
- **Horizonte O hístico** – formado a partir de materiais depositados em condição de drenagem livre (saturados com água por menos de 30 dias consecutivos no período das chuvas), sem estagnação de água, condicionados, sobretudo, pelo clima úmido, frio e de vegetação alto-montana. Pode estar assentado sobre contato lítico, contato lítico fragmentário ou qualquer tipo de horizonte (A, B ou C);
- **Horizonte H hístico** – formado a partir de materiais depositados sob condições de excesso de água, por longos períodos ou por todo o ano, ainda que, no presente, tenha sido artificialmente drenado. Geralmente estão assentados sobre horizonte C, em alguns casos, por influência de drenagem artificial, sobre horizontes A e B. Podem ocorrer à superfície ou estar soterrados por material mineral.

No WRB, os horizontes de constituição orgânica podem ser classificados como *follic* ou *histic*. Ambos devem apresentar espessura ≥ 10 cm, sendo diferenciados pelo regime hídrico e aeração do solo (IUSS Working Group WRB, 2015):

- **Follic horizon** (do latim *folium*, “folha”) consiste em material orgânico bem arejado.
 - Ocorrem predominantemente em clima frio ou em maiores altitudes.
 - Saturado com água por < 30 dias consecutivos / ano, sem drenagem artificial.
- **Histic horizon** (do grego *histos*, “tecido”) consiste em material orgânico pouco arejado.
 - Ocorrem predominantemente em áreas úmidas ou turfeiras.
 - Saturado com água por ≥ 30 dias consecutivos / ano, ou drenado artificialmente.

A composição do *histic horizon* é geralmente diferente da composição do *follic horizon*, pois a cobertura vegetal é frequentemente diferente. O limite inferior de 20% de carbono orgânico do solo diferencia o *follic horizon* dos horizontes *chernic*, *mollic* ou *umbric*, que têm esse conteúdo como limites superiores. Ainda, o *follic horizon* pode apresentar propriedades ândicas ou vítricas, conforme as definições do sistema (IUSS Working Group WRB, 2015).

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)



World Reference Base (WRB)



Soil Taxonomy

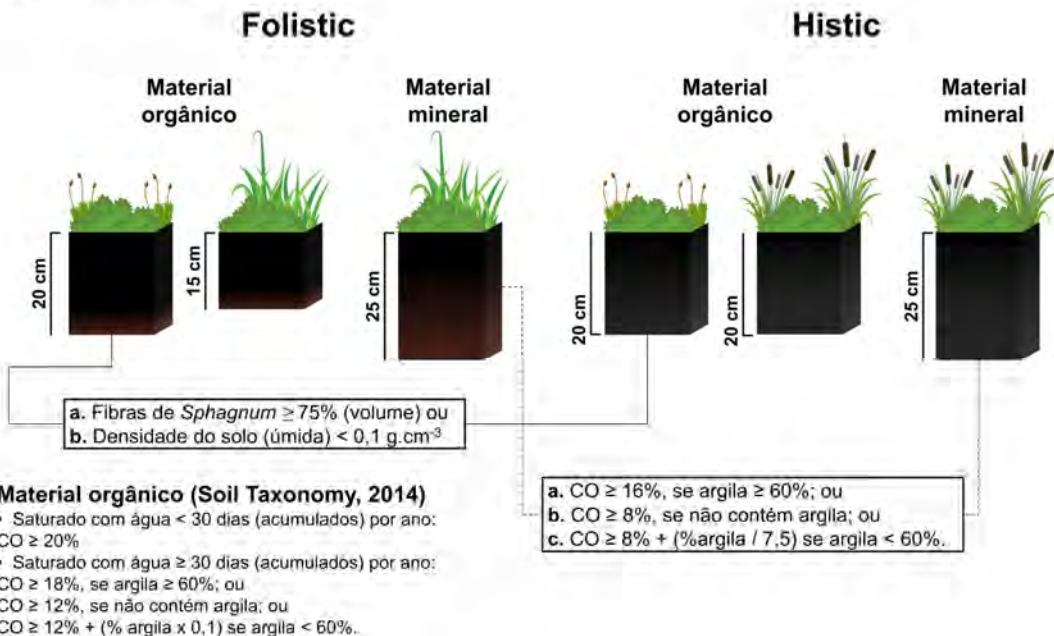


Figura 2. Horizontes e epipedons de constituição orgânica no World Reference Base – WRB (IUSS Working Group WRB, 2015), Soil Taxonomy – ST (United States, 2014), SiBCS (Santos et al., 2018). Elaborado pelo autor.

Diferente do SiBCS e WRB, que utilizam o perfil de solo como elemento de classificação, o ST classifica o pedon, uma unidade de solo tridimensional imaginária, considerada a menor unidade de amostragem, que exhibe toda a gama de propriedades características de um determinado solo. Assim, os horizontes diagnósticos da superfície são agrupados e classificados como *epipedon* (grego *epi* = sobre, *pedon* = solo). O *epipedon* é definido como um horizonte que se forma na superfície ou próximo à superfície, escurecido pela matéria orgânica, no qual a maior parte da estrutura da rocha foi destruída (United States, 2014). Em sua versão mais recente o ST apresenta dois *epipedons* orgânicos: *folistic* e *histic* (United States, 2014):

- **Folistic** – é uma camada saturada com água por < 30 dias (cumulativos) em anos normais, não drenada artificialmente que atende a um dos critérios abaixo:
 1. Consiste em material orgânico do solo que:
 - a. Tem 20 cm ou mais de espessura e contém 75% ou mais (em volume) de fibras de *Sphagnum* ou tem uma densidade aparente, úmida, inferior a 0,1 g.cm⁻³; ou
 - b. Tem 15 cm ou mais de espessura; ou
 2. É um horizonte Ap que, quando misturado até uma profundidade de 25 cm, tem um teor de carbono orgânico (em peso) de:
 - a. CO ≥ 16% se a fração mineral contém 60% ou mais de argila; ou
 - b. CO ≥ 8% se a fração mineral não contém argila; ou
 - c. CO ≥ 8% + (porcentagem de argila dividida por 7,5) se a fração mineral contém menos de 60% de argila.
- **Histic** – é uma camada saturada com água por 30 dias ou mais (cumulativo) em anos normais, ou drenada artificialmente que atende a um dos critérios abaixo:
 1. Consiste em material orgânico do solo que:
 - a. Tem 20 a 60 cm de espessura e contém 75% ou mais (em volume) de fibras *Sphagnum* ou tem uma densidade aparente, úmida, inferior a 0,1 g.cm⁻³; ou
 - b. Tem 20 a 40 cm de espessura; ou
 2. É um horizonte Ap que, quando misturado a uma profundidade de 25 cm, tem um teor de carbono orgânico (em peso) de:
 - a. CO ≥ 16% se a fração mineral contém 60% ou mais de argila; ou
 - b. CO ≥ 8% se a fração mineral não contém argila; ou
 - c. CO ≥ 8% + (porcentagem de argila dividida por 7,5) se a fração mineral contém menos de 60% de argila.

A maioria dos *epipedons folistic* e *histic* consiste em material orgânico do solo. Porém, o item 2 em cada definição fornece um *epipedon* que consiste em material mineral do solo (horizonte Ap). Ainda, um *epipedon histic* que consiste em material mineral do solo também pode fazer parte de um *epipedon mollic* ou *umbric* (United States, 2014).

Em síntese, os três sistemas separam os horizontes orgânicos diagnósticos de acordo com o regime hídrico e drenagem do solo, com algumas diferenças nas definições. No SiBCS e ST o limite estabelecido para separação considera 30 dias cumulativos enquanto no WRB são 30 dias consecutivos. Dentre os três sistemas, o WRB apresenta uma definição mais sucinta para os horizontes orgânicos: ambos, *follic* e *histic* devem ser formados por material orgânico e apresentar espessura mínima de 10 cm. No ST, os *epipedons folistic* e *histic* são subdivididos entre aqueles formados por material orgânico e material mineral (de acordo com definições do próprio sistema). Ambos podem estar dentro de um horizonte Ap, dependendo da quantidade de C.Org. em relação à quantidade de argila. Dentre os formados por material orgânico, o sistema apresenta critérios específicos para solos com alto teor de fibras de *Sphagnum* spp. ou densidade do solo ≤ 0,1 g cm⁻³. Com relação ao SiBCS, os dois tipos de horizontes orgânicos,

em condição de drenagem livre (O hístico) e sob condições de excesso de água (H hístico), apresentam os mesmos critérios de C.Org e espessura.

2.5.3 Definição e estruturação das classes de solos orgânicos

No SiBCS, os solos orgânicos são classificados como Organossolos (do latim *organicus*, “pertinente ou próprio dos compostos de carbono”; conotativo de solos com maior expressão da constituição orgânica (Santos et al., 2018). A base para sua classificação no 1º nível categórico é a preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos sobre os dos constituintes minerais e o critério para classificação é o desenvolvimento de horizonte hístico em condições de saturação por água, permanente ou periódica (H hístico), ou saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso (O hístico). Além de serem formados por material orgânico (C.Org. \geq 8%), esses horizontes devem atender a critérios de espessura mínima para a identificação da classe, que variam entre 20 e 60 cm (Fig. 3). Em nível de subordem (2º nível categórico), o SiBCS diferencia os Organossolos em três classes (Fólicos, Tiomórficos e Háplicos), de acordo com o ambiente de formação. Dentre essas classes, os Organossolos Fólicos se diferenciam por não serem condicionados a ambientes hidromórficos, apresentando condições de boa drenagem. Ocorrem em ambientes de montanha, os chamados de ambientes altomontanos, caracterizados pelo clima frio, úmido, e vegetação característica. Nessas condições, as baixas temperaturas e elevada acidez do solo favorecem o acúmulo de matéria orgânica (resíduos vegetais) por reduzirem a atividade biológica (Santos et al., 2018).

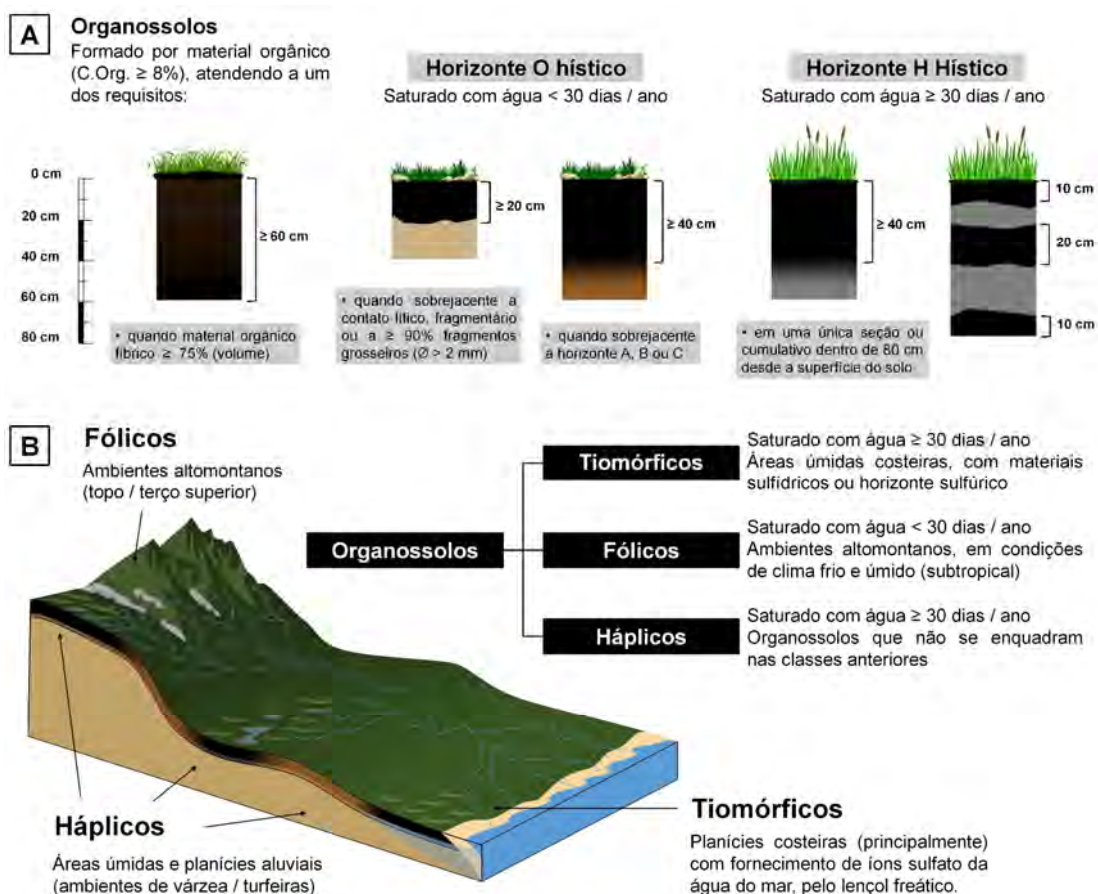


Figura 3. Síntese dos critérios de classificação dos Organossolos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). (A) Horizontes diagnósticos de constituição orgânica. (B) Subordens de acordo com os ambientes de formação. Elaborado pelo autor.

No 3º nível categórico (grande grupo), todas as subordens dos Organossolos são divididas em classes de acordo com o grau de decomposição do material orgânico: fíbrico, hêmico ou sáprico. O material orgânico fíbrico é constituído de fibras, facilmente identificáveis como de origem vegetal e usualmente classificado na escala de decomposição de von Post nas classes 1 a 4. De forma contrária, o material orgânico sáprico representa o estágio mais avançado de decomposição, com menor teor de fibras, a mais alta densidade e a mais baixa capacidade de retenção de água no estado de saturação, dentre os três tipos de materiais orgânicos, sendo usualmente classificado na escala de decomposição de von Post na classe 7 ou mais alta. Quando não satisfaz aos requisitos para fíbrico ou sáprico, o material orgânico é classificado como hêmico, que corresponde a um material parcialmente alterado por ação física e bioquímica. Testes para caracterização de Organossolos, segundo Lynn et al. (1974) descritos no SiBCS são utilizados para essa finalidade. Informações adicionais a respeito de métodos para solos com altos teores de matéria orgânica são apresentadas em Fontana et al. (2017).

Em nível de subgrupo (4º nível categórico), a classificação no SiBCS pode ter como base características: (1) intermediárias para outras ordens, subordens ou grande grupos; (2) especiais ou extraordinárias, isto é, que possam indicar variação do conceito central da classe ou (3) típicas, que representam o conceito central da classe (Anjos et al., 2012). Na Tabela 1 são relacionados os subgrupos encontrados na classificação dos Organossolos no 4º nível categórico, de acordo com a subordem. Para o 5º nível categórico (família), em fase de validação, o SiBCS sugere a utilização de distinções quanto à natureza e textura do material subjacente ao material orgânico, a presença de galhos e partes de troncos de árvores no perfil de solo ou ainda a ocorrência de espessas camadas de material orgânico (> 100 cm). No 6º nível (série) sugere-se, principalmente, considerar espessura, classes de grau de decomposição e teor de fibras dos horizontes e/ou camadas orgânicas, presença do lençol freático em relação à superfície do solo, profundidade de ocorrência e espessura do substrato mineral na seção de controle da classe e abundância de ocorrência de partes ou fragmentos (> 2 cm) de vegetais (Santos et al., 2018).

Tabela 1. Nomenclatura utilizada no 4º nível categórico dos Organossolos no SiBCS. OO – Organossolos Fólicos, OJ – Organossolos Tiomórficos, OX – Organossolos Háplicos.

Subordem	Nomenclatura	Característica associada
OO	cambissólico	B incipiente ou características de desenvolvimento incipiente
	fragmentário	Contato lítico fragmentário < 50 cm da superfície
	lítico	Contato lítico < 50 cm da superfície
	típico	Conceito central da classe
OJ	salino	Caráter salino
	solódico	Caráter solódico
	térrico	Material mineral (A, Bg ou Cg) dentro de 100 cm da superfície
	típico	Conceito central da classe
OX	carbonático	Caráter carbonático
	sálico	Caráter sálico
	salino	Caráter salino
	sódico	Caráter sódico
	solódico	Caráter solódico
	térrico	Material mineral (A, Bg ou Cg) dentro de 100 cm da superfície
	típico	Conceito central da classe

No WRB (IUSS Working Group WRB, 2015), os solos orgânicos correspondem ao Grupo de Solos de Referência (GSR) dos *Histosols*, no nível hierárquico mais elevado. No segundo nível, as classes diferenciam-se por processos de formação secundários ou características relevantes para o uso do solo, sendo composto pelo nome do GSR combinado com um conjunto de qualificadores principais e complementares (Tab. 2). Os *Histosols* compreendem solos formados por material orgânico acumulado em condições úmidas ou secas (com ou sem saturação com água). Devido às características do sistema, que se propõe como padrão de referência internacional para classificação e correlação de solos, o GSR dos *Histosols* inclui desde solos desenvolvidos a partir de turfa nas regiões árticas, subárticas e boreais, turfa de *Sphagnum* spp., turfa de florestas em regiões temperadas até turfa de mangue e turfa de florestas pantanosas nos trópicos úmidos (IUSS Working Group WRB, 2015).

Tabela 2. Informações da Chave do Grupo de Solos de Referência dos *Histosols* (IUSS Working Group WRB, 2015).

Chave para os grupos de solos de referência	Qualificadores principais	Qualificadores suplementares
Solos com material orgânico:	Muusic/Rockic/Mawic	Alcalic
1. começando na superfície do solo e tendo espessura ≥ 10 cm e diretamente sobrejacente:	Cryic	Dolomitic/Calcaric
	Thionic	Fluvic
	Folic	Gelic
	Floatic/Subaquatic/Tidalic	Hyperorganic
	Fibric/Hemic/Sapric	Isolatic
a. gelo, ou	Leptic	Lignic
b. rocha contínua ou <i>technic hard material</i> ¹ , ou	Murshic/Drainic	Limnic
c. fragmentos grosseiros, cujos interstícios são preenchidos com material orgânico;	Ombic/Rheic	Magnesic
	Hyperskeletal/Skeletal	Mineralic
	Andic	Novic
	Vitric	Ornithic
ou	Calcic	Petrogleyic
	Dystric/Eutric	Placic
2. começando ≤ 40 cm da superfície do solo e tendo dentro de ≤ 100 cm da superfície do solo uma espessura contínua ou cumulativa de:		Relocatic
		Salic
		Sodic
		Sulfidic
		Technic
		Tephric
a. ≥ 60 cm, se $\geq 75\%$ (em volume) do material consiste em fibras de musgo; ou		Toxic
b. ≥ 40 cm em outros materiais.		Transportic
		Turbic

1. material consolidado e relativamente contínuo resultante de um processo industrial.

No Soil Taxonomy, os solos orgânicos também são identificados no 1º nível categórico na ordem dos *Histosols*. O termo *Histosol* foi usado pela primeira vez nesse sistema de classificação, para se referir a solos de turfa (United States, 1960). Em síntese, para que um solo seja classificado como *Histosol*, deve ser formado por materiais orgânicos sem *permafrost* a menos de 1 m da superfície, não apresentar propriedades ândicas em $\geq 60\%$ dos primeiros 60 cm a partir da superfície e atender a determinados critérios de espessura: $\geq 2/3$ da espessura total do solo sobre um contato *densic*, *lithic* ou *paralithic* e horizontes minerais se presentes, com espessura ≤ 10 cm; ≥ 60 cm se $> 3/4$ de seu volume consistir em fibras de musgo ou se a $D_s < 0,1$ g cm⁻³; ≥ 40 cm se constituído de material orgânico (sáprico, hêmicos ou fíbrico) com

< 3/4 (em volume) de fibras de musgo e $D_s \geq 0,1 \text{ g cm}^{-3}$. No ST, solos orgânicos podem estar enterrados por até 40 cm de materiais minerais e ainda serem classificados como *Histosols*.

Nas definições das subordens (2º nível categórico), a ênfase é colocada na drenagem do solo (*Folists*), submersão permanente (*Wassists*) e no grau de decomposição do material orgânico (*Fibrists*, *Hemists* ou *Saprists*). As cinco subordens são:

1. *Folists* – Histosols com drenagem livre (saturados com água < 30 dias);
2. *Wassists* – Histosols permanentemente submersos;
3. *Fibrists* – Histosols saturados com água ≥ 30 dias, com material orgânico fíbrico;
4. *Hemists* – Histosols saturados com água ≥ 30 dias, com material orgânico hêmico;
5. *Saprists* – Histosols saturados com água ≥ 30 dias, com material orgânico sáprico.

O 3º nível (grande grupo), reflete uma combinação de propriedades importantes, incluindo o regime de temperatura e umidade do solo, a presença de horizonte sulfúrico (altamente ácido devido à oxidação e produção de ácido sulfúrico) ou materiais sulfídricos (compostos de enxofre oxidáveis, que produzem ácido sulfúrico), bem como a presença de material humilúvico (húmus iluviado); e o domínio do *Sphagnum* (com sua capacidade única de retenção de água) como fonte de material orgânico. Além disso, os grandes grupos dos *Wassists* são separados com base na inundação por água doce, salobra ou salgada. No 4º nível (subgrupo) são utilizadas características como espessura dos horizontes orgânicos (*terric x typic*), presença de materiais subjacentes ou especiais (ex. *limnic*) e características intermediárias para outros grande-grupos (*cryic* e *sphagnic*). Finalmente, no 5º nível (família), as classes são separadas de acordo com a textura e mineralogia (no caso dos subgrupos *terric* e ou para aqueles que contêm *limnic materials*), valores de pH em CaCl_2 , regime de temperatura e profundidade do solo (usado apenas se profundidade < 50 cm) (United States, 2014).

2.6 FORMAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS

A formação de solos orgânicos ocorre porque a produção de biomassa das plantas excede a decomposição, devido às fortes condições limitantes da atividade de microrganismos. Isso inclui condições permanentes (ou quase permanentes) de saturação com água (baixa disponibilidade de oxigênio), baixas temperaturas, elevada precipitação pluviométrica e várias propriedades físico-químicas, como baixo teor de nutrientes ou pH baixo (Martini et al., 2006). A vegetação das turfeiras é tipicamente composta de musgos e plantas altamente eficientes na captação e preservação de nutrientes. Algumas investigações sugerem que esse esgotamento ativo de nutrientes pela vegetação ajuda a criar um ambiente altamente ácido, o que impede a colonização por espécies vegetais mais exigentes (Chesworth et al., 2006).

Existem diversas classificações para as turfeiras, em sua grande maioria para os depósitos existentes nos países de clima temperado do Hemisfério Norte, baseadas em critérios diversos: botânicos (turfeiras de florestas ou lenhosas, herbáceas e mistas), geográficos (parâlicas e límnicas), no grau de decomposição das turfas geradas (turfeiras não-humificadas ou de musgos, e turfeiras humificadas ou combustíveis), etc. (Franchi et al., 2006). As tipologias descritas aqui são as apropriadas para a discussão no restante do documento. De acordo com Joosten e Clarke (2002), historicamente, as turfeiras foram distinguidas com base em sua situação e características após o uso da terra, levando à identificação de:

- **Bogs** – turfeiras elevadas acima da paisagem circundante. Após a extração de turfa, que normalmente era realizada em condições secas após a drenagem, um subsolo mineral adequado para a agricultura permanecia frequentemente.
- **Fens** – turfeiras situadas em depressões. Após a extração de turfa, realizada por dragagem, observa-se permanência de água.

Do ponto de vista geoquímico e hidrológico, as turfeiras são classificadas como minerotróficas e ombrotróficas (Martini et al., 2006; Chesworth et al., 2006):

- **Mineralotróficas** (celta *mine* = mineral; grego *trophé* = nutrição, alimento) são formadas sob influência de águas provenientes dos limites externos à bacia de acumulação e/ou subterrâneas. Como recebem solutos da área em torno (adição de minerais ferromagnesianos, óxidos e/ou hidróxidos etc.) a hidrólise de minerais adicionados influenciará o pH.
- **Ombrotróficas** (grego *ómbros* = chuva) não são influenciadas pelas águas subterrâneas locais (lençol freático), somente por fontes atmosféricas (chuva e/ou neve). A vegetação viva e em decomposição domina o ambiente, e o pH é determinado basicamente pela dissociação de grupos funcionais carboxílicos na matéria orgânica morta.

Quando uma turfeira começa a se formar de forma ombrotrófica, no topo de uma colina por exemplo, o processo de formação é chamado de paludização/paludificação (Charman, 2002; Kroetsch et al., 2011), e a turfeira é considerada ombrogênica (Fig. 4). Por outro lado, se as águas de escoamento e subsuperficiais estão envolvidas em sua hidrologia desde o início de sua formação (em bacias ou vales, por exemplo), a turfeira é considerada minerogênica e o processo é chamado de terrestriização/terrestrialização (Charman, 2002; Kroetsch et al., 2011). Em alguns casos, as turfeiras que começaram a se formar como sistema minerotrófico desenvolvem uma camada superficial ombrotrófica, devido ao intenso acúmulo de turfa e, portanto, conterà as camadas ombrotróficas e mineralotróficas (Chesworth, et al., 2006).

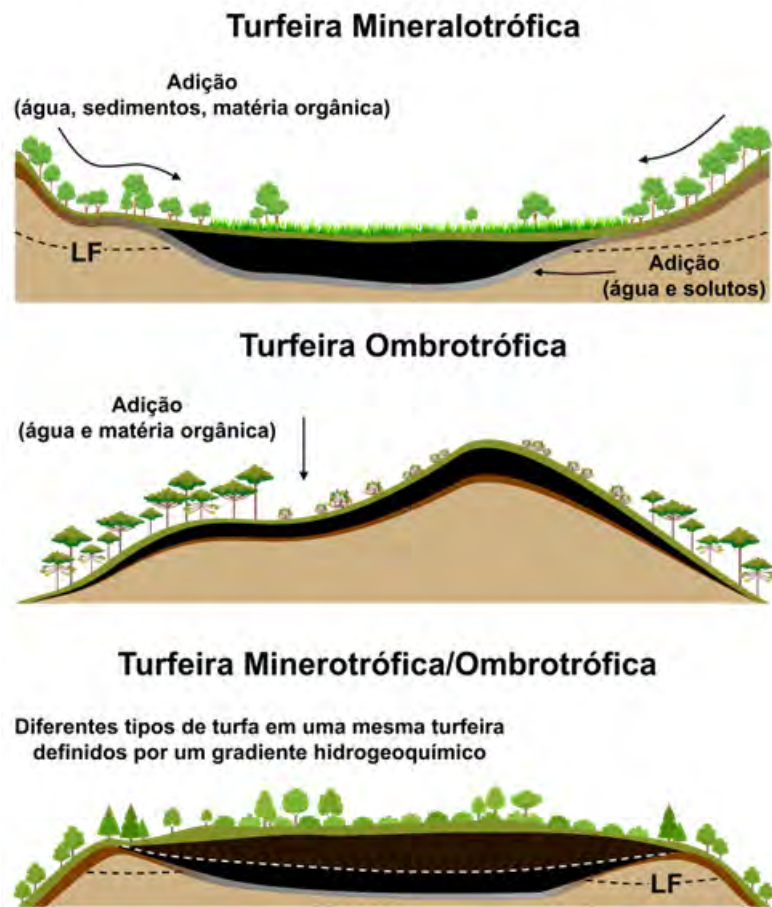


Figura 4. Tipos de turfeira de acordo com características hidrológicas e geoquímicas. Elaborado pelo autor.

2.7 MATA ATLÂNTICA E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO ALTOMONTANA NO QUATERNÁRIO TARDIO

A Mata Atlântica representa um dos mais importantes *hotspots* de biodiversidade do mundo (Myers et al., 2000) com elevado nível de endemismo (Churchill et al., 1995, Safford, 1999), mesmo sendo um dos ecossistemas (ou bioma) mais ameaçados e fragmentados (Ribeiro et al., 2009; Joly et al., 2014). Ao longo do século passado, em parte relacionado ao desenvolvimento econômico do Brasil, a Mata Atlântica foi amplamente desmatada para monoculturas de café e cana-de-açúcar (Gibbs et al. 2010). A falta de uma definição precisa da Mata Atlântica resultou em atraso nas políticas de conservação ambiental e financiamento à pesquisa (Oliveira Filho e Fontes 2000). Foi somente a partir da década de 1980 que as *Matas Atlânticas* (no plural) foram definidas pela primeira vez para incluir componentes separados ligados a diferentes fatores geográficos (Ledru et al., 2016). Hoje, alguns dos maiores fragmentos remanescentes de Mata Atlântica são encontrados na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira, nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo (Ribeiro et al., 2009).

Extremamente heterogênea em composição, a Mata Atlântica abrange uma ampla gama de formações vegetais e de clima, desde tropical a subtropical (Tabarelli et al., 2005). A altitude varia do nível do mar a 2.900 m, com mudanças abruptas no tipo e profundidade do solo (Coelho et al., 2017), na temperatura média do ar (Mantovani et al., 2003) e precipitação média anual (Oliveira Filho e Fontes 2000). Análises fitossociológicas detalhadas revelaram que uma série de formações vegetais, que incluem manguezais, restingas, floresta semidecidual, floresta de Araucária, campos rupestres, campos de altitude e brejos-de-altitude (florestas úmidas resultantes de chuvas orográficas no nordeste do Brasil) são, na verdade, a expressão de um único domínio florestal e estão intimamente ligadas entre si (Oliveira Filho e Fontes 2000).

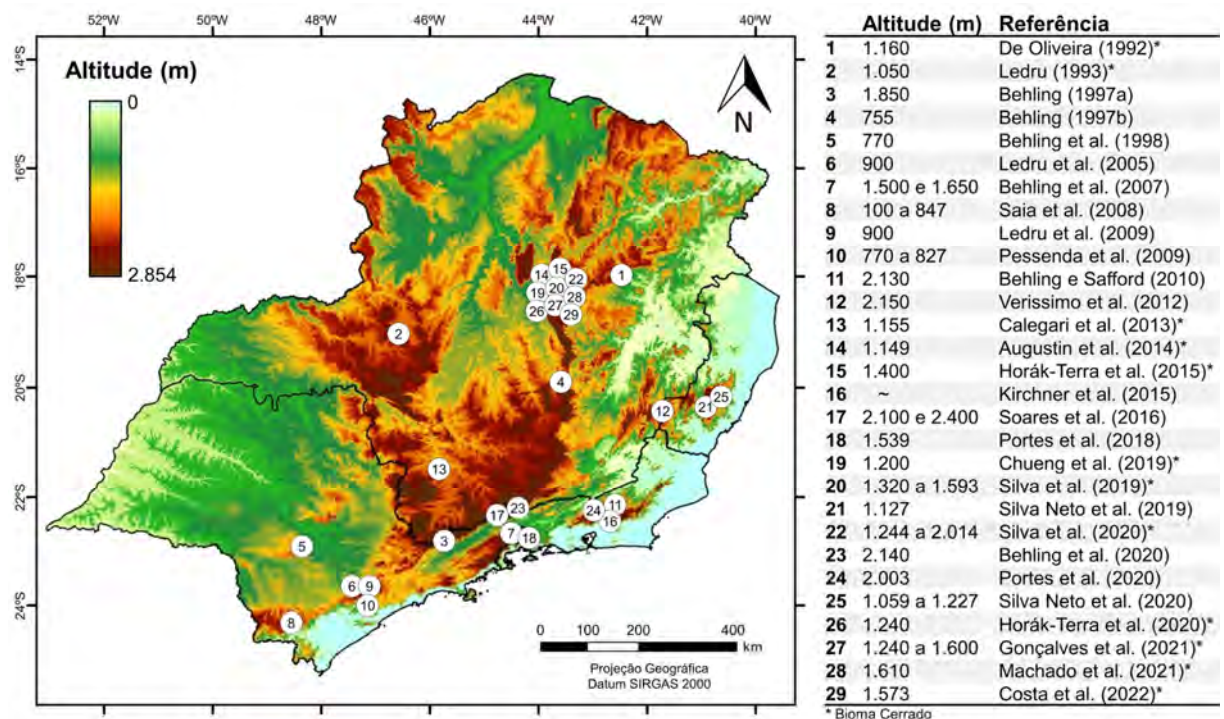


Figura 5. Síntese de estudos paleoambientais (vegetação e clima) realizados em ambientes de altitude no Sudeste do Brasil. Elaborado pelo autor.

Dentre os ecossistemas que compõem a Mata Atlântica, as florestas altomontanas e os campos de altitude se destacam devido à alta biodiversidade e número de espécies endêmicas

(Martinelli e Bandeira, 1989; Safford e Martinelli, 2000; Spehn et al., 2010). Esses ecossistemas compartilham as regiões mais altas da Serra da Mantiqueira e Serra do Mar no sudeste do Brasil, com as florestas altomontanas frequentemente ocupando as encostas côncavas e campos de altitude cobrindo topos de montanhas e encostas convexas (Safford, 1999a). Nas últimas décadas, diversos estudos paleoecológicos foram realizados nesses “ambientes altomontanos” da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil para melhor entender as tendências passadas, atuais e futuras da vegetação e do clima. Muitos deles usando proxies paleoambientais (ex. grãos de pólen e esporos, fitólitos, carvões, isótopos estáveis de carbono($\delta^{13}\text{C}$) e datação ^{14}C) encontrados em solos com altos teores de matéria orgânica. Uma síntese de alguns desses estudos é apresentada na Figura 5.

Nota-se que há um crescente número de estudos sobre a história da vegetação e do clima nas terras altas do Sudeste do Brasil, em áreas de Mata Atlântica, mas também no bioma Cerrado. De Oliveira (1992) com base na análise palinológica de um testemunho coletado em Serra Negra (1.160 m, MG) inferiu que, entre ~40.000 e ~14.000 anos A.P., as condições climáticas eram mais úmidas e frias do que as atuais no Sudeste do Brasil. Antes de ~40.000 anos A.P. uma floresta de Araucárias teria dominado extensivamente a paisagem do oeste de Minas Gerais, e possivelmente a maioria das áreas acima de 800 m no Sudeste do Brasil. Em Salitre (1.050 m, MG), Ledru (1993), observou a presença de grãos de pólen de Araucária e de outros elementos associados à Floresta Ombrófila Mista entre ~15.500 e 10.350 anos A.P., sugerindo uma diminuição na temperatura na região durante o final do Pleistoceno. Este intervalo de tempo também teria sido marcado pela diminuição na concentração de elementos arbóreos e predomínio de elementos herbáceos.

Behling (1997a), através da análise de registros palinológicos em uma turfeira no Morro de Itapeva (1.850 m, SP), identificou variações na composição da vegetação no passado, possivelmente associadas a mudanças climáticas. Durante o último período glacial (35.000 - 17.000 anos A.P.), uma expansão dos campos de altitude e ausência das formações florestais seriam indícios de um clima marcadamente mais frio e seco do que o atual. O desenvolvimento de uma turfeira de *Sphagnum*, a rara presença de indivíduos de *Araucária angustifolia* e a existência de uma estreita floresta de altitude e um cinturão de floresta tropical em altitudes mais baixas durante o período glacial tardio (17.000 - 10.000 anos A.P.) foram associados a uma mudança para climas mais frios e um pouco mais úmidos. Durante o início do Holoceno, o desenvolvimento de uma floresta altomontana próximo ao local de estudo estaria relacionado a um clima mais quente e úmido nas encostas, e a rara presença de *Araucária* e *Podocarpus* nas partes mais altas do relevo indicariam um clima mais seco. Somente durante o Holoceno tardio a umidade teria aumentado na região, condição inferida pela maior frequência de *Araucária* e *Podocarpus*.

Em outro estudo na região serrana de Catas Altas (755 m, MG), Behling (1997b) estudou evidências de condições climáticas secas e frias em períodos glaciais. Seus resultados indicaram que a última paisagem durante o período glacial era coberta por extensas áreas de campos subtropicais e pequenas áreas de matas ciliares ao longo dos rios, onde hoje existem florestas semidecíduais. O clima teria sido seco e frio com fortes geadas durante os meses de inverno. As matas de galeria subtropicais teriam sido compostas por espécies florestais como *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus*, *Drimys*, *Ilex* e *Symplocos*. Os registros também indicaram que a vegetação de campos subtropicais, que hoje é encontrada em manchas nas terras altas do sul do Brasil, se expandiu do Sul para o Sudeste do Brasil, numa distância de mais de 750 km.

Em Botucatu (770 m, SP), Behling et al. (1998) analisaram registros de pólen e carvão em sedimentos ricos em matéria orgânica que indicaram mudanças ambientais no Quaternário Tardio. Uma cobertura vegetal de campos com pequenos aglomerados de floresta subtropical, associada a condições climáticas mais frias e secas foi registrada durante o período glacial

registrado (30.000 e 18.000 anos A.P.), com ocorrência de incêndios na vegetação dos campos. Entre 18.000 e 6.000 anos A.P., uma mudança no clima teria causado a decomposição dos depósitos da era glacial e uma lacuna de sedimentação. As assembleias de pólen também indicaram o uso da terra por povos indígenas desde os últimos 2.900 anos A.P., com desmatamento e plantação de *Zea mays* e *Manihot*.

Ledru et al. (2005) estudaram um testemunho de 7,8 m com registros de variações na expansão florestal durante os últimos 100.000 anos em Colônia, na Serra do Mar (900 m, SP). Os resultados foram comparados com outros testemunhos e confirmaram que a Mata Atlântica experimentou fases de mudanças climáticas durante o Quaternário. Comparações com testemunhos de gelo da Antártida e da Groenlândia sugeriram que mudanças na temperatura caracterizadas por razões de isótopos estáveis foram relacionadas a mudanças nas taxas de umidade nos trópicos. Registros polínicos no mesmo testemunho indicaram mudanças na vegetação de floresta tropical durante fases de expansão, durante o interglacial e os episódios glaciais. *Araucaria angustifolia* tinha grande expressão até cerca de 50.000 anos A.P. (Ledru et al., 2009). Menores índices de biodiversidade foram registrados entre 23.000 e 12.000 anos A.P. e 40.000 e 30.000 anos A.P., indicando fases marcantes de estresse para a floresta tropical.

Behling et al. (2007) estudaram os registros de pólen e carvão em dois testemunhos (solo enterrado e turfeira) na Serra da Bocaina (1.500 e 1.650 m, RJ). De acordo com os autores, durante o período entre 18.570 e 14.570 anos A.P. existiam campos extensos (gramíneas) com queimadas frequentes na parte mais alta da Serra da Bocaina, que, em conjunto com outras evidências, indicam condições climáticas relativamente secas e frias para este período. Uma vegetação de floresta altomontana teria se restringido a vales protegidos ou encostas em altitudes mais baixas. A presença da conífera *Araucaria angustifolia* foi observada desde o Pleistoceno Tardio. Depósitos retrabalhados sem grãos de pólen resultados de erosão no período glacial, foram relacionados ao aumento das chuvas durante o período *Younger Dryas*. Os autores relatam que o clima foi relativamente mais seco e quente durante o Holoceno Inferior, com uma estação seca anual mais longa do que a atual, e que os táxons de floresta altomontana aumentaram durante o Holoceno (especialmente após 7.260 anos A.P.).

Saia et al. (2008) avaliaram os registros de mudanças na vegetação durante o Último Máximo Glacial em um transecto de solos no estado de São Paulo (100 – 847 m). Usando $\delta^{13}\text{C}$ e datação ^{14}C de fragmentos de carvão enterrados e da fração húmica da matéria orgânica, os autores encontraram indícios de um clima mais seco, com vegetação mais aberta que a atual (entre 20.000 e 16.000 anos A.P.). A partir de 16.000 / 14.000 anos A.P. aumenta a predominância de plantas C_3 , indicando uma expansão da floresta, provavelmente associada à presença de um clima mais úmido do que no período anterior. Seus resultados também indicaram a presença de vegetação aberta durante a glaciação tardia, provavelmente associada a um período mais seco, também observado em outras regiões do Brasil.

Pessenda et al. (2009) analisaram registros de isótopos de carbono e pólen para avaliar o impacto da glaciação na vegetação nativa da floresta tropical da Serra do Mar (SP). Os resultados indicaram que entre 28.000 e 22.000 anos A.P., uma floresta subtropical com coníferas se desenvolveu em condições mais frias e úmidas. Durante 28.000 e 19.000 anos A.P. a vegetação foi composta principalmente por plantas do ciclo fotossintético C_3 . Entre 19.450 e 19.000 anos A.P. um aumento significativo na taxa de sedimentação e esporos indicou aumento da umidade, associado a um aumento de processos erosivos (entre 19.000 e 15.600 anos A.P.). A partir de 15.600 anos A.P. foi observado um aumento substancial de elementos arbóreos e gramíneas, indicando clima mais úmido e quente.

Behling e Safford (2010) estudaram os registros de pólen e carvão em uma turfeira de campos de altitude, na Serra dos Órgãos (2.130 m, RJ). De acordo com os autores, a região mais alta foi naturalmente coberta por campos de altitude durante todo o período registrado (12.380

anos A.P.). Uma diversa floresta altomontana teria ocorrido perto da turfeira estudada no final do período glacial tardio. Foram encontradas evidências de pequenas populações de *Araucaria angustifolia* na área de estudo até o início do Holoceno, após o qual a espécie aparentemente se tornou localmente extinta. Entre 10.380 e 10.170 anos A.P., houve uma redução dos campos de altitude paralela a uma expansão de floresta altomontana para altitudes mais elevadas, refletindo um período mais úmido e quente (temperaturas mais altas que as atuais) no final do *Younger Dryas*. Durante o Holoceno Inferior o clima teria sido mais seco, provavelmente com uma estação seca relativamente longa. Os campos de altitude se expandiram e a floresta altomontana recuou, voltando a se expandir até atingir configurações semelhantes às atuais, por volta de 5.640 anos A.P., quando o clima se tornou mais úmido, com estações secas mais curtas. Os autores também indicam que a frequência de incêndios foi alta durante o Holoceno Inferior, mas diminuiu acentuadamente a partir de 7.850 anos A.P.

Verissimo et al. (2012) fizeram uma reconstituição da vegetação holocênica e história de incêndios da Serra do Caparaó (2.150 m, ES) com base na análise de pólen e carvão vegetal. Os autores relatam que os campos de altitude têm sido a vegetação dominante durante todo o período registrado (a partir de 11.400 anos A.P.). No Holoceno Inferior (11.400 a 9.000 anos A.P.), uma fase úmida foi seguida por uma mais seca. Entre 9.000 e 2.700 anos A.P., um aumento gradual na diversidade e abundância de táxons da Mata Atlântica indicou um aumento na umidade e/ou precipitação. Entre 2.700 e 1.200 anos A.P., a expansão da floresta parou e aparentemente foi revertida após 1.200 anos A.P., possivelmente devido a atividades humanas. Simultaneamente, os campos de altitude teriam se expandido - variações abruptas nas assembleias de pólen sugerem instabilidade ambiental. Os autores concluíram que os campos de altitude são uma vegetação natural da Serra do Caparaó, mas sua extensão atual foi provavelmente influenciada por atividades antrópicas, pois os resultados encontrados sugerem um aumento da umidade após 1.200 anos A.P., o que deveria ter causado uma expansão florestal. A redução da perturbação humana em altitudes mais altas provavelmente resultaria na sucessão da floresta em alguns dos campos mais baixos.

Calegari et al. (2013) utilizaram fitólitos e $\delta^{13}\text{C}$ para estudar mudanças ambientais holocênicas em um Latossolo com horizonte A húmico em Machado, Sul de Minas Gerais (1.155 m, MG). Três zonas fitolíticas (seções) foram identificadas, indicando mudanças na vegetação: Zona I (~12.131 e ~6.103 anos A.P.), vegetação aberta com gramíneas C_3 e elementos arbóreos, associada a um clima mais seco do que o atual, com fitólitos de *Araucária* registrados no topo da zona (~6.000 anos A.P.) indicando aumento de elementos arbóreos na cobertura vegetal; Zona II (~6.000 anos A.P.), aumento da cobertura arbórea, incluindo *Araucariaceae* e *Arecaceae* (palmeiras), relacionado a condições climáticas mais úmidas; e Zona III (~180 anos A.P.), representando a vegetação atual, um ecótono de Floresta Tropical Subperenifólia e Cerrado, com ocorrência de incêndios indicada por fragmentos de carvão e fitólitos carbonizados.

Augustin et al. (2014) encontraram indícios de mudanças paleoambientais estudando processos geomórficos na Serra do Espinhaço (1.149 m, MG). Usando fitólitos e isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C), os autores encontraram indícios de condições ambientais mais úmidas, com vegetação menos aberta e predomínio de plantas C_3 entre 10.506-10.230 anos A.P. e 5.919-5.152 anos A.P., nos horizontes mais profundos dos solos estudados. Além disso, a grande quantidade de fitólitos quebrados/intemperizados permitiu inferir que neste período os processos erosivos também foram muito pronunciados, devido aos maiores níveis de energia decorrentes da presença de água corrente mais superficial no ambiente. Em estudo semelhante na Serra do Espinhaço, usando fitólitos e isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C), Chueng et al. (2019) relatam a predominância de vegetação tipo Cerrado desde cerca de 6.000 anos A.P., com algumas variações na presença de espécies lenhosas nas áreas estudadas.

Horák-Terra et al. (2015) investigaram um testemunho de turfa na Serra do Espinhaço Meridional, bioma Cerrado (1.400 m, MG), usando uma abordagem *multiproxy* para identificar mudanças ambientais holocênicas. Os autores descreveram seis fases distintas: Fase I (~10.000 e 7.360 anos A.P.), clima mais úmido e frio, com grande erosão local; Fase II (~7.360 e 4.200 anos A.P.), clima quente e úmido e menor erosão do solo; Fase III (~4.200 e 2.200 anos A.P.), clima seco e quente, com novo aumento da erosão do solo; Fase IV (~2.200 e 1.160 anos A.P.), clima mais seco; Fase V (~1.160 e 400 anos A.P.), condições semelhantes ao clima com maior acúmulo de turfa; e Fase VI (últimos 400 anos A.P.) mesmas condições climáticas, porém com aumento da erosão local e regional. Em outro estudo na Serra do Espinhaço, Hórák-Terra et al. (2020) estudaram os fatores que influenciaram a expansão e contração do Cerrado e Capões (pequenas ilhas de vegetação de floresta semidecidual) desde o Quaternário Tardio. Neste estudo, cinco mudanças ambientais foram identificadas: Fase I (~35.000 a ~29.600 anos A.P.) clima seco e quente com eventos de resfriamento e certa instabilidade da paisagem; Fase II (~29.600 a ~16.900 anos A.P.), clima mais frio e úmido, com reduzida instabilidade da paisagem; Fase III (~16.900 a ~6.100 anos A.P.), condições semelhantes à fase anterior, porém com aumento da umidade; Fase IV (~6.100 a ~3.100 anos A.P.), clima mais seco e quente; e Fase V (desde ~3.100 anos A.P.), clima seco e quente a sub-úmido.

Kirchner et al. (2015) investigaram sedimentos fluviais do Holoceno Médio a Superior, na bacia do Rio Guapi-Macacu (RJ). Usando métodos estratigráficos, sedimentológicos e geocronológicos, os autores encontraram que entre 6.600 e 4.700 anos A.P. prevaleceram nesta região uma dinâmica fluvial reduzida e estabilidade geomórfica, seguida por um período de atividade geomórfica, indicado pelo aumento da dinâmica fluvial a partir desta data. Essa mudança ambiental foi relacionada ao início das condições climáticas úmidas quase modernas no sudeste do Brasil durante a transição do Holoceno Médio / Superior. Um novo período de maior atividade foi registrado a partir de 290 anos A.P., ligado ao início da colonização europeia, quando grandes áreas de Mata Atlântica foram convertidas em terras agrícolas e pastagens, causando forte erosão do solo e desestabilização de encostas. Os autores destacam ainda que, sob determinadas condições climáticas e ambientais, mesmo uma cobertura florestal fechada não resulta necessariamente em estabilidade geomórfica.

Soares et al. (2016) caracterizaram solos orgânicos em campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia (2.100 / 2.400 m, RJ), buscando evidências de mudanças na vegetação. As propriedades morfológicas, grau de transformação e fracionamento químico da matéria orgânica e análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ mostraram diferentes fontes de material orgânico. Nas áreas de solos hidromórficos, foram identificadas contribuições de algas e depleção de $\delta^{13}\text{C}$, sugerindo uma mistura de plantas C_3 e C_4 (3.280 anos A.P.). Nas partes mais altas do relevo, RJ-02 mostrou influência de plantas do ciclo de C_3 (2.005 anos A.P.).

Portes et al. (2018) analisaram os registros de pólen e carvão em um testemunho coletado em área pantanosa na Serra da Bocaina (1.539 m, RJ) com o objetivo de avaliar a influência humana (civilizações ameríndia/pré-colombiana e europeia/pós-colombiana) e do clima na dinâmica da vegetação. Os resultados do estudo destacaram a interrelação das mudanças climáticas regionais e das ações humanas locais “moldando” o mosaico de vegetação floresta-campo do Holoceno Superior na Serra da Bocaina. Os ameríndios teriam mantido habitats mais abertos nas terras altas, provavelmente através da agricultura de corte e queima. O despovoamento da região de estudo após a chegada dos europeus em 1.500 e o aumento da precipitação teriam levado a uma recuperação acentuada e rápida da cobertura florestal. Após o ano 1.720, o estabelecimento de comunidades europeias permanentes e agricultura na área de estudo teria levado à perda de floresta e a uma expansão renovada de pastagens.

Silva Neto et al. (2019; 2020) estudaram os registros paleoambientais em perfis de solos na região serrana do Espírito Santo (1.059 - 1.227 m, ES). Através de uma análise *multiproxy*

os autores concluíram que os solos estudados passaram por diferentes condições ambientais associadas a momentos climáticos distintos durante o Holoceno Superior: Fase I (antes de - 2.330 anos A.P.), clima mais quente e seco que o atual; Fase II (entre 2.330 e 2.063 anos A.P.), clima mais frio e úmido que o período atual; Fase III (a partir de 2.063 anos A.P.) transição para as condições climáticas atuais. Os autores concluíram que os solos estudados passaram por diferentes fases de pedogênese durante o Holoceno Superior, sendo, portanto, considerados solos poligenéticos.

Silva et al. (2019), estudando turfeiras em diferentes altitudes na Serra do Espinhaço Meridional (1.320 a 1.593 m, MG), encontraram diferenças na cobertura vegetal atual, composição da matéria orgânica do solo e valores de $\delta^{13}\text{C}$. A sucessão cronológica de campos e formações florestais nas turfeiras de montanha tropical foi influenciada pela altitude e foi relacionada a mudanças paleoclimáticas. Em outro estudo na mesma região, Silva et al. (2020) determinaram a idade da matéria orgânica basal de dezoito testemunhos coletados em turfeiras (1.244 a 2.014 m, MG), buscando correlacionar as datações (^{14}C) com a altitude e identificar os fatores ambientais que atuaram na formação das turfeiras. Os resultados mostraram que as turfeiras situadas abaixo de 1.370 m teriam começado a se formar no Pleistoceno Superior, enquanto aquelas situadas entre 1.580 e 1.610 m teriam começado a se formar no Holoceno Inferior e Médio, e aqueles situados entre 1.760 e 2.014 m teriam começado sua formação no Holoceno Superior. No hemisfério sul, as temperaturas médias teriam sido 9°C mais baixas do que as temperaturas médias atuais entre 22.000 e 18.000 anos A.P., de 2 a 5 °C mais baixas entre 18.000 e 12.000 anos A.P., e, entre 12.000 e 8.800 anos A.P., as temperaturas médias variaram de +2 a -1 °C em relação às temperaturas médias atuais.

Portes et al. (2020) estudaram um testemunho coletado em turfeira em área de campos de altitude no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (2.003 m, RJ). Os autores encontraram que de 9.840 a 4.480 anos A.P., os campos de altitude eram a vegetação dominante no local, indicando que o clima era relativamente frio e seco. No entanto, os dados de pólen documentaram que uma floresta de altitude se desenvolveu próximo ao local durante todo o Holoceno. Incêndios de alta magnitude relativamente frequentes teriam ocorrido durante o Holoceno Inferior, e se tornaram mais raros no Holoceno Médio após 4.480 anos A.P., quando o clima se tornou mais úmido. No Holoceno Médio, os táxons florestais e samambaias tornaram-se um pouco mais frequentes no local, mas a vegetação de campos de altitude continuou a dominar a maior parte da paisagem de altomontana. Uma mudança climática para condições mais úmidas e quentes durante os últimos 1.350 anos A.P. foi evidenciada por um aumento de indivíduos de floresta de altitude e mesmo táxons florestais de várzea, bem como a quase completa ausência de fogo após esta data.

Behling et al. (2020) estudaram os registros de pólen e carvão em testemunho sedimentar coletado próximo às Agulhas Negras no Parque Nacional do Itatiaia (2.140 m, RJ). Os autores relataram que campos de altitude com pequenas áreas de floresta altomontana e incêndios periódicos dominaram a paisagem durante o período dos últimos 7.430 anos A.P., com indivíduos de *Araucaria angustifolia* somente após 4.200 anos A.P. na Serra do Itatiaia. As áreas de floresta teriam se expandido após 4.870 anos cal AP, refletindo uma transição para condições climáticas mais úmidas do Holoceno Superior. Entre 4.450 e 4.000 anos A.P., incêndios podem ter reduzido acentuadamente a cobertura florestal. Durante o período entre 1.960 e 530 anos A.P. não foram encontrados registros de incêndios locais e a área de floresta expandiu-se continuamente, sendo interrompida após 530 anos A.P., quando incêndios locais se tornaram mais comuns. Os autores sugerem que esse aumento dos incêndios pode ter limitado a expansão da floresta sob as condições climáticas úmidas dos últimos 600 anos, e que durante este período, *Araucaria angustifolia* tornou-se mais frequente nas florestas de altitude.

Gonçalves (2021) estudou a dinâmica evolutiva de Capões (pequenas ilhas de vegetação de floresta semidecidual) associados a ecossistemas de turfeiras, na Serra do Espinhaço Meridional (1.240 a 1.600 m, MG). Datações (^{14}C) da matéria orgânica do solo mostraram que essas formações florestais provavelmente começaram a surgir a partir do Pleistoceno (33.265 anos A.P.) e se estabeleceram com maior frequência ao longo do Holoceno. Mudanças no sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram aumentos ocasionais de plantas C_4 e CAM, provavelmente associadas à sucessão ecológica e aos ciclos de oscilações climáticas na região ao longo do Quaternário. O estudo concluiu que os Capões talvez não sejam uma vegetação relictual como tem sido proposto por outros estudos, mas representem na verdade a existência de períodos com condições de umidade e formação de solos de maior profundidade, pelo menos nas linhas de drenagem dos cursos d'água ao longo dos contatos líticos entre os blocos de relevo.

Machado et al. (2021) investigaram proxies paleoambientais em um testemunho coletado em turfeira na Serra do Espinhaço Meridional (1.610 m, MG). Usando uma abordagem *multi-proxy*, os autores inferiram 4 períodos de oscilações ambientais: Período 1 (23.300 a 13.500 anos A.P.), com baixo índice de densidade arbórea (D/P) e vegetação semelhante à atual; Período 2 (13.500 a 11.700 anos A.P.), com uma pequena expansão da vegetação arbórea e um aumento da temperatura em relação à fase anterior; Período 3 (11.700 a 10.000 anos A.P.), clima um pouco mais frio e seco que o período anterior, associado ao *Younger Dryas*; e Período 4 (10.000 anos A.P. até o presente), sem mudanças na cobertura vegetal, com uma tendência de aumento gradual da temperatura. Costa et al. (2022) identificaram cinco fases de mudanças paleoambientais: Fase I (8.900 a 6.600 anos A.P.), ambiente frio, muito úmido e com maior incidência de erosão; Fase II (6.600 a 3.900 anos A.P.), ambiente mais frio e com menor umidade; Fase III (3.900 a 2.100 anos A.P.), mais quente e seco em relação à fase anterior, com episódio de diminuição de temperatura e aumento de umidade no meio da fase; Fase IV (2.100 a 250 anos A.P.), clima mais frio e com aumento da umidade em relação à fase anterior; e Fase V (250 anos A.P. até o presente), aumento da temperatura, diminuição da umidade e aumento da instabilidade na bacia, possivelmente relacionada a ações antrópicas.

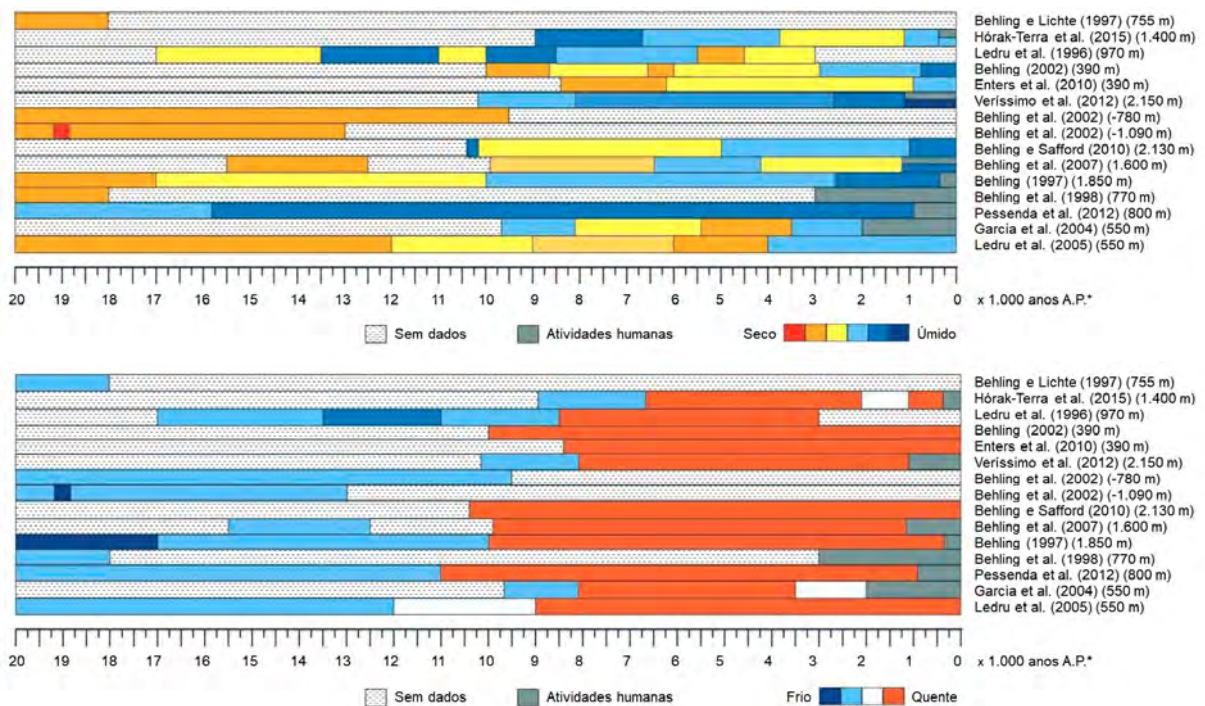


Figura 6. Resumo da variabilidade do balanço hídrico, temperatura e do impacto de atividades humanas no Sudeste do Brasil. Fonte: Pieruschka e Ledru (2016).

Em revisão sobre a dinâmica pretérita da vegetação da Mata Atlântica, Pieruschka e Ledru (2016) apresentaram uma síntese de mudanças no balanço hídrico e na temperatura mostradas em estudos paleoecológicos realizados em diferentes locais no Sudeste do Brasil (Fig. 6). Nota-se uma tendência de mudança para condições mais úmidas e quentes entre o final do período glacial e o início do Holoceno (~11.500 anos A.P.). Durante o Holoceno, ou seja, o período interglacial presente, a estabilidade dos ecossistemas florestais tem sido afetada por mudanças bruscas de sazonalidade. Interpretações de carvão vegetal de diferentes registros paleoambientais indicam alteração antrópica, no bioma Mata Atlântica, durante os últimos milênios (Pieruschka e Ledru, 2016).

Considerando um cenário futuro de aquecimento global, espécies florestais atlânticas podem provavelmente reduzir sua área de ocorrência e se deslocar para regiões mais ao sul do país (Pieruschka e Behling, 2012). Nas terras altas do Sudeste do Brasil, onde hoje prevalecem os campos de altitude, a vegetação aberta poderá ser suprimida pela migração e expansão da Mata Atlântica em direção às maiores elevações (Behling e Safford, 2010). Assim, é possível concluir que as mudanças climáticas atuais vão desempenhar um papel crucial na dinâmica das florestas altomontanas e dos campos de altitude, ecossistemas na região Sudeste do Brasil.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da grande relevância ambiental, os solos orgânicos são importantes arquivos naturais para a compreensão do passado por meio da reconstituição paleoambiental, fornecendo dados para inferências sobre o clima e a vegetação do passado e tendências futuras diante das mudanças climáticas, que já estão ocorrendo. Possuem grande relevância na regulação do clima, armazenamento de água, manutenção da biodiversidade. Assim, a preservação de ecossistemas com solos orgânicos implica na preservação de inúmeras possibilidades de vida, água e segurança alimentar.

O desafio das pesquisas que ampliam o conhecimento desses solos é transformar dados científicos em ferramentas para tomada de decisão, informações para planejamento territorial e políticas públicas. Uma das maiores ameaças dos ecossistemas associados a esses solos são as formas de uso do solo inadequadas e as mudanças climáticas, que desequilibram a dinâmica natural desses solos que levaram milhares de anos para se formarem e podem ser destruídos em poucas décadas. A singularidade dos ecossistemas onde ocorrem os solos orgânicos proporciona uma rica biodiversidade, com a coexistência de espécies que vão além da classificação da fitogeografia e da ecologia.

3 CAPÍTULO II

ORGANIC SOILS WITH ANDIC PROPERTIES IN HIGHLANDS OF SOUTHEASTERN BRAZIL: FORMATION, CLASSIFICATION, AND RELATIONS TO VEGETATION HISTORY

3.1 RESUMO

O estudo busca contribuir para o entendimento da gênese de solos orgânicos não hidromórficos em ambientes altomontanos na região Sudeste do Brasil. São apresentadas e discutidas as características morfológicas, físicas e químicas de 14 perfis de solos, coletados na região da Serra da Mantiqueira, no Sudeste do Brasil. As seguintes hipóteses foram levantadas: (i) a formação de solos orgânicos em condições de drenagem livre, está relacionada com a história da vegetação e variações das condições climáticas no passado; (ii) o clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região Sudeste do Brasil resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos). O objetivo geral foi propor um esquema geral de formação desses solos, com base no entendimento da relação solo-paisagem e na reconstituição da história da vegetação. Quanto a primeira hipótese, com base nos registros de fitólitos, $\delta^{13}\text{C}$, estoques de carbono derivados de plantas C_3 e C_4 , e datações ^{14}C foi possível inferir 4 momentos ambientais: Fase I (antes de ~18.900 anos cal AP), clima marcadamente mais frio e seco do que o atual, com predomínio de vegetação de campos subtropicais e ocorrência de incêndios; Fase II (~18.900 anos cal AP a ~11.100 anos cal AP), ligeiro aumento de umidade, diminuição de incêndios e expansão de formações florestais, com rara presença de *Araucaria angustifolia*; Fase III (a partir de ~11.100 anos AP) aumento da umidade, com estabelecimento das condições atuais (clima frio e úmido, típico dos ambientes altomontanos), e marcada presença de *Araucaria* nas florestas altomontanas; Fase IV (presente) mudanças ambientais relacionadas com o aumento da ocorrência de incêndios, redução de indivíduos de *Araucaria* e aumento de Bambusoid, Arecaceae e plantas C_4 , possivelmente ligada à atividades humanas. Quanto a segunda hipótese, os Organossolos Fólicos nos ambientes altomontanos da Serra da Mantiqueira são formados por acumulação de liteira (resíduos da vegetação) e podem ocorrer dois pedoambientes: (i) diretamente sobre rochas nos campos de altitude, pelos processos de adição e transformação da liteira, que constituem o principal material parental desses solos; e (ii) em florestas altomontanas, com horizontes hísticos formados sobre horizontes minerais. Em ambos os casos, o clima frio e úmido e a vegetação (organismos) são os principais fatores de formação, não apenas reduzindo a decomposição da matéria orgânica, mas influenciando as propriedades físicas e químicas dos solos. O clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região sudeste do Brasil também resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos).

Palavras-chave: Organossolos. Pedogênese. Solos de turfa. Mudanças paleoambientais.

3.2 ABSTRACT

The purpose of the study is to improve the pedological knowledge about the non-hydromorphic organic soils in the highlands of the Southeastern region of Brazil. The morphological, physical, and chemical characteristics of 14 soil profiles, sampled from the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil, are shown and discussed. The following hypotheses were presented: (i) the formation of organic soils under free drainage conditions is related to the history of vegetation and variations in climatic conditions in the past; (ii) the cold and humid climate of the upper montane environments in the Southeastern region of Brazil results in soils with andic (non-allophanic) properties. The objective of this research was to propose a general scheme for the formation of these soils, based on the understanding of the soil-landscape relationship and on the reconstitution of the vegetation history. As for the first hypothesis, based on records of phytoliths, $\delta^{13}\text{C}$, carbon stocks derived from C_3 and C_4 plants, and ^{14}C dating, it was possible to infer four environmental conditions: Phase I (before ~18,9k yr BP), markedly colder climate and drier than current one, with a predominance of subtropical grassland vegetation and the occurrence of fires; Phase II (~18,9k yr BP to ~11,1k yr BP), slight increase in humidity, decrease in fires and expansion of forest formations, with rare presence of *Araucaria angustifolia*; Phase III (from ~11,1k years BP) increase in humidity, with the establishment of current conditions (cold and humid climate, typical of southeastern Brazilian highlands), and marked presence of *Araucaria* in upper-montane forests; Phase IV (present) environmental changes related to increased occurrence of fires, reduction of *Araucaria* individuals and increase of Bambusoid, Arecaceae and C_4 plants, possibly linked to human activities. On the second hypothesis, the *Organossolos Fólicos* (Folists) in the upper montane environments of Serra da Mantiqueira are formed by the accumulation of litter (vegetation residues) and can occur in two soil environments: (i) directly set over the rocks in the high-altitude fields, by the processes of addition and transformation of litter, which constitute the main parental material of these soils; and (ii) in upper montane forests, with histic horizons formed over mineral horizons. In both cases, the cold and humid climate and the vegetation (organisms) are the main soil formation factors, not only reducing the decomposition of the organic matter, but influencing the physical and chemical properties of the soils. The cold and humid climate of the upper montane environments in southeastern Brazil also results in soils with andic (non-allophanic) properties.

Keywords: Histosols. Soil Organic Carbon. Peat soils. Paleoenvironmental changes.

3.3 INTRODUCTION

Organic soils are distinguished from mineral soils by their high carbon (C) content and require specific attention as they provide several ecosystem services and are of great relevance in the context of climate changes. Peatlands, areas with organic soils, only account for ~3% of the terrestrial surface and store ~644 Gt of C, equivalent to 21% of the total global organic soil C stock of ~3000 Gt (Yu et al., 2010; Page et al., 2011; Scharlemann et al., 2014). Thus, peatland preservation and restoration, particularly in the tropics, is a critical step for an effective global climate change mitigation strategy (Leifeld and Menichetti, 2018).

In terms of soil classification, organic soils are most associated with poorly drained basins and depressions, where anoxic conditions control peat decomposition (Abbott et al., 2013, Philben et al., 2013; Horák-Terra et al., 2014). But they can also be found under well to moderately well-drained conditions in upland ecosystems with cool, moist, humid environments that promote thick accumulations of plant residue materials (Fox and Tarconai, 2011), like in the highlands of southeast and southern Brazil (Benites et al., 2005; Simas et al., 2005; Dümig et al., 2008a; 2008b; Santos Junior et al., 2021). In the Brazilian Soil Classification System (SiBCS), organic soils are classified at the first level as *Organossolos* (Santos et al., 2018). The criteria utilized in the classification of *Organossolos* in the SiBCS have similarities with Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) and World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2022), but differ from both essentially in the minimum organic C criterion of $\geq 8\%$ (Fig. 1).

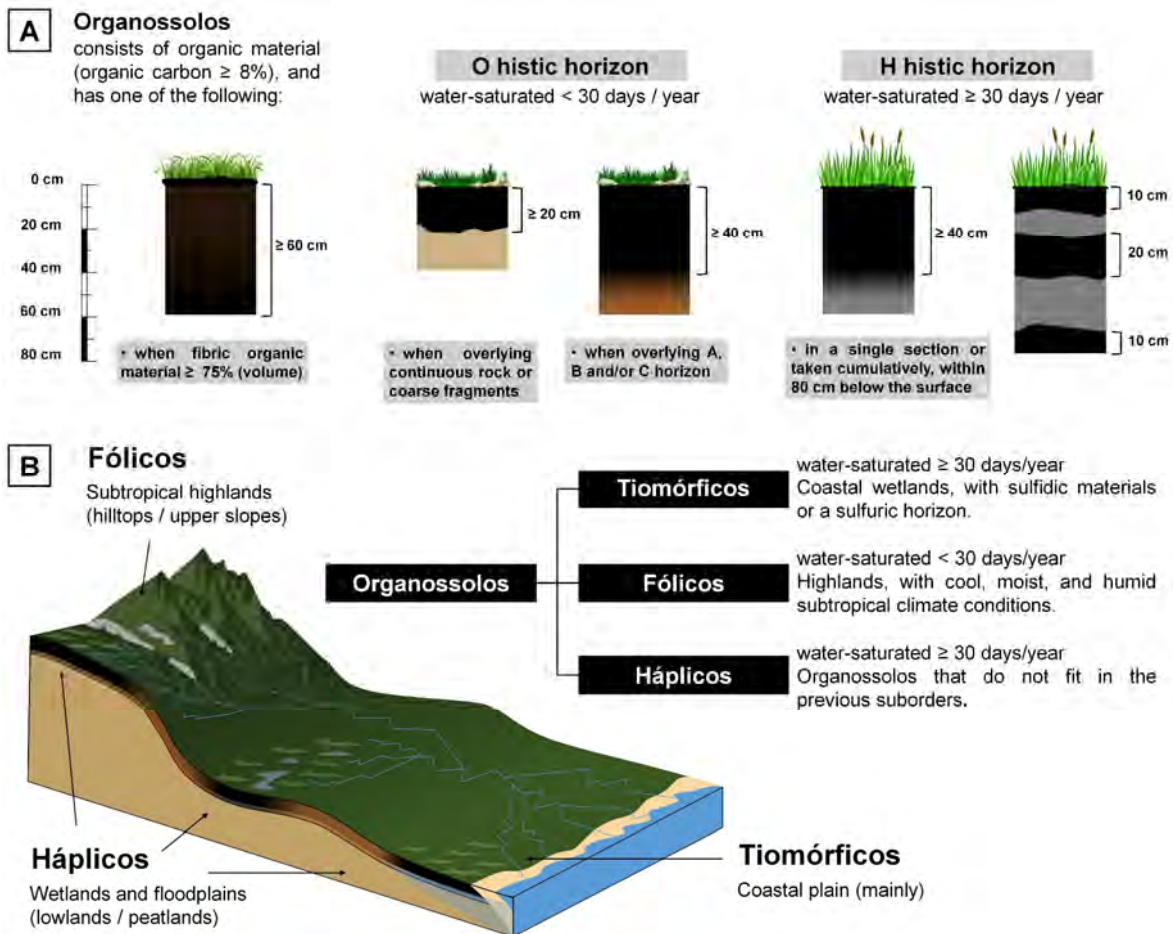


Figure 1. Synthesis of the criteria utilized in the classification of organic soils (*Organossolos*) in the Brazilian Soil Classification System (A) and classification at the suborder level (B).

There are several studies in Brazil of saturated organic soils in peatland ecosystems, which include characterization of properties and main processes related to the genesis and evolution (e.g. Silva et al., 2009; Horák-Terra et al., 2014; Bispo et al., 2016; Soares et al., 2016; Silva Neto et al., 2019), stratigraphy and chronology (e.g. Campos et al., 2016; 2017; Silva et al., 2020), and the use as archives of paleoenvironmental changes (Behling et al., 1997; 2010; 2020; Pessenda et al., 2009; Verissimo et al., 2012; Schellekens et al., 2014; Horák-Terra et al., 2015; 2020; Silva et al., 2019; Portes et al., 2020, among others). In contrast, there are few studies of organic soils under primarily aerobic soil conditions. Here, we focus on organic soils under well to moderately well-drained upland ecosystems, that correspond to the suborder of *Organossolos Fólicos* in SiBCS (Santos et al., 2018). This suborder correlates to Folists suborder in ST (Soil Survey Staff, 2014) and Folic Histosol in WRB (IUSS Working Group WRB, 2015).

Upland organic soils develop under unique highland environments in contrast to the wetland organic soils (Fox and Tarconai, 2011), and can be considered as endemic soils, i.e. soils that are restricted to a particular geographic area based on a unique combination of soil-forming factors (Bockheim, 2005). Moreover, pedological studies in highlands from southern Brazil document this group of soils showing andic soils properties (non-allophanic), with organometallic complexes (Dümig et al., 2008a; 2008b; Santos Junior et al., 2021). The cold climate and high cloudiness of these high-altitude areas favor the formation of a constantly humid environment and the acid weathering of the source material, accumulation of organic matter in the soil, and its stabilization by the formation of organo-metallic complexes, especially Al-humus. In this study we report the occurrence of organic soils with andic properties (non-allophanic) in the highlands from southeastern Brazil (Serra da Mantiqueira).

The Serra da Mantiqueira (Mantiqueira Mountain Range), completely embedded in the Atlantic Forest biome, represents a complex of irregular mountain chains (Becker et al., 2013) and has been considered one of the world's most important biodiversity hotspots with high numbers of endemic species, largely due to the Atlantic Forest geographic isolation (Myers et al., 2000; Brooks et al., 2006). Over the last two decades palaeoecological studies have been carried out in the southeastern Brazilian highlands in order to better understand the history of the Atlantic Forest biome as well to better inform management efforts in the future (e.g., Behling, 1997; Ledru et al., 2005; Behling et al., 2007; 2020; Behling and Safford, 2010; Verissimo et al., 2012; Portes et al., 2018; 2020; Silva Neto et al., 2020).

In this contribution, our purpose is to improve the pedological knowledge of the Brazilian highlands, focusing on well-drained organic soils. We document and discuss morphological, physical, and chemical characteristics of 14 soil profiles in the Serra da Mantiqueira region, as well as the occurrence of andic properties (non-allophanic) in some of them. The objective was to propose a general scheme for the formation of these soils, based on classical soil analysis (morphological, physical, and chemical) in combination with specific analysis for paleoenvironmental reconstruction in well-drained soils (phytoliths, $\delta^{13}\text{C}$ isotopic composition and ^{14}C dating).

3.4 MATERIALS AND METHODS

3.4.1 Study area and environmental setting

The study area comprises the southern and northern regions of the Serra da Mantiqueira (Fig. 2), which forms, together with the Serra do Mar, a set of prominent topographic features approximately 1000 km long bordering Brazil's southeast coast (Calegari et al., 2021). The Serra da Mantiqueira comprising a major (ca 700,000 km²) and highly complex structural province deformed by the Brasiliano Orogenic Cycle in South America, during the Neoproterozoic/Early Paleozoic (900-480 Ma) (Almeida et al., 1981; Heilbron et al. 2004). The geological substrate comprises predominantly Proterozoic granitic and metamorphic rocks, with exception of Itatiaia Massif, which stretches about 500 km from the state of São Paulo to Rio de Janeiro and Minas Gerais where the local geologic substrate is nepheline syenite, an alkaline igneous rock emplaced in the Cretaceous. Regarding the most general geomorphological aspects, the Serra da Mantiqueira is characterized by elongated mountain ranges and frontal escarpments that correspond to major shear zones as well as by extremely steep hills that are highly dissected with a considerable drainage density and pronounced vertical carving (Marques Neto et al., 2015).

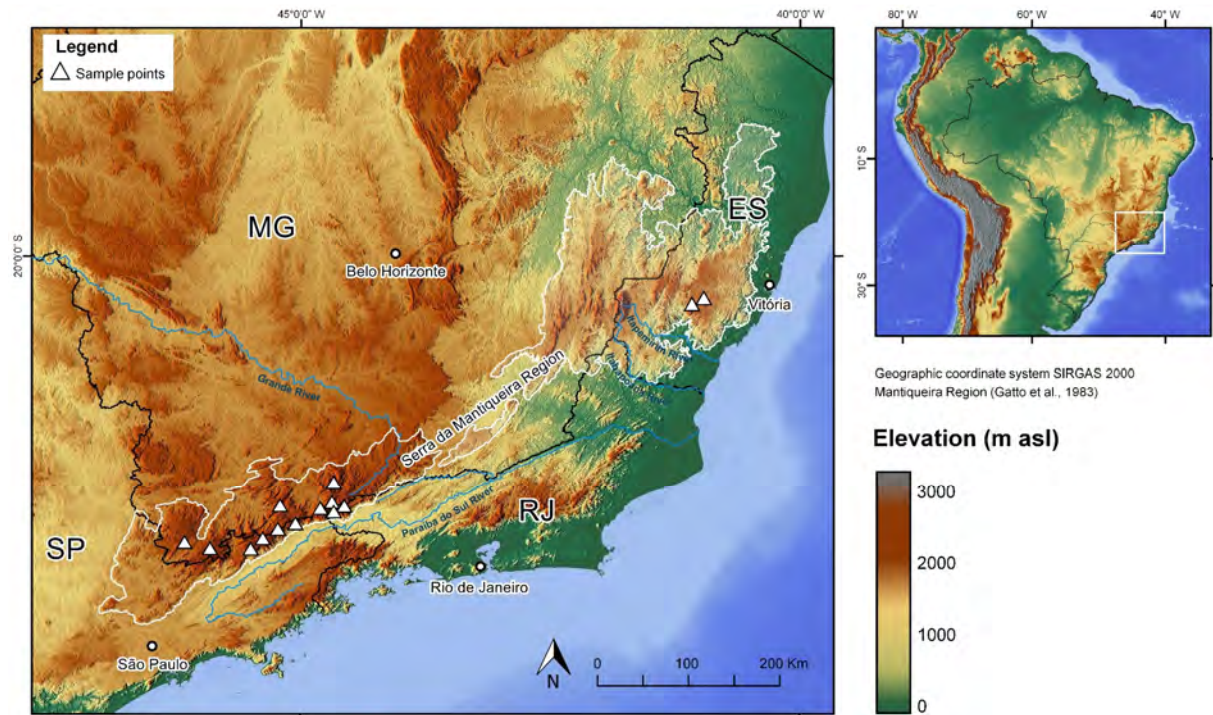


Figure 2. Locations of soil profile samplings in highlands of *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil.

The vegetation encountered at the study sites is classified as montane/upper montane Atlantic rain forest, and high-elevation grasslands known as *campos de altitude* (Fig. 3). *Campos de altitude* develop on deep organic soils, thin soils over regolith, and rock outcrops, covering hilltops and convex slopes as well as poorly drained valley bottoms forming valley mires (Safford, 1999a). Vegetation is dominated by tall graminoids in the genera *Chusquea* (montane bamboo), *Cortaderia*, and *Machaerina* (a two-meter tall cespitose sedge) Cyperaceae, and a heterogeneous mixture of shrubs (mostly species of Asteraceae, Myrtaceae, Ericaceae, Melastomataceae, and the genera *Weinmannia* and *Escallonia*), scattered through the landscape and dominate well-drained areas (Behling et al., 2020). Frequent herbs in these grasslands include species from the genera *Eryngium*, *Paepalanthus*, *Plantago*, and *Xyris*, and

lycopods and cool-weather bryophytes are widespread (Behling and Safford, 2010; Portes et al., 2020). With decreasing altitude and increasing soil depth montane and upper montane forests develop, composed of trees and shrubs with strata ranging from 10-30 m height, according to microclimatic conditions. Most frequent tree and shrub families are Myrtaceae, Proteaceae, Melastomataceae, Malpighiaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Asteraceae, among many other families, with some areas including populations of the conifers *Araucaria angustifolia* and *Podocarpus sellowiana* (Behling et al., 2020).



Figure. 3. Vegetation aspect in the study sites from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil. (A) *Campos de altitude* (high-elevation grassland) in the Itatiaia National Park, Rio de Janeiro State. (B) Upper montane Atlantic rain forest, south of Minas Gerais State.

The subtropical highland climate (Cwb) is characterized by high precipitation (mean annual precipitation ranges from 2200 to 2500 mm), with a short dry season (monthly precipitation <50 mm) between June and August, moderate temperatures (mean maximum temperature ranges from 15 to 27°C and mean minimum temperature ranges from 4 to 8°C) (Safford, 1999b; Simas et al., 2005). In each year, nighttime frosts are common during the winter season and snow occurs every decade or two on the Itatiaia Plateau at 2200–2400 m elevation (Behling et al., 2020).

3.4.2 Field work and sampling

Sites for detailed sampling were selected after field observations of soil morphology (colour, depth, texture), vegetation, and landform. A total of 14 representative soil profiles have

been described according to Santos et al. (2015) and sampled conventionally for recognizable genetic horizons (Santos et al., 2018) (Table 1). In addition, all soils were sampled at regular depths (10 cm intervals, up to control section) for determination of total C and N (using a CHN elemental analyzer), stable carbon isotopes ratios ($\delta^{13}\text{C}$), and phytolith analysis. For ^{14}C dating, soil samples were collected from the basal organic layer (10 cm) in each soil profile. Soil classification followed three classification systems: Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2018), World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015) and Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014).

Table 1. General site information, registration, and location of the studied soil profiles from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil.

Profile ID	Coordinates	Elevation (m asl)	Vegetation
P1SP	22°43.388'S 45°25.803'W	1910	Upper montane Atlantic rain forest
P2SP	22°29.925'S 45°07.321'W	2199	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)
P3SP	22°26.535'S 44°52.007'W	2157	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)
P4SP	22°37.960'S 45°20.934'W	1927	Upper montane Atlantic rain forest
P1MG	22°52.775'S 46°00.152'W	1881	Upper montane Atlantic rain forest
P2MG	22°28.490'S 45°14.984'W	1948	Upper montane Atlantic rain forest
P3MG	22°17.352'S 44°44.237'W	2104	Upper montane Atlantic rain forest
P4MG	22°42.862'S 45°52.797'W	1943	Upper montane Atlantic rain forest
P1ES	20°31.219'S 41°06.442'W	1156	Montane Atlantic rain forest
P2ES	20°10.756'S 40°55.200'W	1063	Montane Atlantic rain forest
P1RJ	22°23.317'S 44°44.696'W	2418	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)
P2RJ	22°23.353'S 44°42.102'W	2261	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)
P3RJ	22°22.092'S 44°37.459'W	2264	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)
P4RJ	22°23.117'S 44°39.948'W	2225	Herb-rich high-elevation grasslands (<i>campos de altitude</i>)

3.4.3 Physical and chemical soil characteristics

The physical and chemical characterization of soil samples was performed according to Teixeira et al. (2017) and included bulk density (Bd), pH (H_2O and KCl), exchangeable Ca^{+2} , Mg^{+2} and Al^{+3} extracted by KCl 1M, assimilable phosphorus (P) and exchangeable potassium (K^+) and sodium (Na^+) were determined by colorimetry and flame photometry, and extractable acidity ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$) and hydrogen (H^+) were assessed in a 0.025 mol L^{-1} calcium acetate solution (Teixeira et al., 2017). Soil organic carbon (SOC) was determined by wet oxidation (Teixeira et al., 2017).

In addition, samples from the organic horizons were analyzed for fiber content (unrubbed and rubbed), sodium pyrophosphate-extractable color (SPEC) and classified according to the von Post decomposition scale (Santos et al., 2018). Fibric materials have 40% or more fiber after rubbing or >75% unrubbed fiber by volume and a SPEC (value/chroma) of 7/1, 7/2, 8/1, or 8/3. Sapric materials have <16% rubbed fiber by volume. Hemic materials are determined as having an intermediate fiber content between fibric and sapric materials.

3.4.4 Andic properties

The contents of Al, Fe, and Si in the soil were determined through selective dissolutions, being extracted by ammonium acid oxalate solution (Alo, Feo, and Sio), according to McKeague and Day (1966), described by Teixeira et al. (2017), and sodium pyrophosphate (Alp), according to Bascomb (1968), described by Teixeira et al. (2017), using an optical emission spectrometer with ICP-OES plasma. Phosphorus retention (PR) was determined according to the methodology described by Van Reeuwijk (2002), adapted from Blakemore et al. (1987).

3.4.5 Isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) and ^{14}C dating

Stable isotopes were analyzed in samples collected at 10-cm intervals, from the top to the bottom of the soil profile. The isotope ratio was quantified by an isotope ratio mass spectrometer (IRMS) (Delta V Advantage) coupled to an IRMS elemental analyzer (Flash EA 2000), both from Thermo Fisher Scientific (Bremen, Germany), at the Carbon and Nitrogen Biotransformation Research Laboratory (LABCEN) of the Federal University of Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. Elemental composition (SOC) was expressed as dry weight percentage, and the isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) was measured in relation to the Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) standard, and expressed as parts per thousand (‰, ppt) with a 0.2‰ standard deviation (Boutton et al., 1998), according to the following equation:

$$\delta_{\text{sample}}(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right) \times 1000 \quad \text{Where } R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \text{ for the isotopic ratio of carbon}$$

Due to a lack of coal fragments, ^{14}C dating was performed on the humin fraction of soil organic matter (SOM), which corresponds to the average residence time of the SOM (Pessenda, 1996). The proportion of organic carbon derived from C3 and C4 plant sources was estimated using a frequently applied mass balance equation (Boutton, 1996; Boutton et al., 1998; Dümig et al., 2008b):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{meas}} = x (\delta^{13}\text{C}_4) + (\delta^{13}\text{C}_3) (1-x)$$

where $\delta^{13}\text{C}_{\text{meas}}$ is the measured $\delta^{13}\text{C}$ value, $\delta^{13}\text{C}_4$ is the $\delta^{13}\text{C}$ value for C4 vegetation, $\delta^{13}\text{C}_3$ is the $\delta^{13}\text{C}$ value for C3 vegetation, x is the proportion of C from C4 plant sources and $(1-x)$ is the proportion of C derived from C3 plants.

The deepest organic horizons and/or mineral horizons whose organic matter concentrations were high enough for humin separation ($\text{SOC} \geq 80 \text{ g C kg}^{-1}$) were selected. The samples were collected carefully to avoid contact with organic substances or with tools and collectors possibly contaminated with organic waste. The chemical pre-treatment with Acid-Base-Acid (ABA) aimed the humin isolation. The first treatment with acid used HCl 0.5M at 80°C, leaving the suspension resting for 4 h, for removal of light fractions of SOM such as the fulvic acids. After the removal of the supernatant, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ and NaOH 0.1M were added and the suspension left for 12h for solubilization of humic acids, repeating the procedure up to a maximum of three times. The last treatment used HCl 3M and heating, between 90°C and 100°C for 12h; for removal of organic residues and contamination by atmospheric CO_2 (Pessenda, 1996). After the separation, samples were sent to the Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (Radiocarbon Laboratory of Federal Fluminense University) (LAC/UFF, Brazil), for analyses using the Accelerator Mass Spectrometry (AMS).

3.4.6 Phytolith analysis

Phytoliths were extracted from samples collected in organic horizons, by calcination in a muffle furnace, according to Piperno (2006). In mineral horizons, phytoliths were extracted according to Method 2, described in Calegari et al. (2013). The morphotypes were identified from slides prepared with the extraction fraction and observed at 400x magnification, under a Zeiss Axioskop 40 optical microscope. In each sample, at least 200 phytoliths with taxonomic and/or environmental significance were counted and identified.

The phytoliths were grouped, based on the morphological patterns of the source plants, into: Panicoid (bilobate and cross) (Bremond et al., 2005, Twiss, 1992), Pooid (rondel and

trapeziform) (Twiss, 1992), Chloridoid (saddle) (Twiss, 1992), bambusoid (saddle collapsed) (Montti et al., 2009), Σ Poaceae (morphotypes produced exclusively by grasses, including those with no taxonomic significance), Arecaceae (globular echinate) (Alexandre et al., 1999, Piperno, 2006, Barboni et al., 2007), Cyperaceae (cone-shape) (Piperno, 2006), Araucariaceae (crater-shape) (Parr and Watson, 2007; Calegari et al., 2013; Chiapini et al., 2018), and those from Eudicotyledons (block, globular psilate, and globular rugose) (Bremond et al., 2005, Piperno, 2006). Phytolith indices include tree cover density (Alexandre et al., 1997; Bremond et al., 2005), climate index (Ic) (Twiss, 1992; Bremond et al., 2008), and Water-stress Index (FS) (Bremond et al., 2005):

Tree Cover Index (D/P Index) (Alexandre et al., 1997; Bremond et al., 2005)

$$D/P = \frac{(\text{globular psilate} + \text{globular rugose})}{(\text{rondel} + \text{trapeziform} + \text{polylobate} + \text{saddle} + \text{cross} + \text{bilobate})}$$

Climate Index (Ic) (Twiss, 1992; Bremond et al., 2008)

$$IC\% = \left(\frac{\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell and polylobate)}}{\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell and polylobate)} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell}} \right) \times 100$$

Water-stress Index (FS) (Bremond et al., 2005)

$$FS = \frac{\text{Bulliform cuneiform}}{\text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell} + \text{Polylobate} + \text{Trapeziform (short cell, polylobate)}}$$

3.4.7 Data analysis

The results from the phytolith tests were assessed by multivariate statistical analyses. In each profile, similarity-clustering analyses (total sum of squares method) were performed to define phytolith zones, in TiliaGraph and CONISS (Grimm, 1987). For paleoclimatic interpretation of landscape changes, phytolith data were evaluated by principal component analysis (PCA) in correlation mode with transposed data matrices, using the C2 software (Juggins, 2007). This type of analysis allows an ecological interpretation of phytolith data by summarizing the composition of the sample assemblages based on covariance. Pearson's correlation (r) was applied to the same data matrix used in PCA by the R software (R CORE TEAM, 2022).

3.5 RESULTS

3.1 Soil morphology and general characteristics

The morphological and physical properties of the profiles are summarized in Fig. 4 and Table 2. There is considerable variation in soil characteristics, which includes soil depth and horizon sequences. The soils have thick accumulations of organic materials derived from upper montane forest or high-altitude grassland environments under well to moderately well-drained conditions. Most profiles are formed only by O horizons, usually with dark colors, almost black, with little differentiation, except for a decrease in the amount of undecomposed organic material and some rather small color variations. The thickness of the organic horizons ranged from 39 to 206 cm+ (mean = 100 ± 43 cm), predominantly having low fiber content (RF = $10 \pm 5\%$). Based on rubbed fiber content and Sodium-pyrophosphate index (SPEC) most of the organic soils analyzed are classified as sapric (highly decomposed organic matter). The mean of organic matter content (OM) was $38.7 \pm 5.8\%$, and gravimetric moisture (Gm) $44.6 \pm 4.4\%$.

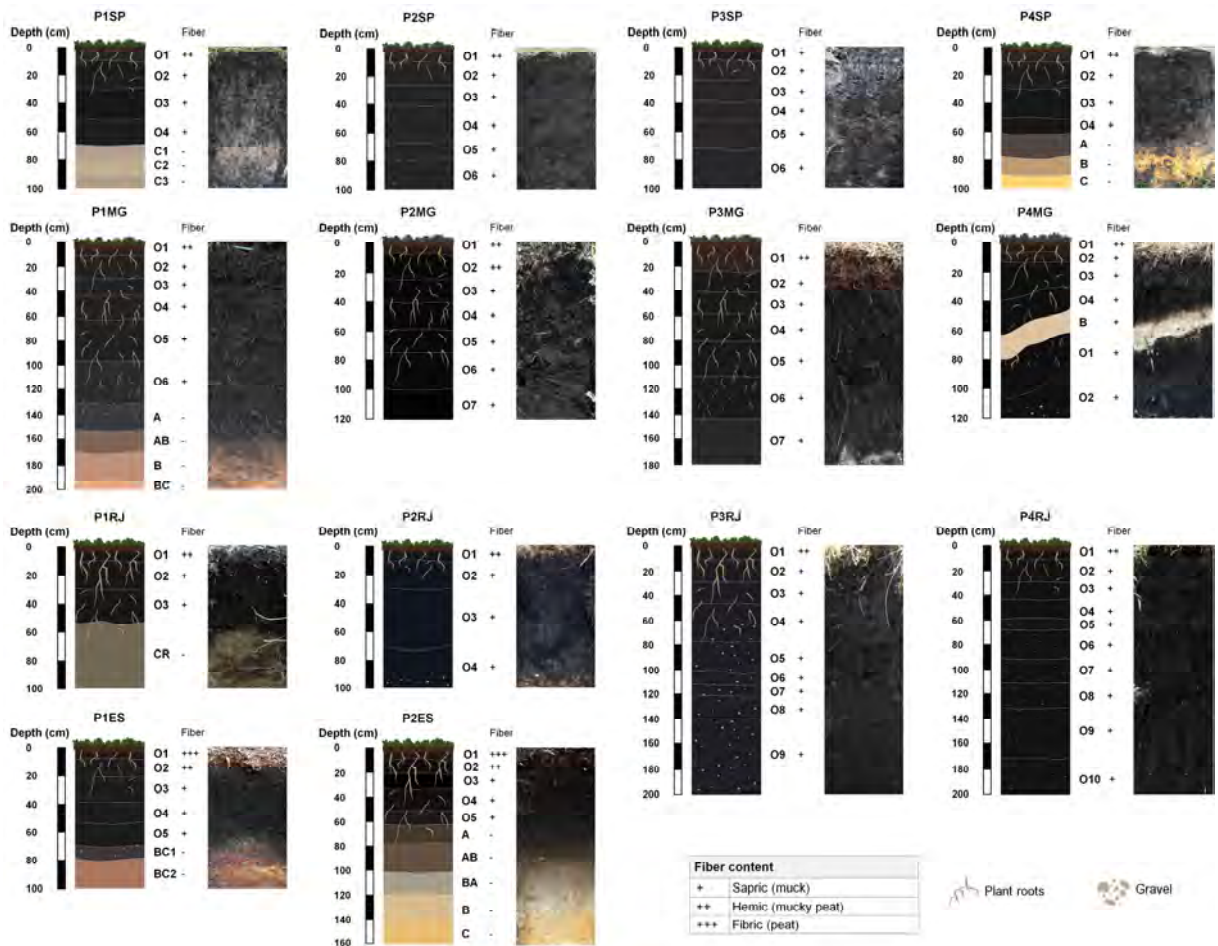


Figure 4. Soil morphology of representative well to moderately well-drained organic soils from subtropical highlands, Southeastern Brazil.

In the soils located on hilltops / upper slopes (P1SP, P1ES, P1RJ), the O horizon with shallow depth overlaps a BC, C, or CR horizon, with grayish brown colors and massive structure. On lower to middle third of slopes as well as on large plateaus deeper soils are found - the O horizon gradually evolves to an A horizon, followed by transitional horizons for B and C. In general, mineral horizons show granular and subangular blocky structures and yellowish-brownish colors, highly influenced by the parent material and wetter climates (Simas et al.,

2005; Benites et al., 2007). There are also profiles (P4MG, P3RJ, P4RJ) in which the soil morphology indicates discontinuities (buried horizons). Episodes of hillslope degradation by mass movements and intervals of stability are evidenced by colluvial sequences and buried horizons interposed in the peat deposits. These hillslope processes, regarding to pedogenesis vs. morphogenesis relationships have already been investigated in detail in the Serra da Mantiqueira in many previous studies (e.g. Modenesi et al., 1996; 2000; 2002; 2011).

Table 2. Morphological and physical properties of well to moderately well-drained organic soils from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil. (Continues)

	Depth (cm)	Structure ¹	Boundary	Moist Color	Fiber content ² (%)		SPEC ³ 10YR	Organic material	OM ⁴ %	MM ⁵ %	GM %
					URF	RF					
P1SP											
O1	0-16	md f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	14	7	4/2	sapric	39.6	60.4	40.1
O2	16-28	st f gr	diffuse smooth	10YR 3/1	10	5	4/2	sapric	32.8	67.2	38.6
O3	28-52	st f gr	diffuse smooth	10YR 3/1	10	3	4/2	sapric	35.0	65.0	37.8
O4	52-70	st m sbk	clear smooth	10YR 3/1	6	2	4/2	sapric	31.1	68.9	35.7
C1	70-81	ma	gradual smooth	10YR 5/2	-	-	-	-	16.9	83.1	29.7
C2	81-89	ma	gradual smooth	10YR 5/2	-	-	-	-	16.8	83.2	29.8
C3	89-100+	ma	-	10YR 5/3	-	-	-	-	15.6	84.4	30.4
P2SP											
O1	0-10	md f gr	diffuse smooth	N2/	14	7	3/4	sapric	39.1	60.9	47.8
O2	10-25	st f gr	diffuse smooth	N2/	11	7	3/3	sapric	38.7	61.3	46.1
O3	25-41	st f gr	diffuse smooth	N2/	10	6	3/3	sapric	38.8	61.2	45.8
O4	41-66	st f gr	diffuse smooth	N2/	10	4	3/2	sapric	37.0	63.0	45.4
O5	66-77	st f sbk	diffuse smooth	N2/	8	4	3/2	sapric	37.4	62.6	44.1
O6	77-100+	st m sbk	-	N2/	5	2	3/2	sapric	36.6	63.4	42.8
P3SP											
O1	0-8	md f gr	diffuse smooth	N2/	9	6	3/4	sapric	38.5	61.5	45.5
O2	8-22	st f gr	diffuse smooth	N2/	8	5	3/3	sapric	37.8	62.2	44.8
O3	22-36	st f gr	diffuse smooth	N2/	8	5	3/3	sapric	37.4	62.6	44.0
O4	36-52	st f gr	diffuse smooth	N2/	7	4	3/2	sapric	39.0	61.0	43.6
O5	52-71	st f sbk	diffuse smooth	N2/	7	4	3/2	sapric	38.1	61.9	43.2
O6	71-90+	st m sbk	-	N2/	6	2	3/2	sapric	37.1	62.9	42.4
P4SP											
O1	0-16	md f gr	diffuse smooth	10YR 2/2	14	6	4/2	sapric	33.0	67.0	39.5
O2	16-32	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/2	12	6	4/2	sapric	34.5	65.5	38.2
O3	32-45	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	10	4	4/2	sapric	33.9	66.1	37.6
O4	45-59	st f gr	gradual smooth	10YR 2/1	9	2	4/2	sapric	30.2	69.8	35.9
A	59-80	md f sbk	gradual smooth	10YR 4/1	-	-	-	-	17.6	82.4	29.6
B	80-91	md m abk	gradual smooth	10YR 5/2	-	-	-	-	11.6	88.4	28.3
C	91-100+	ma	-	10YR 6/4	-	-	-	-	10.2	89.8	28.2
P1MG											
O1	0-14	md f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	23	15	4/2	sapric	36.9	63.1	42.8
O2	14-30	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	19	13	4/2	sapric	36.4	63.6	45.0
O3	30-45	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	19	12	4/2	sapric	37.1	62.9	44.6
O4	45-60	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	16	8	4/2	sapric	36.3	63.7	43.5
O5	60-92	st f gr	diffuse smooth	10YR 2/1	14	7	4/2	sapric	35.8	64.2	42.9
O6	92-130	st f gr	diffuse smooth	10YR 3/1	14	5	4/2	sapric	35.4	64.6	42.5
A	130-155	md f sbk	diffuse smooth	10YR 4/1	-	-	-	-	16.4	83.6	31.6
AB	155-170	md f sbk	gradual smooth	10YR 4/2	-	-	-	-	12.5	87.5	32.4
B	170-194	md m abk	gradual smooth	10YR 4/4	-	-	-	-	9.0	91.0	33.4
BC	194-221+	w m abk	-	10YR 5/6	-	-	-	-	6.8	93.2	31.6
P2MG											
O1	0-7	md f gr	diffuse smooth	N2/	31	19	3/4	hemic	44.0	56.0	49.3
O2	7-25	st f gr	diffuse smooth	N2/	24	18	3/3	sapric	44.4	55.6	51.3
O3	25-40	st f gr	diffuse smooth	N2/	23	16	3/3	sapric	43.2	56.8	51.9
O4	40-59	st f gr	diffuse smooth	N2/	21	16	3/2	sapric	41.5	58.5	50.5
O5	59-75	st f sbk	diffuse smooth	N2/	21	14	3/2	sapric	42.5	57.5	50.3
O6	75-100	st m sbk	diffuse smooth	N2/	17	9	3/2	sapric	41.3	58.7	50.3
O7	100-123+	st m sbk	-	N2/	16	7	3/2	sapric	40.2	59.8	50.2
P3MG											
O1	0-24	md f gr	diffuse smooth	N2/	32	24	3/4	hemic	42.7	57.3	47.0
O2	24-40	st f gr	diffuse smooth	N2/	21	20	3/3	sapric	43.3	56.7	48.5
O3	40-60	st f gr	diffuse smooth	N2/	19	11	3/3	sapric	40.9	59.1	48.7
O4	60-80	st f gr	diffuse smooth	N2/	19	11	3/2	sapric	39.6	60.4	49.5
O5	80-113	st f sbk	diffuse smooth	N2/	17	9	3/2	sapric	41.4	58.6	49.3
O6	113-142	st m sbk	diffuse smooth	N2/	16	9	3/2	sapric	39.2	60.8	47.9
O7	142-185+	st m sbk	-	N2/	15	7	3/2	sapric	40.2	59.8	47.7

Table 2. Continuation.

P4MG											
O1	0-7	md f gr	diffuse smooth	N2/	22	11	3/3	sapric	35.9	64.1	44.8
O2	7-13	st f gr	diffuse smooth	N2/	15	7	3/3	sapric	38.7	61.3	41.6
O3	13-28	st f gr	gradual wavy	N2/	11	6	3/3	sapric	38.1	61.9	40.0
O4	28-40	st f gr	clear irregular	N2/	10	4	3/2	sapric	36.8	63.2	38.4
B	40-56	sg	clear irregular	10YR 8/3	-	-	-	-	11.3	88.7	25.0
2O1	56-93	st m sbk	gradual wavy	N2/	5	2	3/2	sapric	45.1	54.9	37.2
2O2	93-110+	st m sbk	-	N2/	3	2	3/2	sapric	46.7	53.3	36.6
PIES											
O1	0-9	md f gr	gradual smooth	10YR 3/2	37	25	5/3	fibric	28.2	71.8	53.1
O2	9-21	md f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	34	23	4/2	hemic	30.3	69.7	45.7
O3	21-37	st f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	19	12	4/2	sapric	30.5	69.5	39.7
O4	37-52	st f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	13	10	4/2	sapric	30.1	69.9	36.2
O5	52-69	st f gr	clear smooth	10YR 3/2	14	6	4/2	sapric	29.0	71.0	32.4
BC1	69-78	w m abk	gradual smooth	10YR 4/2	-	-	-	-	9.0	91.0	25.4
BC2	78-91+	w m abk	-	10YR 5/6	-	-	-	-	7.5	92.5	23.4
P2ES											
O1	0-9	md f gr	gradual smooth	10YR 3/2	47	35	5/3	fibric	30.8	69.2	44.9
O2	9-21	md f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	34	24	4/2	hemic	31.6	68.4	40.7
O3	21-32	md f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	30	14	4/2	sapric	32.8	67.2	39.8
O4	32-50	md f gr	diffuse smooth	10YR 3/2	26	13	4/2	sapric	31.2	68.8	38.8
O5	50-62	md f gr	gradual smooth	10YR 3/3	19	9	4/2	sapric	26.1	73.9	33.5
A	62-79	md f sbk	gradual smooth	10YR 5/3	-	-	-	-	20.3	79.7	37.5
AB	79-102	md m abk	gradual smooth	10YR 5/6	-	-	-	-	14.0	86.0	33.6
BA	102-119	md m abk	gradual smooth	10YR 5/6	-	-	-	-	12.9	87.1	31.3
B	119-143	md m abk	gradual smooth	10YR 6/6	-	-	-	-	11.7	88.3	26.4
C	143-162+	ma	-	10YR 7/6	-	-	-	-	9.7	90.3	24.1
PIRJ											
O1	0-11	st f gr	gradual smooth	N2/	40	29	5/3	fibric	47.0	53.0	51.5
O2	11-29	st f gr	diffuse smooth	N2/	24	18	4/2	sapric	51.0	49.0	55.4
O3	29-45	st f gr	clear smooth	N2/	18	14	4/2	sapric	49.1	50.9	51.4
CR	45-90+	ma	-	10YR 5/2	-	-	-	-	6.8	93.2	26.8
P2RJ											
O1	0-8	st m gr	diffuse smooth	N2/	27	17	3/3	sapric	51.1	48.9	51.0
O2	8-24	st m gr	diffuse smooth	N2/	16	10	3/3	sapric	49.0	51.0	57.3
O3	24-65	st m gr	diffuse smooth	N2/	15	7	3/3	sapric	49.4	50.6	56.8
O4	65-78+	st m gr	-	N2/	14	7	3/2	sapric	45.6	54.4	56.1
P3RJ											
O1	0-14	st f gr	diffuse smooth	N2/	26	19	3/3	sapric	45.3	54.7	50.3
O2	14-28	st f gr	diffuse smooth	N2/	24	16	3/3	sapric	47.6	52.4	49.5
O3	28-46	st f gr	diffuse smooth	N2/	20	12	3/3	sapric	45.8	54.2	48.2
O4	46-77	st f gr	diffuse smooth	N2/	18	9	3/2	sapric	43.6	56.4	47.6
O5	77-101	st f gr	gradual smooth	N2/	18	9	3/3	sapric	41.2	58.8	47.6
2O6	101-112	md f sbk	diffuse smooth	N2/	16	9	3/3	sapric	42.8	57.2	44.0
2O7	112-122	md m sbk	diffuse smooth	N2/	16	8	3/3	sapric	41.8	58.2	43.9
2O8	122-140	md m sbk	diffuse smooth	N2/	15	7	3/2	sapric	39.9	60.1	43.1
2O9	140-206+	md m sbk	-	N2/	13	7	3/3	sapric	37.7	62.3	42.3
P4RJ											
O1	0-12	st m gr	diffuse smooth	N2/	24	16	3/3	sapric	45.7	54.3	49.5
O2	12-28	st m gr	diffuse smooth	N2/	23	12	3/3	sapric	45.8	54.2	48.9
O3	28-43	st m gr	diffuse smooth	N2/	20	11	3/3	sapric	45.9	54.1	47.8
O4	43-60	st m gr	clear smooth	N2/	19	11	3/2	sapric	46.2	53.8	47.5
2O5	60-67	st m gr	gradual smooth	N2/	22	14	4/2	sapric	45.0	55.0	44.9
2O6	67-90	st m gr	diffuse smooth	N2/	21	13	4/3	sapric	45.4	54.6	44.4
2O7	90-110	st m gr	diffuse smooth	N2/	18	10	3/3	sapric	43.3	56.7	43.5
2O8	110-131	st m gr	diffuse smooth	N2/	16	8	3/2	sapric	43.2	56.8	42.7
2O9	131-167	st m gr	diffuse smooth	N2/	14	7	3/3	sapric	39.5	60.5	42.1
2O10	167-204+	st m gr	-	N2/	12	5	3/3	sapric	40.3	59.7	41.6

1) Development: w, weak; md, moderate; st, strong. Size: f, fine; m, medium. Type: ma, massive; gr, granular; sbk, subangular blocky; sg, single grain. 2) URF: unrubbed fibers; RF: rubbed fibers. 3) SPEC: Sodium pyrophosphate extractable color. 4) OM: Organic matter content. 5) MM: Mineral material content. 6) Bd: Bulk density. 7) GM: gravimetric moisture.

3.2 Chemical characteristics and andic properties

The main chemical and physical properties are given in Table 3. All studied soils showed a strong acid reaction ($\text{pH} = 4.4 \pm 0.3$); low sum of bases ($\text{SB} = 2.3 \pm 0.5 \text{ cmolc.kg}^{-1}$), base saturation ($\text{V}\% = 12 \pm 2$), Mehlich-1 extractable P levels ($\text{P} = 4 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$); and a high saturation of Al^{3+} ($\text{m} \geq 50\%$).

Table 3. Chemical characteristics and andic properties of well to moderately well-drained organic soils from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil. (Continues)

Hor.	pH (1:2.5)		BS cmolc.kg ⁻¹	Al ³⁺	H ⁺	CEC	BS	m	P mg.kg ⁻¹	C g.kg ⁻¹	N	C/N	P _R %	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI	Bd ⁶ g cm ⁻³
	H ₂ O	KCl																			
P1SP																					
O1	4.48	4.33	2.3	2.7	24.5	29.5	8	54	5	237.3	14.1	17	38.5	0.8	0.06	1.4	1.0	1.3	1.8	0.55	0.55
O2	4.37	4.23	2.1	2.8	20.7	25.6	8	57	4	208.6	8.6	24	37.6	0.9	0.08	1.5	0.9	1.4	1.7	0.56	0.56
O3	4.39	4.19	1.8	3.2	19.2	24.2	7	65	3	223.6	7.7	29	36.8	0.7	0.08	1.3	0.9	1.1	1.9	0.61	0.61
O4	4.38	4.20	1.6	3.2	17.7	22.5	7	67	2	182.8	7.1	26	35.7	0.8	0.07	1.4	0.9	1.2	1.8	0.66	0.66
C1	4.89	4.18	1.0	3.3	10.4	14.7	7	77	1	70.3	5.2	14								0.97	0.97
C2	4.90	4.23	0.9	4.4	8.7	14.0	6	83	1	69.8	5.5	13								1.12	1.12
C3	4.89	4.15	0.8	4.2	6.8	11.8	7	84	1	62.4	4.0	16								1.12	1.12
P2SP																					
O1	4.37	4.22	2.4	7.8	15.2	25.4	10	76	6	244.5	14.9	16	72.5	0.9	0.10	1.8	0.9	1.4	2.0	0.53	0.53
O2	4.36	4.23	2.1	7.4	15.2	24.7	9	78	5	240.5	14.2	17	74.9	1.5	0.09	1.9	1.2	2.1	1.2	0.55	0.55
O3	4.37	4.16	1.8	8.1	14.8	24.7	7	82	3	238.8	13.9	17	75.3	1.4	0.07	2.1	1.2	2.0	1.5	0.55	0.55
O4	4.36	4.20	1.8	7.8	14.5	24.1	8	81	2	230.9	11.8	20	77.7	1.3	0.06	2.0	1.2	1.9	1.5	0.57	0.57
O5	4.39	4.16	1.7	7.7	13.9	23.3	7	82	2	231.4	9.6	24	79.1	1.3	0.05	1.9	1.2	1.9	1.5	0.61	0.61
O6	4.35	4.18	1.7	7.5	12.7	21.9	8	81	2	224.6	7.0	32	74.3	1.2	0.05	1.8	1.2	1.8	1.5	0.63	0.63
P3SP																					
O1	4.36	3.98	2.4	8.1	18.7	29.2	8	77	8	216.7	15.6	14	78.2	1.2	0.08	1.8	1.7	2.0	1.5	0.55	0.55
O2	4.38	4.21	2.2	7.8	17.2	27.2	8	78	4	209.6	17.1	12	78.9	1.4	0.04	2.0	1.6	2.2	1.4	0.57	0.57
O3	4.35	4.23	1.9	7.2	15.1	24.2	8	79	2	210.7	15.3	14	76.4	1.3	0.06	2.1	1.6	2.1	1.6	0.62	0.62
O4	4.35	4.16	1.8	7.1	14.9	23.8	7	80	2	216.7	15.8	14	78.9	1.2	0.05	1.9	1.6	2.0	1.6	0.62	0.62
O5	4.37	4.20	1.6	6.7	13.8	22.1	7	81	3	211.3	15.2	14	78.3	1.1	0.06	2.0	1.6	1.9	1.8	0.65	0.65
O6	4.56	3.99	1.6	6.6	12.7	20.9	8	80	2	206.1	13.2	16	74.4	1.1	0.06	1.8	1.6	1.8	1.7	0.68	0.68
P4SP																					
O1	4.39	4.16	1.7	6.1	12.2	20.0	8	78	12	214.4	12.1	18	60.0	1.0	0.09	1.5	1.5	1.8	1.5	0.58	0.58
O2	4.42	4.12	2.0	5.8	11.9	19.7	10	75	9	208.4	11.3	18	59.4	0.9	0.08	1.6	1.4	1.6	1.7	0.62	0.62
O3	4.44	4.11	1.6	5.8	11.5	18.9	9	78	8	204.9	10.4	20	57.6	1.0	0.09	1.5	1.5	1.7	1.5	0.62	0.62
O4	4.37	4.07	1.4	5.9	11.7	19.0	7	81	3	193.5	9.0	22	56.1	1.1	0.08	1.7	1.6	1.8	1.6	0.71	0.71
A	4.88	4.15	1.1	5.4	10.5	17.0	6	83	3	66.1	3.2	21								0.98	0.98
B	4.90	4.30	0.7	5.1	8.3	14.1	5	88	3	26.6	1.5	18								1.15	1.15
C	4.92	4.33	0.7	5.0	5.5	11.2	6	88	2	8.9	0.7	13								1.16	1.16
P1MG																					
O1	4.53	4.04	2.7	5.4	18.3	26.4	10	67	8	226.3	14.1	16	56.3	1.0	0.11	1.6	1.2	1.7	1.5	0.56	0.56
O2	4.38	3.93	2.6	4.7	18.1	25.4	10	65	7	220.9	12.8	17	52.6	1.1	0.07	1.7	1.3	1.7	1.6	0.59	0.59
O3	4.50	3.98	2.3	5.7	15.8	23.8	10	72	4	230.7	13.9	17	62.2	1.0	0.06	1.7	1.2	1.6	1.7	0.61	0.61
O4	4.45	3.97	2.2	5.6	15.4	23.2	9	72	3	230.2	11.1	21	61.9	1.0	0.08	1.6	1.2	1.6	1.6	0.62	0.62
O5	4.45	3.97	2.0	5.2	16.1	23.3	9	72	2	217.6	10.0	22	65.9	1.1	0.09	1.8	1.3	1.7	1.6	0.62	0.62
O6	4.50	4.01	2.2	5.0	16.1	23.3	9	70	2	188.2	6.6	29	60.1	1.1	0.10	1.9	1.3	1.7	1.8	0.64	0.64
A	4.55	3.98	1.7	4.6	13.2	19.5	9	73	1	79.8	6.2	13								0.78	0.78
AB	4.55	4.03	1.5	4.7	11.4	17.6	8	76	1	58.9	3.4	17								0.97	0.97
B	4.76	4.11	1.5	5.2	7.6	14.3	10	78	1	30.4	2.7	11								1.11	1.11
BC	4.92	4.12	1.4	5.2	7.3	13.9	10	79	1	17.1	1.3	13								1.17	1.17

Table 3. Continuation.

P2MG																					
O1	4.38	4.11	2.8	6.9	20.4	30.1	9	71	11	240.9	12.0	16	87.5	1.1	0.07	1.4	1.3	1.8	1.2	0.51	0.51
O2	4.41	4.15	3.1	6.7	21.9	31.7	10	69	6	242.1	13.0	18	84.8	1.4	0.06	1.6	1.3	2.1	1.2	0.53	0.53
O3	4.36	3.99	2.3	6.4	21.8	30.5	8	73	5	234.9	10.7	26	87.1	1.4	0.06	1.8	1.4	2.1	1.3	0.53	0.53
O4	4.44	4.06	2.5	6.5	18.2	27.2	9	72	3	231.6	10.0	21	85.7	1.5	0.07	1.6	1.3	2.1	1.1	0.55	0.55
O5	4.37	3.99	1.9	6.3	18.8	27.0	7	77	4	230.8	10.0	36	80.4	1.3	0.07	1.6	1.4	2.0	1.2	0.56	0.56
O6	4.37	3.98	1.9	6.2	19.1	27.2	7	77	3	242.3	9.0	23	79.8	1.2	0.06	1.5	1.4	1.9	1.3	0.56	0.56
O7	4.35	3.97	1.8	6.9	17.9	26.6	7	80	3	245.4	9.4	28	78.9	1.1	0.06	1.3	1.4	1.8	1.2	0.56	0.56
P3MG																					
O1	4.36	3.96	2.8	6.4	18.9	28.1	10	70	9	245.8	11.8	24	80.5	1.4	0.10	1.6	1.3	2.0	1.1	0.49	0.49
O2	4.37	3.90	2.6	6.2	19.5	28.3	9	71	5	247.2	11.0	26	89.2	1.5	0.09	1.8	1.3	2.2	1.2	0.54	0.54
O3	4.37	4.20	2.2	6.2	18.7	27.1	8	74	6	235.4	9.5	29	91.4	1.5	0.08	1.8	1.4	2.2	1.2	0.55	0.55
O4	4.38	4.20	1.8	6.3	19.0	27.1	7	78	3	247.1	9.0	35	90.9	1.4	0.07	1.6	1.4	2.1	1.1	0.55	0.55
O5	4.37	4.11	1.8	5.4	20.1	27.3	6	75	4	234.9	9.8	28	91.1	1.2	0.07	1.7	1.5	1.9	1.4	0.55	0.55
O6	4.36	4.01	1.7	5.9	18.4	26.0	7	77	4	242.7	9.2	29	87.4	1.0	0.06	1.4	1.4	1.7	1.4	0.58	0.58
P4MG																					
O1	4.42	3.93	2.4	5.8	12.7	20.9	12	71	8	224.1	6.4	35	50.6	0.8	0.12	1.5	1.0	1.3	1.9	0.45	0.45
O2	4.39	3.99	1.9	5.7	11.0	18.6	10	75	7	222.5	7.2	31	58.5	0.9	0.10	1.8	1.1	1.4	2.1	0.49	0.49
O3	4.40	3.96	1.7	5.1	12.0	18.8	9	75	7	229.7	8.3	28	62.3	1.0	0.09	1.7	1.2	1.5	1.8	0.53	0.53
O4	4.42	4.17	1.8	5.0	11.6	18.4	10	74	8	230.3	6.7	34	57.4	0.9	0.10	1.7	1.1	1.5	1.9	0.57	0.57
B	4.89	4.23	0.6	7.8	5.8	14.2	4	93	2	13.5	0.6	23								1.17	1.17
2O1	4.36	4.22	2.1	5.3	10.8	18.2	12	72	12	267.6	6.6	41	86.1	0.8	0.12	1.7	1.0	1.3	2.2	0.52	0.52
2O2	4.37	3.99	1.8	5.0	11.9	18.7	10	73	9	270.9	5.8	47	84.7	0.9	0.10	1.9	1.1	1.5	2.1	0.53	0.53
PIES																					
O1	4.39	3.99	2.7	5.2	21.6	29.5	9	66	2	164.8	9.5	17	48.1	0.8	0.10	1.5	1.0	1.3	1.8	0.41	0.41
O2	4.34	4.13	2.3	5.5	23.3	31.1	7	71	2	178.4	13.5	13	43.6	0.9	0.08	1.4	1.1	1.5	1.5	0.52	0.52
O3	4.51	4.30	2.0	4.8	22.5	29.3	7	71	2	181.2	12.5	14	43.1	0.9	0.07	1.3	1.1	1.5	1.4	0.57	0.57
O4	4.46	4.30	2.0	5.0	19.9	26.9	7	72	2	178.3	9.5	19	39.7	0.9	0.08	1.3	1.1	1.4	1.5	0.61	0.61
O5	4.72	4.23	1.8	5.6	24.6	32.0	6	75	2	163.2	6.8	24	37.6	1.0	0.06	1.1	1.2	1.6	1.1	0.66	0.66
BC1	4.95	4.43	1.4	3.3	21.2	25.9	5	71	1	19.1	3.4	6								1.41	1.41
BC2	4.98	4.40	1.1	2.9	20.3	24.3	4	73	1	17.5	0.9	19								1.49	1.49
P2ES																					
O1	4.28	4.01	3.0	3.2	21.0	27.2	11	52	2	180.5	13.3	14	36.5	0.8	0.11	1.8	1.0	1.3	2.3	0.43	0.43
O2	4.41	4.13	2.7	5.8	19.4	27.9	10	69	2	185.6	14.1	13	38.4	0.8	0.10	1.6	1.0	1.2	2.1	0.62	0.62
O3	4.37	4.33	2.0	6.6	17.3	25.9	8	77	2	186.1	13.2	14	42.7	0.8	0.08	1.4	1.0	1.3	1.8	0.62	0.62
O4	4.22	4.12	2.2	5.4	15.6	23.2	9	71	2	146.6	12.1	12	36.6	0.7	0.10	1.2	0.9	1.2	1.7	0.63	0.63
O5	4.23	4.23	1.9	6.3	18.5	26.7	7	77	2	113.3	10.9	10	31.8	0.8	0.07	1.3	1.1	1.4	1.5	0.67	0.67
A	4.95	4.39	1.2	4.4	12.3	17.9	7	79	1	67.6	7.6	9								0.99	0.99
AB	4.98	4.40	1.4	4.8	8.3	14.5	10	78	1	39.1	7.1	6								1.14	1.14
BA	4.32	4.22	1.2	4.2	4.3	9.7	12	78	1	21.6	6.2	3								1.26	1.26
B	4.59	4.32	0.9	4.3	3.7	8.9	10	83	1	20.8	4.0	5								1.43	1.43
C	4.69	4.29	0.8	4.6	4.1	9.5	8	86	1	13.4	2.5	5								1.53	1.53
PIRJ																					
O1	5.06	4.71	2.8	7.9	17.2	27.9	10	74	4	292.4	11.7	25	88.2	1.3	0.08	1.9	1.1	1.9	1.5	0.41	0.41
O2	5.08	4.80	2.4	7.9	12.3	22.6	11	76	3	318.8	9.9	32	87.3	1.3	0.09	1.9	1.2	1.9	1.5	0.45	0.45
O3	5.06	4.79	2.7	7.8	12.3	22.8	12	74	2	310.7	12.7	24	86.9	1.2	0.07	2.0	1.2	1.8	1.7	0.55	0.55
CR	5.61	5.26	4.7	7.7	5.4	17.8	27	62	2	16.8	1.7	10								1.41	1.41

Table 3. Continuation.

P2RJ																					
O1	4.94	4.22	3.2	8.3	11.6	23.1	14	72	4	329.7	10.7	31	92.1	1.4	0.11	2.0	1.3	2.0	1.4	0.51	0.51
O2	5.06	4.29	3.2	7.9	12.3	23.4	14	71	3	319.4	11.6	28	96.5	1.5	0.11	1.9	1.3	2.1	1.3	0.52	0.52
O3	5.08	4.28	3.2	7.8	12.2	23.2	14	71	2	323.2	9.8	33	94.0	1.6	0.11	2.3	1.3	2.2	1.4	0.53	0.53
O4	5.07	4.81	3.1	7.9	11.7	22.7	14	72	1	305.5	6.6	46	92.7	1.5	0.10	2.3	1.3	2.1	1.5	0.55	0.55
P3RJ																					
O1	5.05	4.84	2.7	8.1	12.1	22.9	12	75	4	268.2	12.7	21	82.2	1.3	0.08	2.2	1.5	2.1	1.6	0.53	0.53
O2	5.07	4.81	2.3	8.0	12.3	22.6	10	78	3	304.6	11.8	26	90.8	1.5	0.07	2.7	1.7	2.3	1.8	0.54	0.54
O3	5.06	4.83	2.2	8.3	11.7	22.2	10	79	2	288.7	10.8	27	92.1	1.5	0.06	2.7	1.7	2.3	1.8	0.54	0.54
O4	5.06	4.80	2.5	7.9	11.7	22.1	11	76	2	280.8	9.2	31	87.9	1.4	0.08	2.4	1.5	2.1	1.8	0.54	0.54
O5	5.05	4.84	2.2	8.1	11.6	21.9	10	79	2	251.7	9.3	27	92.6	1.5	0.06	2.5	1.7	2.4	1.6	0.54	0.54
2O6	5.27	4.62	2.8	7.9	9.2	19.9	14	74	1	280.3	7.6	37	80.9	1.3	0.11	2.2	1.5	2.1	1.7	0.72	0.72
2O7	5.15	4.72	2.9	7.8	8.3	19.0	15	73	1	274.8	7.4	37	75.5	1.4	0.12	2.1	1.6	2.2	1.5	0.73	0.73
2O8	5.32	4.58	3.0	7.6	7.6	18.2	16	72	1	259.2	7.5	35	69.2	1.2	0.13	2.0	1.4	1.9	1.7	0.77	0.77
2O9	5.43	4.46	3.1	8.2	5.4	16.7	18	73	1	142.7	6.2	39	63.2	1.3	0.15	1.9	1.3	2.0	1.5	0.78	0.78
P4RJ																					
O1	5.06	4.82	2.4	8.1	13.4	23.9	10	77	4	279.3	17.9	16	92.1	1.6	0.06	2.4	1.7	2.4	1.5	0.54	0.54
O2	5.07	4.62	2.9	7.8	12.3	23.0	12	73	3	284.9	14.8	19	88.1	1.3	0.09	2.2	1.4	2.0	1.7	0.55	0.55
O3	5.18	4.68	2.5	7.7	12.3	22.5	11	75	2	293.4	13.4	22	94.3	1.4	0.08	2.3	1.5	2.2	1.7	0.56	0.56
O4	5.09	4.75	2.6	7.9	12.3	22.8	11	75	2	299.7	13.4	22	93.7	1.4	0.08	2.4	1.5	2.1	1.8	0.56	0.56
2O5	5.07	4.74	2.5	8.0	9.8	20.3	12	76	2	301.3	13.1	23	88.4	1.1	0.09	2.4	1.3	1.8	2.1	0.81	0.81
2O6	5.11	4.77	2.4	7.8	10.2	20.4	12	77	1	309.9	14.3	22	92.1	1.3	0.08	2.5	1.4	2.0	2.0	0.82	0.82
2O7	5.10	4.27	3.3	7.7	11.2	22.2	15	70	1	287.9	12.3	23	85.4	1.2	0.10	2.0	1.2	1.8	1.7	0.82	0.82
2O8	5.07	4.27	3.5	7.8	12.2	23.5	15	69	1	290.9	12.4	23	85.9	1.1	0.08	2.1	1.3	1.7	1.9	0.83	0.83
2O9	5.07	4.27	3.5	8.3	12.2	24.0	15	70	1	246.2	11.5	21	89.0	1.0	0.09	1.9	1.3	1.7	1.9	0.83	0.83
2O10	5.10	4.61	2.8	8.1	11.4	22.3	12	75	1	260.6	11.0	24	89.1	1.20	0.09	2.2	1.4	1.9	1.8	0.82	0.82

Hor: Horizon; SB (sum of bases): $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$; CEC (Cation-exchange capacity): $\text{SB} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$; BS (Base saturation): $(\text{SB}/\text{T}) * 100$; m (aluminum saturation): $(\text{Al}^{3+}/(\text{Al}^{3+} + \text{SB})) * 100$; PR: Phosphorus retention
Alo, Feo, Sio: extracted by an acid ammonium oxalate; Alp: extracted by pyrophosphate; MI: Melanic Index.

The organic carbon content (C) in the diagnostic surface horizons ranged between 113.3 and 329.7 g kg⁻¹, and generally showed a decrease with depth in all profiles. The C/N ratio of surface horizons ranged from 7 to 47 (C/N = 23±6). The mean of bulk density (Bd) was 0.61±0.08 g.cm⁻³. The results are in agreement with previous findings in well-drained organic soils in the Southeastern Brazil highlands (Simas et al., 2005; Benites et al., 2005; 2007; 2012), and in the Southern Brazilian highlands (Dümig et al., 2008; Scheer et al., 2011; Santos Junior et al., 2021).

Regarding the analytical data used to identify andic properties, phosphate retention ranged from 19.70% to 96.5% (P_R = 70.5±19.8%). A close correlation was observed between P_R and C (r = 0.85), Al³⁺ (r = 0.82) and Al_o (r = 0.83) (Fig. 5). The contents of Al, Fe, and Si extracted by ammonium acid oxalate solution, ranged from 0.6 to 1.6% for Al_o (Al_o = 1.1 ± 0.2%), from 0.8 to 1.7% for Fe_o (Fe_o = 1.3±0.2%), and from 0.04 to 0.15% for Si_o (Si_o = 0.08±0.02%). In general, the values of Al extracted by sodium pyrophosphate (Al_p) were higher than Al_o, ranging from 0.8 to 2.7% (Al_p = 1.8±0.3%), and the Al_p/Al_o ratio ranged from 1.1 to 2.3 (Al_p/Al_o = 1.6±0.2). Eight of the fourteen soil profiles studied showed at least one horizon with Al_o + ½Fe_o higher than 2% (P2SP, P3SP, P2MG, P3MG, P1RJ, P2RJ, P3RJ and P4RJ). Also, a close correlation was observed between Al_o + ½Fe_o and C (r = 0.72), Al³⁺ (r = 0.79) and P_R (r = 0.84). The melanic index (MI), used to differentiate melanic from fulvic characteristics in WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) ranged from 1.3 to 2.4 (MI = 1.7±0.2).

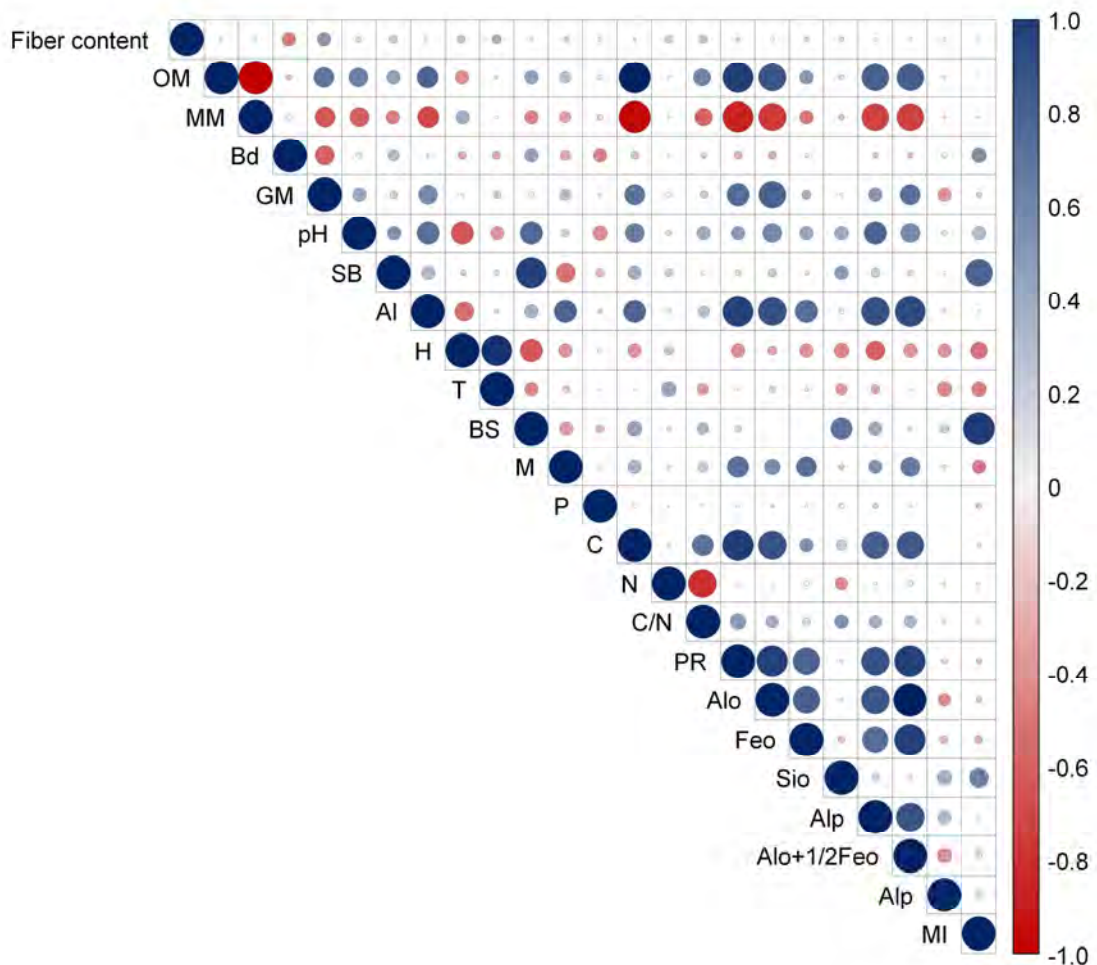


Figure 5. Correlation between soil properties determined in well to moderately well-drained organic soils from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil.

3.3 Soil classification

In the Brazilian Soil Classification System (SiBCS) (Santos et al., 2018), all soil profiles had the same classification at the great group level: *Organossolos Fólicos Sápricos*, having a O histic horizon with a thickness ≥ 40 cm, and predominantly formed by sapric organic materials (Table 4). At the subgroup level, the soils with incipient B horizon (which corresponds, in part, to the cambic horizon, in Soil Taxonomy) below the O histic, were classified as *Organossolos Fólicos Sápricos cambissólicos*.

Table 4. Classification of well to moderately well-drained organic soils from *Mantiqueira* subtropical highlands, Southeastern Brazil.

	SiBCS	WRB	ST
P1SP	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P2SP	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P3SP	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P4SP	Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P1MG	Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P2MG	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Alic Hapludand
P3MG	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Alic Hapludand
P4MG	Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P1ES	Organossolo Fólico Sáprico típico	Haplic Umbrisol (Hyperdystric, Hyperhumic)	Pachic Humudepts
P2ES	Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	Cambic Umbrisol (Hyperdystric, Hyperhumic)	Pachic Humudepts
P1RJ	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P2RJ	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P3RJ	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Typic Udifolists
P4RJ	Organossolo Fólico Sáprico típico	Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)	Typic Udifolists

SiBCS – Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2018)

WRB - World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015)

ST - Keys to Soil Taxonomy (United States, 2014)

Using the WRB (IUSS Working Group WRB, 2015), most soils were classified as Sapric Folic Histosols (Hyperdystric), having a folic horizon with low content of rubbed fiber (less than one-sixth, by volume) plus $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 4.5$, and differing only in the andic properties. Although profiles P2MG, P3MG, P1RJ, P2RJ, P3RJ, and P4RJ showed andic properties (see Table 5), in the key for Reference Soil Groups, Histosols precede Andosols. The profiles from São Paulo State, P1MG and P4MG have received the protoandic qualifier ($\text{Al}_o + \frac{1}{2}\text{Fe}_o \geq 1.2\% + \text{Bd} \leq 1 \text{ g.cm}^{-3} + \text{P}_R \geq 55\%$) as they did not meet the set of criteria for andic properties. The profiles from Espírito Santo State presented organic C contents less than 20%, and therefore, are formed by mineral material according to WRB. The profiles P1ES and P2ES are similarly classified, differing by the presence of a cambic horizon below the umbric horizon in P2ES.

Table 5. Summary of required characteristics for organic materials, surface organic diagnostic horizon (water-saturated < 30 days) and andic properties in SiBCS, WRB and ST.

	Organic Material	Surface organic diagnostic horizon (Water-saturated < 30 days)	Andic properties
SiBCS	<ul style="list-style-type: none"> • Predominance organic compounds properties; and • SOC \geq 8% (by mass) 	Histic O horizon <ul style="list-style-type: none"> • SOC \geq 8% (by mass); and • Thickness \geq 20 cm; or • Thickness \geq 40 cm + plant fibers \geq 75% (by volume); or • Thickness \geq 10 cm when overlying a lithic, fragmentary contact or a layer with 90% or more of gravel, pebbles, and boulders. 	Presence of short-range-order minerals and/or organo-metallic complexes. <ul style="list-style-type: none"> • $Al_o + \frac{1}{2}Fe_o \geq 2\%$; and • $Bd \leq 0.9 \text{ kg dm}^{-3}$; and • $P_R \geq 85\%$
WRB	<ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 20\%$ (by mass) 	Folic horizon <ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 20\%$ (by mass) • Thickness $\geq 10 \text{ cm}$ 	
ST	Water-saturated < 30 days/ normal year: <ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 20\%$ (by weight) or Water-saturated ≥ 30 days / normal year: <ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 18\%$ if mineral fraction has clay $\geq 60\%$; or • SOC $\geq 12\%$ if mineral fraction has no clay; or • SOC $\geq 12\% + (\% \text{clay} \times 0.1)\%$ if mineral fraction has clay < 60% 	Folistic Epipedon <ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 20\%$ (by weight) • Thick $\geq 15 \text{ cm}$ • Thick $\geq 20 \text{ cm} + \text{Sphagnum fibers} \geq 75\%$ (by volume) or $Bd < 0.1 \text{ g/cm}^3$ or Ap horizon that, when mixed to a depth of 25 cm, has: <ul style="list-style-type: none"> • SOC $\geq 16\%$ if mineral fraction has clay $\geq 60\%$; or • SOC $\geq 8\%$ if mineral fraction has no clay; or • SOC $\geq 8\% + (\% \text{clay} \times 0.1)\%$ if mineral fraction has clay < 60% 	SOC < 25% (by weight); plus <ul style="list-style-type: none"> • $Al_o + \frac{1}{2}Fe_o \geq 2\%$; and • $Bd \leq 0.9 \text{ kg dm}^{-3}$; and • $P_R \geq 85\%$ or <ul style="list-style-type: none"> • Volcanic glass content $\geq 5\%$; and • $Al_o + \frac{1}{2}Fe_o \geq 0.4\%$; and • $P_R \geq 25\%$; and • 30% \geq of coarse silt and sand (0.02 to 2.0 mm) in fine-earth fraction; and • [(Al plus $\frac{1}{2}$ Fe content, percent) times (15.625)] + [volcanic glass content, percent] $\geq 36.25\%$.

SiBCS – Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2018)

WRB - World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015)

ST - Keys to Soil Taxonomy (United States, 2014)

In the Soil Taxonomy (ST) (United States, 2014), 10 pedons were classified as Histosols (Typic Udifolists), with the folistic epipedon formed by organic materials. Pedons P2MG and P3MG were classified as Andisols (Alic Hapludand) as they meet the required for andic soil properties, including organic C less than 25% (see Table 4). Similar to the classification in WRB, the soils from Espírito Santo State are considered mineral soils in ST due to the lower organic C contents. P1ES and P2ES were classified as Inceptisols (Pachic Humudepts), having an umbric epipedon. The profiles from Rio de Janeiro State, although they meet part of the criteria required for andic properties, they have organic C content higher than 25%, and are therefore classified as Histosols.

3.4 $\delta^{13}\text{C}$, C_3 and C_4 derived carbon stocks, and ^{14}C dating

The $\delta^{13}\text{C}$ values ranged between -19.74 and -24.28‰ (-22.73 \pm 1.01‰) in the soils from high-altitude grassland, and between -14.82 and -28.21‰ (-21.56 \pm 2.77‰) in upper montane forest soils (Fig. 6). In the grassland sites there is a trend toward slightly more enriched $\delta^{13}\text{C}$ values in the deeper layers (-22.12 \pm 1.09‰), followed by a depletion of $\delta^{13}\text{C}$ in the middle sections of the profiles (-23.15 \pm 0.71‰), toward more enriched values (-21.61 \pm 0.87‰) at the surface, indicating the predominance of C_3 plants during soil formation, with periods of increased contribution from C_4 plants. This is confirmed by the proportions of C_3 -derived carbon by stocks (Fig. 6). Upper montane forest soils showed the same pattern, but with larger variation (> 4‰ in all profiles), indicating changes in vegetation structure. The $\delta^{13}\text{C}$ mean in the most basal layers was -20.37 \pm 1.87‰, followed by a mean of -23.34 \pm 1.93‰ in the middle session of the profiles, and -19.69 \pm 2.98‰ in the most surface horizons.

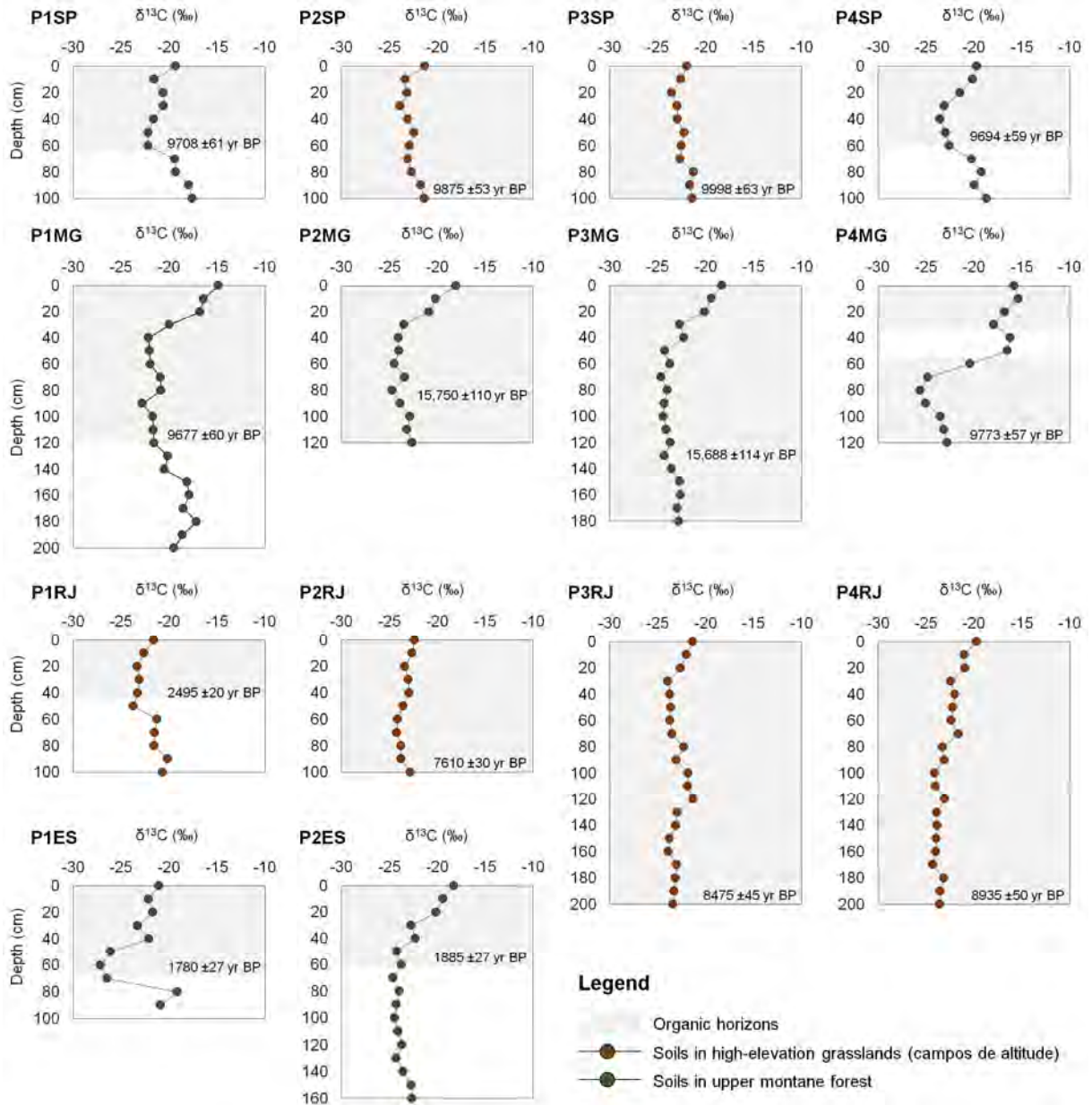


Figure 6. Depth variation of $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C ages (years BP) of the basal organic matter layers in the soil profiles.

The proportions of C_3 and C_4 derived carbon by stocks (SOC) calculated by mass balance, showed that the soils are formed predominantly by C_3 -derived carbon (Fig. 7). The mean of C_3 -derived carbon was $60.80 \pm 6.31 \text{ Mg ha}^{-1}$ in the high-altitude grassland, and $53.50 \pm 17.34 \text{ Mg ha}^{-1}$ in the upper montane forest, while the mean C_4 -derived carbon was $39.20 \pm 6.31 \text{ Mg ha}^{-1}$ in grasslands and $46.50 \pm 17.34 \text{ Mg ha}^{-1}$ in the soils from forest.

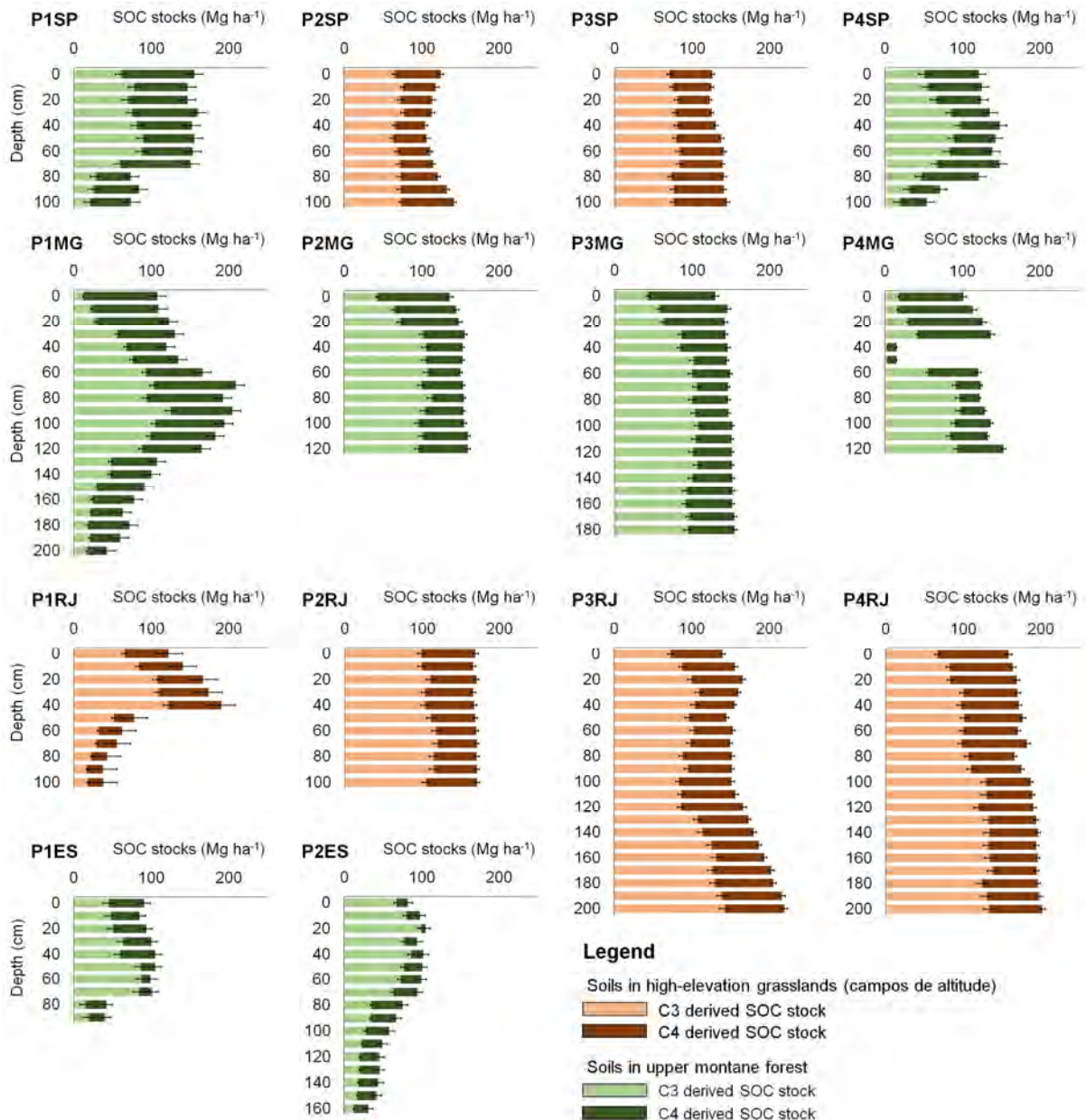


Figure 7. Depth distribution of C₄ and C₃ derived SOC stocks (Mg ha⁻¹) calculated by mass balance.

The basal radiocarbon ages are presented in Table 6. Most of the organic soils located in the states of São Paulo and Minas Gerais would have begun to form in the Pleistocene/Holocene transition (mean $11,141 \pm 124$ yr BP), except profiles P2MG and P3MG, with Late Pleistocene ages (mean $18,989 \pm 49$ yr BP). In the high-altitude grassland of the Itatiaia massif the ages were inversely related to altitude, ranging from 2495 ± 20 yr BP in P1RJ to 8935 ± 50 yr BP in P4RJ. The organic soils of Espírito Santo showed younger ages and would have started to form in the Late Holocene (mean 1742 ± 92 yr BP).

Table 6. Radiocarbon ages (^{14}C) of the basal organic matter layers in the soil profiles.

Profile ID	Elevation (m asl)	Depth (cm)	Age ^{14}C (years BP)	Calibrated age ^{14}C
P1SP	1910	50 – 60	9708 \pm 61	11,215 – 10,773
P2SP	2199	90 – 100	9875 \pm 53	11,606 – 11,155
P3SP	2157	90 – 100	9998 \pm 63	11,710 – 11,239
P4SP	1927	50 – 60	9694 \pm 59	11,203 – 10,772
P1MG	1881	110 – 120	9677 \pm 60	11,196 – 10,765
P2MG	1948	90 – 100	15,750 \pm 110	19,262 – 18,786
P3MG	2104	110 – 120	15,688 \pm 114	19,175 – 18,734
P4MG	1943	110 – 120	9773 \pm 57	11,253 – 10,807
P1ES	1745	50 – 60	1780 \pm 27	1743 – 1617
P2ES	1253	50 – 60	1885 \pm 27	1885 – 1736
P1RJ	2418	40 – 50	2495 \pm 20	2790 – 2530
P2RJ	2261	90 – 100	7610 \pm 30	8812 – 7560
P3RJ	2264	190 – 200	8475 \pm 45	9775 – 9122
P4RJ	2225	190 – 200	8935 \pm 50	9870 – 9320

3.5 Soil phytoliths

Soil phytolith assemblages are composed of morphotypes produced by Poaceae, Cyperaceae, Arecaceae, Araucariaceae, and Eudicotyledons (Fig. 8). Phytoliths in articulated form and fire-altered phytoliths were also identified and counted. Poaceae phytoliths included morphotypes produced by Panicoid (bilobate and cross) (Bremond et al., 2005, Twiss, 1992), Pooid (rondel and trapeziform) (Twiss, 1992), Chloridoid (saddle) (Twiss, 1992), bambusoid (saddle collapsed) (Montti et al., 2009). For statistical analysis of the data, morphotypes produced exclusively by grasses with no taxonomic significance were grouped into Σ long cells. Phytoliths from other families included Arecaceae (globular echinate) (Alexandre et al., 1999, Piperno, 2006, Barboni et al, 2007), Cyperaceae (cone-shape) (Piperno, 2006), Araucariaceae (crater-shape) (Parr and Watson, 2007; Chiapini et al., 2018), and those from Eudicotyledons (block, globular psilate, and globular rugose) (Bremond et al., 2005, Piperno, 2006).

The principal component analysis (PCA) applied to the absolute phytolith counts clearly separates the profiles according to the vegetation encountered at the study sites, i.e., soils in high-altitude grassland and soils in upper-montane forest (Fig 9A). Soils in high-altitude grassland showed higher values of phytoliths from Pooid, articulated phytoliths and Σ long cells, while soils in upper-montane forest showed higher values of phytoliths from Eudicotyledons (globular and block), Arecaceae, Panicoid and Chloridoid (Fig. 9A). Thus, to identify the timing of vegetation history, a new analysis was applied to each group according to the present vegetation composition (Fig 9B and C).

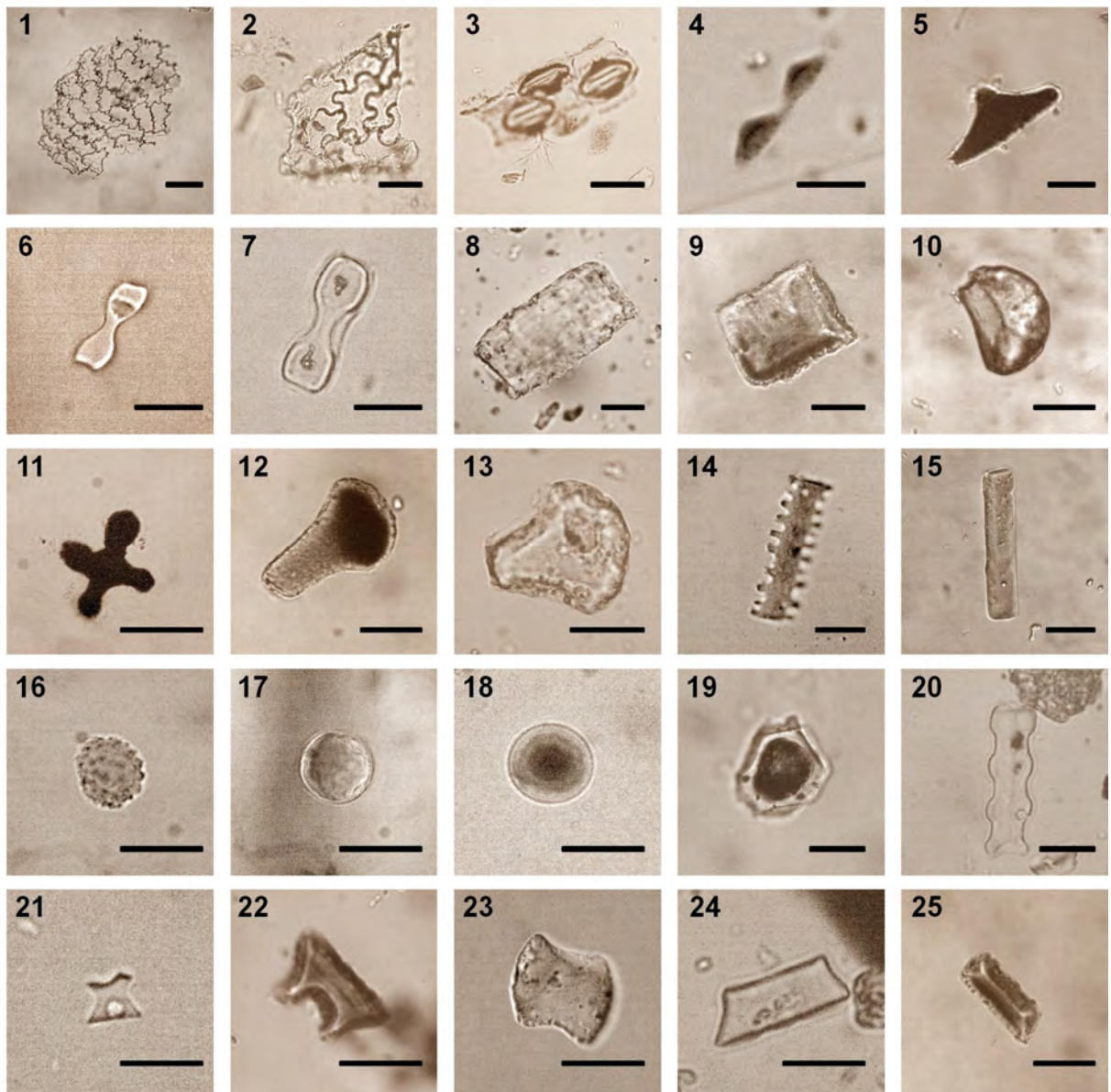


Figure 8. Main phytolith morphotypes found in soil profiles: 1) Articulated epidermal cells; 2) Articulated jigsaw-puzzle; 3) Articulated cells; 4) Articulated cone-shape; 5) Cone-shape; 6-7) Bilobates; 8-9) Parallelepipedal bulliform; 10) Crater-shaped; 11) Cross; 12-13) Cuneiform bulliform; 14) Elongate echinate; 15) Elongate psilate; 16) Globular echinate; 17) Globular rugose; 18) Globular psilate; 19) Polygonal cell; 20) Polylobate; 21) Rondel; 22) Saddle collapsed; 23) Saddle; 24-25) Trapeziform. Bar = 20 μ m.

In the PCA applied to the soils in high-altitude grassland, PC1 and PC2 explained 67.77% of the variance of the data (Fig. 9B). Three groups can be identified by similarity of phytolith assemblages: (1) most basal layers (generally the last 60 cm), with higher frequency of fire-altered phytoliths, bulliforms, Pooid and Σ long cells; (2) middle-section profile layers, marked by higher values of Cyperaceae, Eudicotyledons, Panicoid and Chloridoid; and (3) most superficial layers (usually the first 30 cm from surface), with higher percentage of articulated phytoliths, Bambusoid, Araucariaceae and Arecaceae.

In the PCA applied on the phytoliths of soils in upper-montane forest (Fig. 9C), it is also possible to identify three groups: (1) most basal layers (generally the last 50 cm), marked by high values of bulliforms, Pooid, block and fire-altered phytoliths; (2) middle-section profile layers, defined mainly by higher values of globular (Eudicotyledons), Araucariaceae and

Cyperaceae; and (3) most superficial layers (usually the first 20 cm from surface), with higher values of Panicoid, Chloridoid, Arecaceae and Bambusoid. The profiles from Espírito Santo state (P1ES and P2ES) differ in this third group, by higher values of Σ long cells and fire-altered phytoliths.

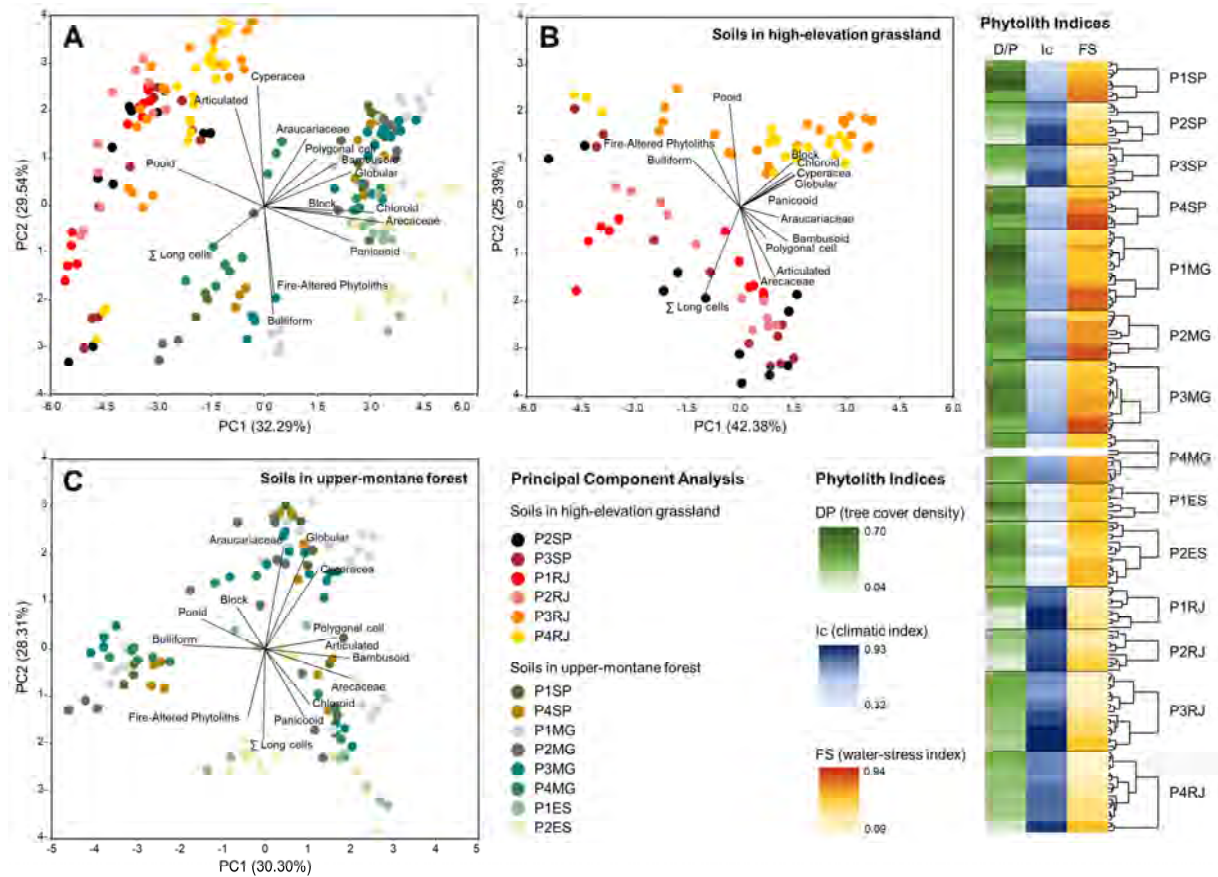


Figure 9. Principal Components Analysis performed on phytolith data from all profiles (A), high-elevation grassland soils (B) and upper-montane forest soils (C). Phytolith indices and Cluster Analysis on each soil profile revealing variations in environmental conditions.

Phytolith indices reflect the changes in phytolith assemblages in the profiles. The D/P index is the ratio of ligneous dicotyledons (D) phytoliths over Poaceae phytoliths (P) (Alexandre et al., 1997; Bremond et al., 2005), and indicates the tree cover density. Values ranged between 0.04 to 0.23 (mean 0.14 ± 0.05) in soils from high-altitude grassland, and between 0.14 to 0.70 (mean 0.34 ± 0.14) in soils from upper-montane forest. Ic is a climatic index for temperature (Twiss, 1992; Bremond et al., 2008), because a high Ic represents higher quantities of Pooid, which adapt to the cool climates prevalent at high altitudes (Barboni et al., 2010). Ic values ranged between 0.76 to 0.93 (mean 0.85 ± 0.06) in soils from high-altitude grassland, and between 0.32 to 0.80 (mean 0.58 ± 0.13) in soils from upper-montane forest. The water stress index (FS) measures the water stress and transpiration suffered by the grasses (Bremond et al., 2005). High FS values suggest low water availability (Barboni et al., 2007). Values ranged between 0.09 to 0.43 (mean 0.21 ± 0.09) in soils from high-altitude grassland, and between 0.23 to 0.94 (mean 0.49 ± 0.18) in soils from upper-montane forest.

3.6 DISCUSSION

3.6.1 Soil formation and processes

The main variation between the soil profiles is the relative thickness and presence or absence of mineral horizons. Well-drained organic soils in the southeastern Brazilian highlands are formed in two pedoenvironments: (1) directly on bedrock or fragments of bedrock, in high-elevation grasslands, or (2) above mineral soil horizons, in upper montane forests. In both conditions, the cool and humid climate, typically of high-elevation areas is the main soil-forming factor, not only by hindering the decomposition of OM (reducing microbial decomposition), but also influencing the vegetation above and physical/chemical properties of the resulting soils. All soils contain low fiber content (RF= 10±5%), due to the primarily aerobic conditions, being predominantly formed by highly decomposed organic material (sapric materials). Similar organic soils have been described in the Mantiqueira, associated to the rock outcrops/grasslands and under dense Atlantic Forest, suggesting a broader presence of this soil class in altitudes > 1600 m on igneous and metamorphic lithologies (Benites et al. 2001; 2007; Simas et al. 2005).

According to the pedoenvironment there are specific soil characteristics, as revealed by the statistical clustering of the profiles (Fig. 10). The role played by these pedoenvironments in soil formation depends on various local factors related to topography, differences in moisture and temperature, differences in quality and variety of source organic materials, which will influence the rate of decomposition and accumulation of organic materials. Soils formed in high-altitude grassland, only with O horizons on bedrock or saprolite (CR), have higher C content ($C = 265.4 \pm 42.2 \text{ g kg}^{-1}$) and C stocks ($\text{SOC} = 0.41 \pm 0.23 \text{ kg m}^{-2} \text{ cm}^{-1}$), due to the colder climate that prevails, compared to soils in forest environments ($C = 215.4 \pm 32.9 \text{ g kg}^{-1}$ and $\text{SOC} = 0.29 \pm 0.17 \text{ kg m}^{-2} \text{ cm}^{-1}$). Another factor that may contribute to this difference is the vegetation influence on organic matter properties - in this environment litter is mainly composed of leaves and fine roots of C_3 grasses, assumed to be less decomposable. Previous studies in these environments showed that organic matter presents larger biostability/persistence and reactivity due to the origin of the vegetable residues (Benites et al., 2005; Balieiro et al., 2012). The vegetation type is known to influence the chemical characteristics of organic matter and their decomposition in organic soils (Schellekens et al., 2015; Silva et al., 2019). Unlike in mineral soils, in which two protection mechanisms - aggregation and organo-mineral association - are the most important drivers for organic matter accumulation, these mechanisms are negligible in organic-rich soils due to the lack of minerals. In these soils, besides environmental conditions (hydrology and temperature) a factor deemed important for organic matter decomposability is its chemical composition, which controls degradability, among other factors (von Lützow and Kögel-Knabner, 2009; Conant et al., 2011; Leifeld et al., 2012).

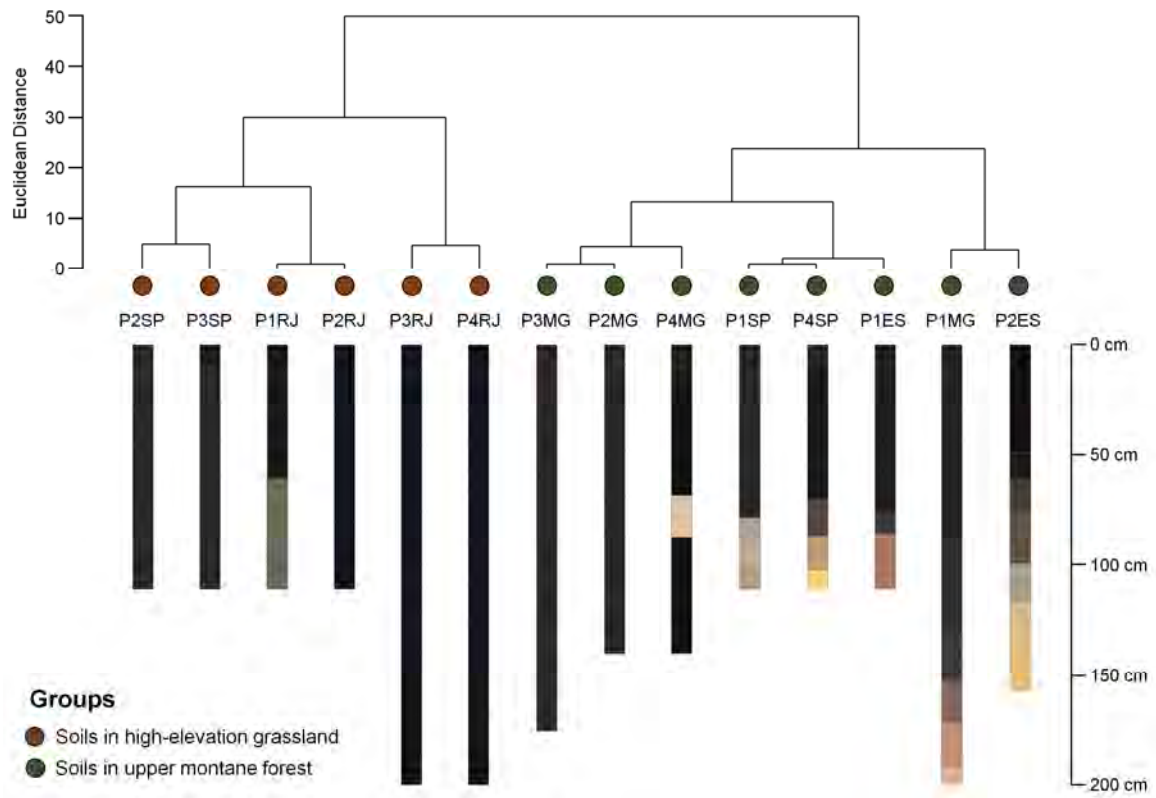


Figure 10. Clustering of soil profiles as a function of soil chemical and physical properties.

Elevation exerts direct and indirect controls on the spatial and temporal distribution of the studied soil profiles. Considering the ^{14}C datings of the basal organic layers, it is possible to conclude that the slope position controls the age of soils in the high-altitude grasslands. The correlation between altitude and ^{14}C dating (Fig. 11A) in the profiles described in these environments (P2SP, P3SP, P1RJ, P2RJ, P3RJ and P4RJ) shows that the radiocarbon age of the basal layers decreases with increasing altitude ($R^2 = 0.95$). A similar trend was observed by Silva et al. (2020) studying the radiocarbon age of the basal layer of peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional (MG). The authors conclude that the colder climate of the Late Pleistocene limited the formation of peatlands above 1570 m. In the case of the soil profiles studied, the main factor controlling the age is the relief³. In the higher areas in the high-altitude grassland soils are shallower and associated with rock outcrops due to the higher slope, which limits soil development due to erosive processes. In the middle and lower third of slope, still in a condition of good drainage, the soils are thicker and formed by materials deposited in situ and transported.

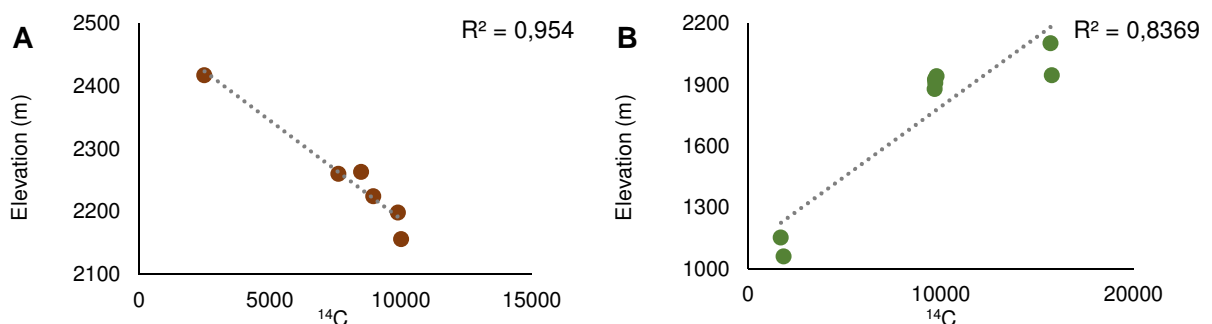


Figure 11. Scatterplot showing the correlation between altitude and ^{14}C dating in soils from high-elevation grassland (A) and upper-montane forests (B).

Another important process in the soil formation, not only but especially in high-altitude grasslands seems to be colluviation. The profiles with thicker organic horizons (P3RJ and P4RJ) present discontinuity in the parent material, indicating the occurrence of buried soil/horizons. Both are in same hillslope positions (middle third of slope). Geomorphological studies with ^{14}C ages of colluvium and peat-rich sediments have already shown that the Quaternary evolution of the highlands in the Serra da Mantiqueira, has a cyclic character, with intensive episodes of hillslope degradation, by mass movements, and by stability intervals (Modenesi et al., 1996; 2000; 2011). Mass movement processes differ in each plateau according to environmental conditions. ^{14}C ages observed in the profiles of this study are similar to the basal part of soils developed over colluvium dated between 8630- and 9250-years cal BP in the Serra da Mantiqueira (Modenesi et al., 2002).

In the soils formed in upper-montane forest an opposite pattern is observed in relation to altitude and ^{14}C dating (Fig. 11B). This is probably related to the colder climate in the higher environments, which contributes to the preservation of OM. With decreasing elevation and increasing temperature there is an increase in turnover of soil organic carbon, since the decomposition of OM is sensitive to soil temperature (Leifeld et al., 2009; Schindlbacher et al., 2010). Also, forest soils showed higher fiber content compared to those in grasslands, probably related to the higher quantity and diversity of inputs. There is a greater diversity of litter sources during soil formation, demonstrated by the variations in $\delta^{13}\text{C}$ ($> 4\text{‰}$ in all profiles), indicating changes in vegetation structure (Fig. 6 and 7). Forest litter are drastically different leaf litter, which influences soil physical and chemical characteristics. Woody roots including those with a small diameter can also contribute large amounts of organic matter to forest soils. Although root litter inputs are highly variable across ecosystems, they represent a transfer of organic matter and nutrients to the soil of the same magnitude as foliar litter (McCormack et al., 2015; Berg and McLaugherty, 2020).

Chemical properties of organic soils and their classification also reflect important soil properties in relation to genesis. The strong acid reaction, low sum of bases, dystrophic character, and higher saturation of Al^{3+} and potential acidity ($\text{H}+\text{Al}$) are characteristics recognized to contribute to organic matter accumulation in peatland organic soils (Silva et al., 2009a, b; Silva et al., 2013a, b; Horák-Terra et al., 2014) as well in well-drained organic soils (Simas et al., 2005; Dümig et al., 2008; Benites et al., 2005; 2007; 2012; Scheer et al., 2011; Santos Junior et al. 2021). Several soil properties as high PR, Al_0/Al_p and low bulk densities are strongly related to the high content of organic matter. Thus, a key process for the development of the andic properties is the accumulation of organic matter (Dümig et al., 2008; Santos Junior et al. 2021). The difference between the classifications is related to C content, depth, and the set of criteria used to identify andic properties (PR, Al_0 , Feo, Sio, Al_p and MI). As in other studies in the highlands of Brazil (Dümig et al., 2008; Santos Junior et al. 2021), the occurrence of andic properties is associated with the highland environment with high humidity and low temperatures, favored by a relatively fast weathering, in an acid environment, rich in organic material, associated with the formation of organometallic complexes, with a predominance of Al in these forms, therefore, these are non-allophanic andic soils with organometallic complexes or aluandic soils (IUSS Working Group WRB, 2015).

We tried to elaborate a conceptual scheme for soil formation in the distinct pedoenvironments (Fig. 12). Upland organic soils occur as accumulations of litter in various stages of decomposition. Considering the multiple-process model of Simonson (1959, 1978) the main common pedogenetic process is addition of litter from different sources (grasses and trees) at the soil surface and by roots, followed by transformation (decomposition/humification) of the organic materials. The combination of these processes is referred as littering (Fox and Tarnocai, 2011; Bockheim, 2014).

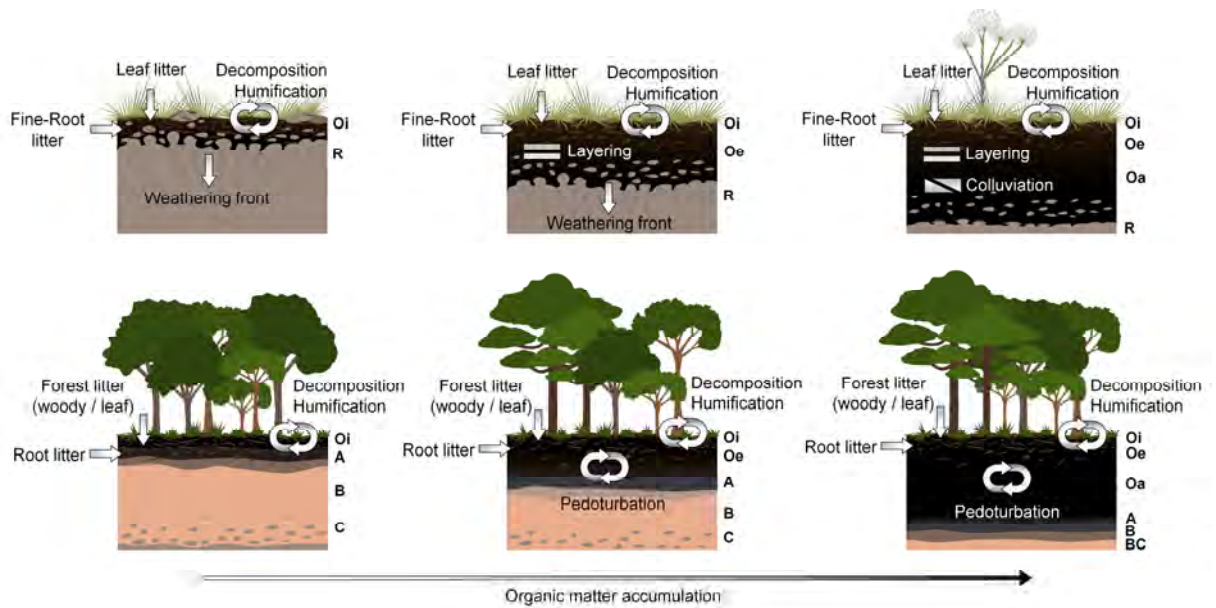


Figure 12. General scheme for organic soil formation in the studied pedoenvironments.

In soils formed on bedrock, soil horization (layering) occurs with the accumulation of raw litter (Oi) over layers of decomposed/humified material (Oe). Colluviation may occur and contribute to soil thickening in the lower slope positions. No variations in vegetation type were observed in the studied profiles in high-altitude grassland, suggesting that these soils are formed mainly by C_3 grass plant residues. Forest soils differ by the diversity of litter sources (woody/leaf) and a greater contribution of roots. In this case, besides litter addition and transformation (decomposition/humification), pedoturbation by fauna and tree roots seem to be important processes in soil formation and development. In both cases (forest and grassland) the soils at a more advanced stage of evolution are formed of highly decomposed organic materials (Oa). As in other studies in Brazilian highlands, the occurrence of andic properties is related to the cold and humid climate of these high-altitude areas in addition to the acid weathering, promoting an accumulation of organic matter, and its stabilization by the formation of organo-metallic complexes, especially Al-humus (Dümig et al., 2008a; 2008b; Santos et al., 2021).

3.6.1 Timing of vegetation history

Depth records in soil profiles reveal the integrated vegetation history. Based on phytolith, $\delta^{13}C$, C_3 and C_4 derived carbon stocks, and ^{14}C dating we tried to reconstruct the possible environmental phases during the soil formation in the Serra da Mantiqueira (Fig. 13). The deeper layers in all profiles seem to indicate cooler and wetter environmental conditions than present. Considering the phytolitic zones identified by Cluster Analysis (Fig. 9), the highest values of the phytolitic indices Ic (climatic index) and FS (water-stress index) are registered at the base of the profiles (Ic = 0.90 ± 0.02 and FS = 0.34 ± 0.07 in high-altitude grassland, Ic = 0.67 ± 0.16 and FS = 0.67 ± 0.20 in upper-montane forest). In addition, a higher frequency of fire-altered phytoliths is observed indicating a higher occurrence of fire-events, probably associated with lower humidity. The lower tree cover density (DP) values in the deeper phytolith zones also indicate more open vegetation (DP = 0.07 ± 0.03 in high-altitude grassland and DP = 0.20 ± 0.02 in upper-montane forest). Principal Component Analysis and ^{14}C dating in the profiles P2MG and P3MG allow to infer that this phase would have occurred in the Late Pleistocene before ~ 18.9 k yr BP. Between ~ 18.9 k and 11,1 yr BP a small increase in moisture is indicated by the presence of Araucaria phytoliths and $\delta^{13}C$ values.

These interpretations are supported by previous studies conducted in the highlands of southeastern Brazil. Behling (1997a), through the analysis of palynological records in a peat bog at Morro de Itapeva (SP), identified variations in vegetation composition in the past, possibly associated with climatic changes. During the last glacial period (35,000 - 17,000 years B.P.), an expansion of high-altitude grasslands and absent forest formations would indicate a markedly cooler and drier climate than present. In Botucatu (SP), Behling et al. (1998) analyzed pollen and charcoal records in sediments rich in organic matter which indicated environmental changes in the Late Quaternary. A vegetation cover of grasslands with small clusters of subtropical forest, associated with cooler and drier climatic conditions was recorded during the recorded glacial period (30,000 and 18,000 years B.P.), with fires occurring in the grassland vegetation. Behling et al. (2007) studied the pollen and charcoal records in the Serra da Bocaina (RJ) and reported that during the period between 18,570 and 14,570 B.P. extensive grasslands with frequent burning existed in the higher part of the Serra da Bocaina which, together with other evidence, indicate relatively dry and cool climatic conditions for this period. Cooler and wetter conditions between ~29.6 and 16.9k yr BP are also reported by Horák-Terra et al. (2020) investigating a peat core in the Serra do Espinhaço Meridional (MG).

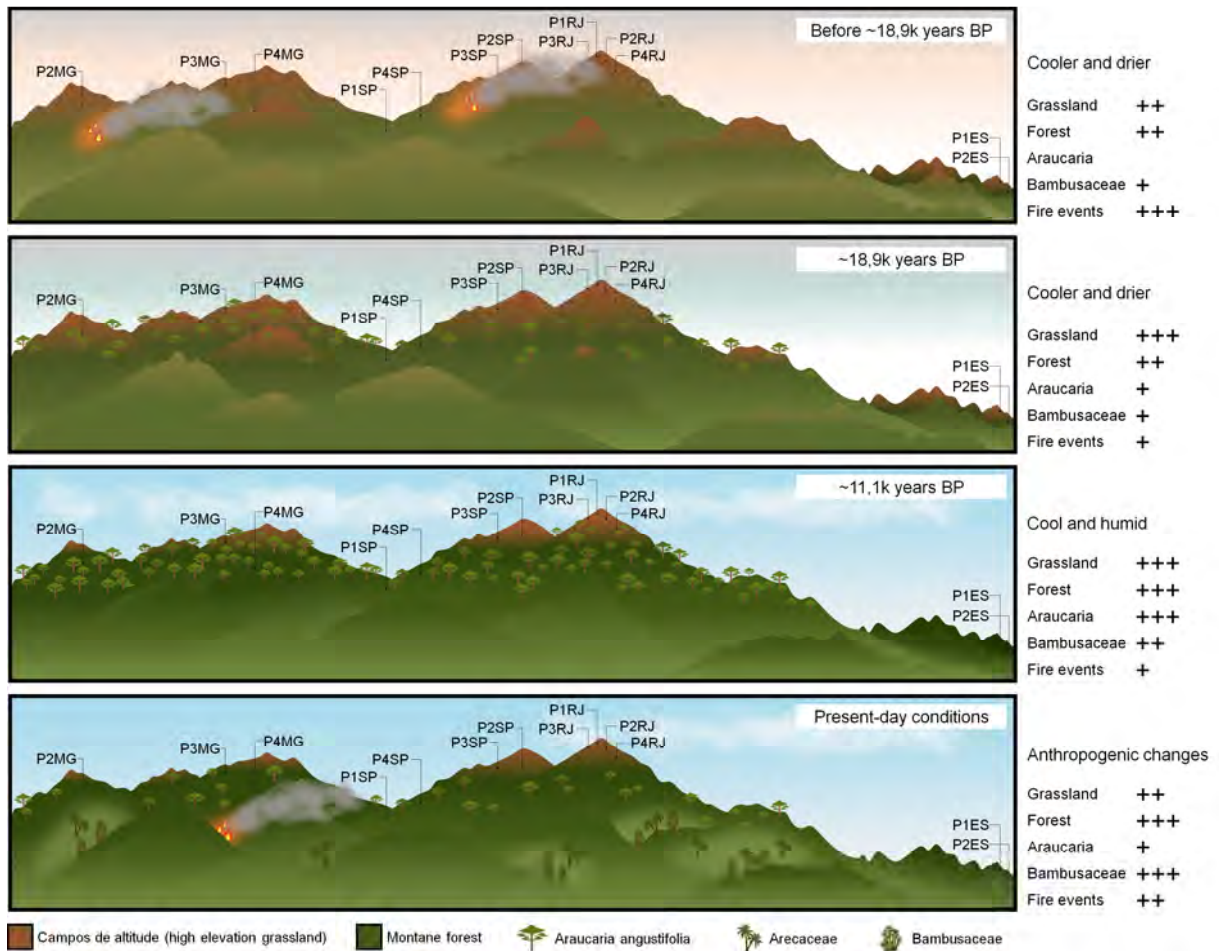


Figure 13. Schematic diagram (unscaled) of Serra da Mantiqueira and environmental interpretation of vegetation history.

In the Pleistocene/Holocene transition (~11.1k yr BP), the records in the profiles suggest an increase in temperature and humidity and establishment of present-day climatic conditions. The median phytolitic zone of the profiles indicates an increase in tree/shrub individuals ($SD = 0.13 \pm 0.03$ in the high-altitude grasslands and $SD = 0.45 \pm 0.10$ in upper-montane forest), less

cold conditions than the previous phase ($Ic = 0.84 \pm 0.02$ in the high-altitude grasslands and $DP = 0.60 \pm 0.09$ in upper-montane forest), and wetter ($FS = 0.20 \pm 0.05$ in the high-altitude grasslands and $DP = 0.46 \pm 0.12$ in upper-montane forest). In the upper-montane forests the increased moisture in the region is associated with a higher frequency of *Araucaria* phytoliths. A depletion in $\delta^{13}C$ values and reduction in the percentage of fire-altered phytoliths also support this interpretation. Many studies document the maximum expansion of *Araucaria* forest in southeastern and southern Brazil, supporting the hypothesis of increasing effective moisture in the Holocene (Behling, 1995, Behling, 1997, Behling, 2007; Behling et al., 2004; 2020; Behling and Safford, 2010; Jeske-Pieruschka et al., 2010, Jeske-Pieruschka et al., 2012; Portes et al., 2018a; 2018b).

De Oliveira (1992) based on palynological analysis of a core collected in Serra Negra (MG) inferred an *Araucaria* forest would have extensively dominated the landscape of western Minas Gerais, and possibly most areas above 800 m in southeastern Brazil. In Salitre (MG), Ledru (1993), observed the presence of *Araucaria* pollen grains and other elements associated with the Mixed Ombrophylous Forest between ~15,5 and 10,3k years BP, suggesting a decrease in temperature in the region during the late Pleistocene. Behling et al. (2007) report the presence of *Araucaria* since the Late Pleistocene. Saia et al. (2008) found evidence of a wetter climate in São Paulo highlands, around 14,1k yr BP, with increased predominance of C_3 plants, indicating an expansion of the forest. A similar result is reported by Pessenda et al. (2009), in the Serra do Mar (SP), from 15.6 yr BP a substantial increase in tree and grass elements, indicating a more humid and warmer climate. Behling and Safford (2010) studying pollen and charcoal records in a high-altitude grassland peatland in the Serra dos Órgãos (RJ) found that at 10,2k yr BP there was a reduction of high-altitude grasslands paralleled by an expansion of altomontane forest to higher altitudes, reflecting a wetter and warmer period (temperatures similar to higher than present) at the end of the *Younger Dryas*.

The surface layers of the profiles, statistically clustered in a phytolytic zone, suggest a new change in environmental conditions. In the high-altitude grassland this phase is marked by an increase in shrubby individuals, indicated by the higher DP value = 0.20 ± 0.02 and a trend towards less cold conditions ($Ic = 0.82 \pm 0.02$) and with lower water-stress ($FS = 0.13 \pm 0.02$). In the upper-montane forest, the DP values are lower than in the previous phase ($DP = 0.29 \pm 0.05$), indicating a reduction in tree cover density, and the Ic and FS values indicate less cold and wetter conditions ($Ic = 0.45 \pm 0.05$ and $FS = 0.34 \pm 0.04$). The phytolithic zone is also marked by a reduction of *Araucaria* phytoliths, increased percentage of Bambusoid and Areaceae phytoliths as well in fire-altered phytoliths. The more enriched values of $\delta^{13}C$ in the most surface horizons ($-21.61 \pm 0.87\%$ in high-altitude grassland and $-19.69 \pm 2.98\%$ in upper-montane forest) and increase in C_4 derived SOC stock also reflect an integrated change in vegetation. Based on this evidence, we interpret this phase as a result of anthropogenic changes in the present-day conditions. Previous studies have already reported the human impacts in the mosaic of upper-montane forest / high-altitude grasslands in southeastern Brazil (Behling and Safford, 2010; Veríssimo et al., 2012; Portes et al., 2018a; 2018b).

Portes et al. (2018) reports a high-resolution paleoecological in Serra da Bocaina National Park, southeastern Brazil, over the last seven centuries, with the influence of two highly distinct civilizations and the transition between them: Amerindian/pre-Columbian and European/post-Columbian. Evidence is strong that Amerindians maintained more open highland habitats probably through slash and burn agriculture. After the arrival and establishment of Europeans with permanent communities and agriculture, it led to the loss of forest and a renewed expansion of grasslands. Although fire has been recognized as a natural disturbance factor in the Brazilian highlands (Behling, 1997b; Safford, 2001; Behling et al., 2007; Behling and Safford, 2010; Veríssimo et al., 2012), after the arrival of humans at these mountain sites, fires mostly occurred during the dry season in very warm and windy conditions;

the fires can be enormous (Portes et al., 2018a). The general increase of fire in the SE Brazilian mountains over the last half-millennium is largely due to modern human activities related to land clearing and livestock production and is occurring in spite of a climatic trend toward higher annual precipitation (Behling et al., 2020). Regarding to climate change and effects on highland vegetation, Behling and Safford (2010) suggested that future global warming was likely to intensify the upward movement of the Atlantic Forest at the expense of open ecosystems like the altitude field vegetation. Like other studies of palaeovegetation in the southeastern Brazilian mountains, record shows a clear of replacement of altitude field altitude vegetation by forest vegetation.

3.6 CONCLUSIONS

Upland organic soils (Folic Histosols) in the highland environments of Serra da Mantiqueira are formed by accumulation of litter (plant residues) in two pedoenvironments: (i) directly on bedrock in the high-elevation grasslands, by the processes of addition and transformation of the litter, which constitute the parent material from these soils; and (ii) in upper-montane forests, with organic horizons formed under mineral horizons. In both conditions, the cold and humid climate and vegetation (organisms) are the main soil-forming factors, not only reducing the decomposition of organic matter, but influencing the physical and chemical properties of the soils. The cold and humid climate of the high montane environments in southeastern Brazil results in soils with andic properties (non-allophanic).

Based on phytolith records, $\delta^{13}\text{C}$, C_3 and C_4 plant-derived carbon stocks, and ^{14}C dating, it was possible to infer four environmental conditions: Phase I (before ~18,9k yr BP), climate cooler and drier than present, with predominance of subtropical grassland vegetation and fire events; Phase II (~18,9k yr BP to ~11,1k yr BP), slight increase in humidity, decrease in fire events and expansion of forest formations, with rare presence of *Araucaria angustifolia*; Phase III (from ~11,1k years BP) increase in humidity, establishment of current conditions (cold and humid climate, typical of southeastern Brazilian highlands), and marked presence of *Araucaria* in upper-montane forests; Phase IV (present) environmental changes related to increased fire events, reduction of *Araucaria* and increase of Bambusoid, Arecaceae and C_4 plants, possibly resulted from human activities.

4 CONCLUSÕES GERAIS

A formação de solos orgânicos em condições de drenagem livre, está relacionada com a história da vegetação e variações das condições climáticas no passado. Com base nos registros de fitólitos, $\delta^{13}\text{C}$, estoques de carbono derivados de plantas C_3 e C_4 , e datações ^{14}C foi possível inferir 4 momentos ambientais: Fase I (antes de ~18.900 anos AP), clima marcadamente mais frio e seco do que o atual, com predomínio de vegetação de campos subtropicais e ocorrência de incêndios; Fase II (~18.900 anos AP a ~11.100 anos AP), ligeiro aumento de umidade, diminuição de incêndios e expansão de formações florestais, com rara presença de *Araucaria angustifolia*; Fase III (a partir de ~11.100 anos AP) aumento da umidade, com estabelecimento das condições atuais (clima frio e úmido, típico dos ambientes altomontanos), e marcada presença de *Araucaria* nas florestas altomontanas; Fase IV (presente) mudanças ambientais relacionadas com o aumento da ocorrência de incêndios, redução de indivíduos de *Araucaria* e aumento de Bambusoid, Arecaceae e plantas C_4 , possivelmente ligada à atividades humanas.

Os Organossolos Fólicos nos ambientes altomontanos da Serra da Mantiqueira são formados por acumulação de liteira (resíduos da vegetação) e podem ocorrer dois pedoambientes: (1) diretamente sobre rochas nos campos de altitude, pelos processos de adição e transformação da liteira, que constituem o material parental desses solos; e (2) em florestas altomontanas, com horizontes hísticos formados sobre horizontes minerais. Em ambos os casos, o clima frio e úmido e a vegetação (organismos) são os principais fatores de formação, não apenas reduzindo a decomposição da matéria orgânica, mas influenciando as propriedades físicas e químicas dos solos. O clima frio e úmido dos ambientes altomontanos na região sudeste do Brasil resulta em solos com propriedades ândicas (não-alofânicos).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, G.D., SWAIN, E.Y., MUHAMMAD, A.B., ALLTON, K., BELYEA, L.R., LAING, C.G., COWIE, G.L. Effect of water-table fluctuations on the degradation of Sphagnum phenols in surficial peats. *Geochim. Cosmochim. Acta* 106, 177–191, 2013.

Ab'SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos da América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Instituto de Geografia. Paleoclimas*, 3:1-19, 1977.

AHR, S. W.; NORDT, L.C.; SCHAETZL, R.J. Lithologic discontinuities in soils. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, 1:1-8, 2016.

ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; CABANES, D. Palaeoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania, based on phytolith remains. *Quaternary International*, 193(2):41-48, 2009.

ALBERT, R.M.; WEINER, S. Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach. In: MEUNIER, J.D., COLINE, F. (Eds.), *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. A.A. Balkema Publishers, Lisse, p. 251-266, 2001.

ALEMAN, J. C.; CANAL-SUBITANI, S.; FAVIER, C.; BREMOND, L. Influence of the local environment on lacustrine sedimentary phytolith records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 414:273-283, 2014.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER J.D.; COLIN, F.; KOUD, J.M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(3):677-682, 1997.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; MARIOTTI, A., SOUBIES, F. Late Holocene phytolith and carbon isotope record from a latosol at Salitre, south-central Brazil, *Quaternary Research*, 51:187-194, 1999.

ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., DE BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A., Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev.* 17, 1–29, 1981.

ANJOS, L.H.C.; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, H.G.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. In: KER, J.C.; CURIN.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.), *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 303-343, 2012.

AUGUSTIN, C.H.R.R., COE, H.H.G., CHUENG, K.F., GOMES, J.G., Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. *Geomorphologie* 4, 355–376, 2014.

BALIEIRO, F.C., DE MELO BENITES, V., ALVES, B. J. R., FONTANA, A., CANELLAS, L. P. Vegetation influence on organic matter source of black soils from high altitude rocky complexes traced by ¹³C and ¹⁵N isotopic techniques. *Catena*, 99, 97-101, 2012.

BARBONI, D.; BREMOND, L.; BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 246: 454-470, 2007.

- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65(1): 10–21, 2014.
- BECKER, C. G., RODRIGUEZ, D., ZAMUDIO, K. R. The Brazilian Adirondacks. *Science* (New York, NY), 340(6131), 428. 2013.
- BEHLING, H. 2003. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Vegetation History Archeobotany*, 12:263–270, 2003.
- BEHLING, H. A high-resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: Vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, 14:253-268, 1995.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129(3-4), 407-422, 1997.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. *Review of palaeobotany and palynology*, 99(2), 143-156, 1998.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: A synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177:19-27, 2002.
- BEHLING, H., DUPONT, L., SAFFORD, H.D., WEFER, G. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in the Serra da Bocaina, southeastern Brazil. *Quat. Int.* 161, 22–31, 2007.
- BEHLING, H., LICHTER, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical SE Brazil. *Quat. Res.* 48, 348–358, 1997.
- BEHLING, H.; SAFFORD, H.D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, SE Brazil. *Global Change Biology*, 16:1661-1671, 2010.
- BENITES, V. D. M., CAIAFA, A. N., MENDONÇA, E. D. S., SCHAEFER, C. E., KER, J. C. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e ambiente*, 10(1), 76-85, 2012.
- BENITES, V. D. M., DE SÁ MENDONÇA, E., SCHAEFER, C. E. G., NOVOTNY, E. H., REIS, E. L., KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127(1-2), 104-113, 2005.
- BENITES, V. M., SCHAEFER, C. E. G., SIMAS, F. N., SANTOS, H. G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Brazilian Journal of Botany*, 30(4), 569-577, 2007.
- BENITES, V.C.; CAIAFA, A.N.; MENDONÇA, E.S.; SHAEFER, C.E.G.R.; KER, J. C. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e Ambiente*, 10(1):76-85, 2003.
- BENITES, V.M., DE SÁ MENDONÇA, E., SCHAEFER, C. E. G., NOVOTNY, E. H., REIS, E. L., KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127(1-2), 104-113, 2005.

- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Brazilian Journal of Botany*, 30:569-77, 2007.
- BISPO, D.A., SILVA, A.C., CHRISTOFARO, C., SILVA, M.L.N., BARBOSA, M.S., SILVA, B.P.C., BARRAL, U.M. Characterization of headwaters peats of the Rio Araçuaí, Minas Gerais state, Brazil. *Rev. Bras. Ci. Solo* 39, 475–489, 2015.
- BISPO, D.F.A.; SILVA, A.C.; MATOSINHOS, C.C.; SILVA, M.L.N.; BARBOSA, M.S.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M.; FABRIS, J.D. Hydrology and carbon dynamics of tropical peatlands from Southeast Brazil. *Catena*, 143:18-25, 2016.
- BOCKHEIM, J.G. Soil endemism and its relation to soil formation theory. *Geoderma* 129, 109–124, 2005.
- BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJAO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D.; VARAJAO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Brazilian cerrado. *Journal of Geochemical Exploration*, 88(1):172-176, 2006.
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T.W., YAMAZAKI, S.I. (Eds.), *Mass Spectrometry of Soils*. Marcel Dekker, New York, p. 47-82, 1996.
- BOUTTON, T.W.; ARCHER, S.R.; MIDWOOD, A.J.; ZITZER, S.F.; BOL, R. $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem. *Geoderma* 82:5-41, 1998.
- BREEMEN, N.; BUURMAN, P. *Soil formation*. 2 ed. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 404, 2002.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; HÉLY, C.; GUIOT, J. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change*, 45:277-293, 2005a.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32, 311- 327, 2005b.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; VÉLA, E.; GUIOTA, J. Advantages and disadvantages of phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean vegetation: an assessment based on modern phytolith, pollen and botanical data (Luberon, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 129(4), 213-228, 2004.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M.J.; HÉLY, C.; SCHÄFER, P.A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change*, 61:209-224, 2008.
- BREMOND, L.; FAVIER, C.; FICETOLA, G.F.; TOSSOU, M.G.; AKOUÉGNINOU, A.; GIELLY, L.; SALZMANN, U. Five thousand years of tropical lake sediment DNA records from Benin. *Quaternary Science Reviews*, 170:203-211, 2017.

BROOKS, T. M., MITTERMEIER, R. A., DA FONSECA, G. A. B., GERLACH, J., HOFFMANN, M., LAMOREUX, J. F., RODRIGUES, A. S. L. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, 313(5783), 58–61.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. Soil genesis and classification. John Wiley Sons. 544 p. 2011.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; MC CRACKEN, R.J. Soil genesis and classification. 3 ed. Ames, Iowa State University Press, p. 404, 1980.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCRACKEN, R.J.; SOUTHARD, R.J. Soil genesis and classification. 4 ed. Ames, Iowa State University Press, p. 527, 1997.

BUURMAN, P. Classification of paleosols - a comment. *Quaternary International*, 51(7) 17-33, 1998.

CABANES, D.; BURJACHS, F.; EXPÓSITO, I.; RODRÍGUEZ, A.; ALLUÉ, E.; EUBA, I.; VERGÉS, J.M. Formation processes through archaeobotanical remains: the case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International*, 193:160-173, 2009.

CALEGARI, M.R. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos. 259p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L.T.; PESSENDA, L.C.R.; BUSO, A.A.; FRANCISQUINI, M.; VIDAL-TORRADO, P. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary International*, 437:1-17, 2017.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; BUSO JUNIOR, A.A.; OSTERRIETH, M.; LORENTE, F.L.; PESSENDA, L.C.R. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 6:41-50, 2015.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X.L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. *Quaternary International*, 287, 56-62, 2013a.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R.; MARQUES, F.A. Combining phytoliths and soil organic matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: the example of an oxisol in Brazil. *Quaternary International*, 287:47-55, 2013b.

CALEGARI, S. S., PEIFER, D., NEVES, M. A., DE ANDRADE CAXITO, F. Post-Miocene topographic rejuvenation in an elevated passive continental margin not characterized by a sharp escarpment (northern end of the Mantiqueira Range, Brazil). *Geomorphology*, 393, 107946, 2021.

CAMPBELL, C.A.; PAUL, E.A.; RENNIE, D.A.; McCALLUM, R.J. Applicability of the carbon dating method of analysis to soil humus studies. *Soil Science*, 104:217-224, 1967.

- CAMPOS, J.R.R., SILVA, A.C., NANNI, M.R., DOS SANTOS, M., VIDAL-TORRADO, P. Influence of the structural framework on peat bog distribution in the tropical highlands of Minas Gerais, Brazil. *Catena* 156, 228–236, 2017
- CAMPOS, J.R.R., SILVA, A.C., SLATER, L., NANNI, M.R., VIDAL-TORRADO, P. Stratigraphic control and chronology of peat bog deposition in the Serra do Espinhaço Meridional, Brazil. *Catena* 143, 167–173, 2016.
- CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.M.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:1217-1227, 2011.
- CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; VASCONCELLOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMAO, R.V.; SILVA, E.B.; GRAZZIOTTI, P.H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area pau-de-fruta - Diamantina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1965-1975, 2010.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AAMARAL-SOBRINHO; N.M.B. Reações da matéria orgânica. IN: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Gênese, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. p. 69-90, 1999.
- CASTRO, D.F.; ROSSETTI, D.F.; COHEN, M.C.L.; PESSEDA, L.C.R.; LORENTE, F.L. The growth of the Doce River Delta in northeastern Brazil indicated by sedimentary facies and diatoms. *Diatom Research*, 28:455-466, 2013.
- CATT, J. A. Paleopedology manual. *Quaternary International*, 6:1-95, 1990.
- CHARMAN, D. *Peatlands and Environmental Change*. Chichester: John Wiley Sons, Ltd. P. 320 p. 2002.
- CHESWORTH, W. *Encyclopedia of soil science*, *Encyclopedia of earth sciences series*. Dordrecht, The Netherlands Springer XXVI. 902 p. 2008.
- CHESWORTH, W., CORTIZAS, A. M., GARCÍA-RODEJA, E. The redox–pH approach to the geochemistry of the Earth's land surface, with application to peatlands. *Developments in Earth surface processes*, 9, 175-195, 2006.
- CHUENG, K. F., COE, H. H. G., AUGUSTIN, C. H. R. R., MACARIO, K. D., RICARDO, S. D. F., VASCONCELOS, A. M. C. Landscape paleodynamics in siliciclastic domains with the use of phytoliths, sponge spicules and carbon isotopes: The case of southern Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102232, 2019.
- CHURCHILL, S.P.; BALSLEV, H.; FORERO, E.; LUTEYN, J.L. (Eds.), 1995. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, Bronx, New York. 550 p., 1995.
- COE H.H.G. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo frio, RJ, durante o Quaternário. 340p. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

COELHO, R.M.; ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A. Solos da Mata Atlântica. In: CURI et al. (Ed). Pedologia: solos dos Biomas Brasileiros. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 261-302 p.

CONANT, R. T., RYAN, M. G., ÅGREN, G. I., BIRGE, H. E., DAVIDSON, E. A., ELIASSON, P. E., BRADFORD, M. A. Temperature and soil organic matter decomposition rates—synthesis of current knowledge and a way forward. *Global change biology*, 17(11), 3392-3404, 2011.

COSTA, C. R., HORÁK-TERRA, I., COE, H. H. G., CHUENG, K. F., MACHADO, D. O. B. F., DE CAMARGO, P. B., SILVA, A. C. Multi-proxy analysis of a Holocene records from a high-altitude tropical peatland in the Serra do Espinhaço Meridional, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 116, 103795, 2022.

DE OLIVEIRA, P.E. A palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil. 244p. Tese. The Ohio State University Columbus, Ohio. 1992.

DELHON, A.A.; BERGER, J.F.; THIÉBAULT, S.; BROCHIER, J.L.; MEUNIER, J.D. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation, *Quaternary Research*, 59:48-60, 2003.

DELHON, C. Phytolith and pedoanthracology analysis of “off-site” Holocene sequences from Mondragon (Middle Rhone Valley, south of France). In: ZURRO, D. MADELLA, M. (Eds.), *Recent Studies in Phytolith Analysis*, Oxbow Books, Plants People and Places, p. 175-188, 2007.

DÜMIG, A., SCHAD, P., KOHOK, M., BEYERLEIN, P., SCHWIMMER, W., KÖGEL-KNABNER, I. A mosaic of nonallophanic Andosols, Umbrisols and Cambisols on rhyodacite in the southern Brazilian highlands. *Geoderma*, 145(1-2), 158-173, 2008a.

DÜMIG, A., SCHAD, P., RUMPEL, C., DIGNAC, M. F., KÖGEL-KNABNER, I. Araucaria forest expansion on grassland in the southern Brazilian highlands as revealed by 14C and $\delta^{13}C$ studies. *Geoderma*, 145(1-2), 143-157, 2008b.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PÉREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67:261-271, 2008.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PÉREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; GOMES, F.W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:325-336, 2011.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p. 1999.

ERLANK, A.J.; SMITH, H.S.; MARCHANT, J.W.; CARDOSO, M.P.; AHRENS, L.H. Zirconium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.), *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, p. 102-143, 1978.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. *Soil Morphology, Genesis, and Classification*. New York, John Wiley, p. 544, 1989.

FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBICK, K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, 40:503-537, 1989.

FONTANA, A.; SOARES, P.F.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. Solos com altos teores de matéria orgânica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.), *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília: Embrapa, p. 426-437, 2017.

FRANCHI, J. G., SÍGOLO, J. B., & MOTTA, J. F. M. Diagnóstico das turfas no Brasil: histórico da utilização, classificação, geologia e dados econômicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(1), 179-190, 2006.

GIBBS, H. K., A. S. RUESCH, F. ACHARD, M. K. CLAYTON, P. HOLMGREN, N. RAMANKUTTY, AND J. A. FOLEY. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107: 16732–16737, 2010.

GONÇALVES, T. S. origem e evolução fitogeográfica dos capões de mata associados aos ecossistemas de turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG. Tese. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. UFMG, 274 p. 2021.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. *Global Planetary Change*, 33: 95-106, 1999.

GRIMM, E.C. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Computers Geosciences*, 13:13-35, 1987.

HALLETT, R.B.; KYLE, P.R. XRF and INAA determinations of major and trace elements in geological survey of Japan igneous and sedimentary rock standards. *Geostandards Newsletter* 17, 127–133, 1993.

HART, G.; LEONARD, R.E.; R.S. PIERCE. Leaf fall, humus depth, and soil frost in a northern hardwood forest. *US Forest Service Research, Note NE-131*. 12, 1962.

HAYWARD, D.M.; PARRY, D.W. Electron-probe microanalysis studies of silica deposition in barley (*Hordeum sativum* L.). *Annual Botany*, 37:579-591, 1973.

HEILBRON M, PEDROSA-SOARES AC, CAMPOS NETO MC, TROUW RAJ, JANASI VA
Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto et al. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Becca, São Paulo, pp 203–234, 2004.

HEMPEL, J.; MICHELI, E.; OWENS, P.; MCBRATNEY, A. Universal Soil Classification System Report from the International Union of Soil Sciences Working Group. *Soil Horizons*, 54(2):0-13, 2013.

HORÁK-TERRA, I.; CORTIZAS, A.M.; SILVA, A.C.; CAMARGO, P.B.; VIDAL-TORRADO, P. Characterization of properties and main processes related to the genesis and

evolution of tropical mountain mires from Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brazil. *Geoderma*, 234:183-197, 2014.

HORÁK-TERRA, I.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; LUZ, C.F.P.; RIVAS-LÓPEZ, P.; SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Holocene climate change in central-eastern Brazil reconstructed using pollen and geochemical records of Pau de Fruta mire (Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 437, 117–131, 2015.

HORÁK-TERRA, I.; VIDAL-TORRADO, P.; SILVA, A. C.; PESSEDA, L. C. R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Southern Espinhaço (Brazil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:41-52, 2011.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1983. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto Radambrasil, Rio de Janeiro.

IBRAHIM, M.A.; LAL, R. Soil Carbon and Silicon Pools across a Drained Catena in Central Ohio, USA. *Soil Horizons*, 55(5):12-21, 2014a.

IBRAHIM, M.A.; LAL, R. Soil carbon and silicon pools across an un-drained toposequence in central Ohio. *Catena*, 120, 57–63, 2014b.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 192 p. 2015.

JACKSON, R.B.; LAJTHA, K.; CROW, S.E.; HUGELIUS, G.; KRAMER, M.G.; PIÑEIRO, G. The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 419-45, 2017.

JANZEN, H. Henry. The soil remembers. *Soil Science Society of America Journal*, v. 80, n. 6, p. 1429-1432, 2016.

JENNY, H. Factors of Soil Formation: A system of quantitative pedology. McGraw-Hill, New York. p.144, 1941.

JOLY, C. A., METZGER, J. P., TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New phytologist*, 204(3), 459-473, 2014.

JOOSTEN, H., TAPIO-BISTRÖM, M. L., TOL, S. Peatlands: guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012.

JOOSTEN, H.; CLARKE, D. Wise use of mires and peatlands -Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Saarijärvi: International Mire Conservation Group and International Peat Society. 304 p. 2002.

JUGGINS, S. C2 Version 1.5 User Guide. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK, p. 73, 2007.

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

KIRCHNER, A., NEHREN, U., BEHLING, H., HEINRICH, J. Mid-and late Holocene fluvial dynamics in the tropical Guapi-Macacu catchment, Southeast Brazil: the role of climate change and human impact. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 426, 308-318, 2015.

KÖCHY, M.; HIEDERER, R.; FREIBAUER, A. Global distribution of soil organic carbon—part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil*, 1, 351-65, 2015.

KOLKA, RANDALL K.; RABENHORST, MARTIN C.; SWANSON, DAVID. 2011. Histosols. In: Huang, P.M.; Li, Y.; Sumner, M.E., eds. *Handbook of soil sciences properties and processes*, 2nd edition. Boca Raton, FL: CRC Press: 33.8-33.39.

LAL, R. 2013. Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*, 4(4): 439–462.

LAL, R.; GRIFIN, M.; APT. J.; LAVE, L.; MORGAN, M.G. Managing soil carbon. *Science*; 304-393, 2004.

LEDRU, M. P., MONTADE, V., BLANCHARD, G., HÉLY, C. Long-term spatial changes in the distribution of the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, 48(2), 159-169, 2016.

LEDRU, M. P., MOURGUIART, P., RICCOMINI, C. Related changes in biodiversity, insolation and climate in the Atlantic rainforest since the last interglacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 271(1-2), 140-152, 2009.

LEDRU, M. P., ROUSSEAU, D. D., CRUZ, F. W., RICCOMINI, C., KARMANN, I., MARTIN, L. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. *Quaternary Research*, 64(3), 444-450, 2005.

LEDRU, M.P. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, 39:90-98, 1993.

LEDRU, M.P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; LORSCHETTER, M.L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. *Journal Palaeobotany Palynology*, 99:131-142, 1998.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580):1-60, 2015.

LEIFELD, J., MENICHETTI, L. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature communications*, 9(1), 1-7, 2018.

LEIFELD, J., STEFFENS, M., GALEGO-SALA, A. Sensitivity of peatland carbon loss to organic matter quality. *Geophysical Research Letters*, 39(14), 2012.

- LEIFELD, J., ZIMMERMANN, M., FUHRER, J., CONEN, F. Storage and turnover of carbon in grassland soils along an elevation gradient in the Swiss Alps. *Global Change Biology*, 15(3), 668-679, 2009.
- LOISEL, J., GALLEGOS-SALA, A. V., AMESBURY, M. J., MAGNAN, G., ANSHARI, G., BEILMAN, D. W. WU, J. (2021). Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature climate change*, 11(1), 70-77, 2021.
- LU, H.Y.; LIU, K.B. Phytolith indicators of hurricane overwash and coastal environmental changes. Abstract of the 97th Annual Meeting of the Association of American Geographers, New York. 13p., 2001.
- LYNN, W. C.; MCKINZIE, W. E.; GROSSMAN, R. B. Field laboratory tests for characterization of Histosols. In: STELLY, M. (Ed.). *Histosols: their characteristics, classification and use*. Madison: Soil Science Society of America, p. 11-20. 1974.
- MACHADO, D. O. B. F., CHUENG, K. F., COE, H. H. G., SILVA, A. C., & COSTA, C. R. Paleoenvironmental reconstruction of the headwaters of the preto river, Minas Gerais state, Brazil, through siliceous bioindicators. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103349, 2021.
- MADELLA, M., JONES, M.K., ECHLIN, P., POWERS-JONES, A., MOORE, M. Plant water availability and analytical microscopy of phytoliths: implications for ancient irrigation in arid zones. *Quaternary International*, 193(1-2):32-40, 2009.
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, Oxford, 96(2):253-260, 2005.
- MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. *Quaternary International*, 275:76-83, 2012.
- MANTOVANI, L. E.; FRITZSONS, E.; PARANHOS FILHO, A. C.; MONTEIRO, C. da S. A evolução dinâmica das savanas subtropicais sul americanas. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 5, n.1, p. 42-55, 2003.
- MARQUES NETO, R., OLIVEIRA, T. A. D. Itatiaia Massif: morphogenesis of southeastern Brazilian highlands. In *Landscapes and landforms of Brazil* (pp. 299-308). Springer, 2015.
- MARTINELLI, G., BANDEIRA, J. *Campos de Altitude*. Index, Rio de Janeiro. 1989.
- MARTINI, I. P., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., CHESWORTH, W. Peatlands: a concise guide to the volume. *Developments in Earth Surface Processes*, 9, 1-13, 2006.
- MEYERS, P. A preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114:289-302, 1994.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. *Londres, Soil Research*, 4(2):183-98, 1934.
- MILNES, A.R.; FITZPATRICK, R.W. Titanium and zirconium minerals. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environment*, 2 ed. Soil Science Society America, Madison, WI, p. 1131-1205, 1989.

- MINASNY, B.; BERGLUND, Ö.; CONNOLLY, H. C.; VRIES, F.; GIMONA, A.; KEMPEN, B.; KIDD, D.; LILJA, H.; MALONE, B.; McBRATNEY, A. Digital mapping of peatlands - a critical review. *Earth Science Reviews*, 196, 102-178, 2019.
- MITCHELL, P. B., HUMPHREYS, G. S. Litter dams and microterraces formed on hillslopes subject to rainwash in the Sydney Basin, Australia. *Geoderma*, 39(4), 331-357, 1987.
- MODENESI, M. C. 1983: Weathering and morphogenesis in a tropical plateau. *Catena* 10, 237-251.
- MODENESI, M. C. 1992: Depósitos de vertente e evolução quaternária do planalto do Itatiaia – RJ. *Revista do Instituto Geológico* 13, 31-46.
- MODENESI, M. C. 2000: Hillslope deposits and the Quaternary evolution of the altos campos – Serra da Mantiqueira, from Campos do Jordão to the Itatiaia Massif. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 508-514.
- MODENESI, M. C. TOLEDO, M. C. M. 1996: Weathering and the formation of hillslope deposits in the tropical highlands of Itatiaia – Southeastern Brazil. *Catena* 27, 81-103.
- MODENESI, M. C., HIRUMA, S. T. RICCOMINI, C. 2002: Morphotectonics of a high plateau on the northwestern flank of the Continental Rift of southeastern Brazil. *Geomorphology* 43, 257-271.
- MODENESI, M. C., TOLEDO, M. C. M., HIRUMA, S. T., TAIOLI, F. SHIMADA, H. 2011: Deep weathering and landscape evolution in a tropical plateau. *Catena* 85, 221-230.
- MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M. N. O.; SILVA, T. M. Geometria do relevo e estratigrafia do quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro – médio vale do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*. v.21, n. 3, p.255-265. 1991.
- MULHOLLAND, S.C. Phytoliths shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. *Journal of Archaeological Science*, 16:489-511, 1989.
- MULHOLLAND, S.C.; RAPP, JUNIOR. G. Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archeological and Museum Science. Plenum Press, Berlim. p.350, 1992.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A., KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858, 2000.
- NEUMANN, K.; STRÖMBERG, C.A.E.; BALL, T.; ALBERT, R.M.; VRYDAGHS, L.; CUMMINGS, L.S. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, 124(2), 189-199, 2019.
- OLIVEIRA, J.B. Solos do Estado de São Paulo: Descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônomo, 1999. 108p.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T., FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. *Biotropica*, 32, 793-810, 2000.

OSTERRIETH, M.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M. F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. *Quaternary International*, 193:70-79, 2009.

PAGE, S. E., RIELEY, J. O., BANKS, C. J. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global change biology*, 17(2), 798-818, 2011.

PEARSALL, D.M. *Paleoethnobotany: A Handbook of Procedures*. Left Coast Press, Berlim. 544p, 2016.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P., ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. CARDOSO, E.J. (Eds) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4. p.233-276, 2005.

PESSENDA, L. C. R., DE OLIVEIRA, P. E., MOFATTO, M., DE MEDEIROS, V. B., GARCIA, R. J. F., ARAVENA, R. ETCHEBEHERE, M. L. (2009). The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research*, 71(3), 437-452, 2009.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; BOULET, R. 1996. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, 38(2):191-201, 1996.

PESSENDA, L.C.R.; BUSO JUNIOR, A.A.; GOUVEIA, S.E.M.; LORENTE, F.L.; FRANCISQUINI, M.I. *Estudos Interdisciplinares na Reconstrução Milenar da Dinâmica Climática, da Vegetação e Marinha - Série Didática*. CENA/USP, Piracicaba. 144p., 2015.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R. Radiocarbon dating of total soil organic matter and humin fraction and its comparison with 14C ages of fossil charcoal. *Radiocarbon*, 43(2B):595-601, 2001.

PESSENDA, L.C.R.; SAIA, S.E.M.G; GOUVEIA, S.E.M.; LEDRU, M.P.; SIFFEDINE, A.; AMARAL, P.G.C.; BENDASSOLLI, J.A. Last millennium environmental changes and climate inferences in the Southeastern Atlantic Forest, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82, 717-729, 2010.

PHILBEN, M., KAISER, K., BENNER, R. Does oxygen exposure time control the extent of organic matter decomposition in peatlands? *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 119, 897–909, 2013.

PHILLIPS, J.D.; LORZ, C. Origins and Implications of Soil Layering. *Earth-Science Reviews*, 89(3):144-155, 2008.

PIERUSCHKA, V., BEHLING, H. Palaeoenvironmental history of the São Francisco de Paula region in southern Brazil during the late Quaternary inferred from the Rincão das Cabritas core. *The Holocene*, 22(11), 1251-1262, 2012.

PIERUSCHKA, V., LEDRU, M. P. A Mata Atlântica no final do Quaternário: Dinâmicas climatobotânicas e antropogênicas desde o Último Máximo Glacial. *Metamorfoses florestais: Culturas, ecologias e as transformações históricas da Mata Atlântica*. Prismas, Curitiba, 37-53, 2016.

PIPERNO, D.R. *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Lanham MD - AltaMira Press, San Diego. 2006

PIPERNO, D.R.; BECKER, P. Vegetational history of a site in the central Amazon basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. *Quaternary research*, 45(2):202-209, 1996.

PORTES, M. C. G., SAFFORD, H. D., MONTADE, V., BEHLING, H. Pollen rain–vegetation relationship along an elevational gradient in the Serra dos Órgãos National Park, southeastern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 283, 104314, 2020.

PORTES, M.C.G.O., SAFFORD, H., BEHLING, H. Humans and climate as designers of the landscape in Serra da Bocaina National Park, southeastern Brazil, over the last seven centuries. *Anthropocene* 24, 61–71, 2018.

REIMER, P.J.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BLACKWELL, P.G.; BRONK-RAMSEY, C.; BUCK, C.E.; CHENG, H.; EDWARDS, R.L.; FRIEDRICH, M.; GROOTES, P.M.; GUILDERSON, T.P.; HAFLIDASON, H.; HAJDAS, I.; HATTÉ, C.; HEATON, T.J.; HOFFMAN, D.L.; HOGG, A.G.; HUGHEN, K.A.; KAISER, K.F.; KROMER, B.; MANNING, S.W.; NIU, M.; REIMER, R.W.; RICHARDS, D.A.; SCOTT, E.M.; SOUTHON, J.R.; STAFF, R.A.; TURNEY, C.S.M.; VAN DER PLICHT, J. *IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP*. *Radiocarbon*, 55:1869-1887, 2013.

RETALLACK, G.J. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. 2 ed. Unwin Hyman, London. p. 520, 2001.

REUTER, G. A logical system of paleopedological terms. *Catena*, 41:93-109, 2000.

RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J., HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153, 2009.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in central Africa - quantities, shapes, classification, and spectra. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 107(2):23-53, 1999.

RYDIN, H.; JEGLUM, J. K., BENNETT, K. D. *The biology of peatlands*, Oxford University Press. 432 p. 2013.

SAADI, A. Neotênica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, 1:1-15, 1993.

SAFFORD, H.D. MARTINELLI, G. Southeast Brazil. In: *Inselbergs: Biotic diversity of isolated rock outcrops in: Barthlott, W., Porembski, S. (eds) Tropical and temperate regions*. Ecological Studies No. 146. Springer-Verlag, Berlin, pp. 339- 389, 2000.

SAFFORD, H.D., 1999. Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *J. Biogeogr.* 26, 693–712.

SAFFORD, H.D., Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26, 693-712, 1999a.

SAFFORD, H.D., Brazilian Páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26, 713-737, 1999b.

SAIA, S. E. M. G., PESSEDA, L. C. R., GOUVEIA, S. E. M., ARAVENA, R., BENDASSOLLI, J. A. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Quaternary International*, 184(1), 195-201, 2008.

SANTOS JUNIOR, J. B. D., ALMEIDA, J. A. D. Andic properties in soils with histic horizon "O" in the highlands of Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45., 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 356 p. 2018.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2015.

SCHAEFER, C.E.G.R. Bases Físicas da Paisagem Brasileira: Estrutura Geológica, Relevo e Solos. *Tópicos em Ciência do Solo*, 8:221-278, 2013.

SCHAETZL, R.; THOMPSON, S. *Soils: genesis and geomorphology*. Cambridge; Cambridge University Press, p. 817, 2015.

SCHARLEMANN, J. P., TANNER, E. V., HIEDERER, R., KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1), 81-91, 2014.

SCHEER, M.B; CURCIO, G.R; RODERJAN, C.V. Environmental functionalities of upper montane soils in Serra da Igreja, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1113-1126, 2011.

SCHELLEKENS, J., BRADLEY, J. A., KUYPER, T. W., FRAGA, I., PONTEVEDRA-POMBAL, X., VIDAL-TORRADO, P., BUURMAN, P. The use of plant-specific pyrolysis products as biomarkers in peat deposits. *Quaternary Science Reviews*, 123, 254-264, 2015.

SCHELLEKENS, J.; HORAK, I.; BUURMAN, P.; SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Holocene vegetation and fire dynamics in central-eastern Brazil: Molecular records from the Pau de Fruta peatland. *Organic Geochemistry*, 77:32-42, 2014.

SCHINDLBACHER, A., DE GONZALO, C., DÍAZ-PINÉS, E., GORRÍA, P., MATTHEWS, B., INCLÁN, JANDL, R. Temperature sensitivity of forest soil organic matter decomposition along two elevation gradients. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 115(G3).

SCHUUR, E.A.G.; MCGUIRE, A.D.; GROSSE, G.; HARDEN, J.W.; HAYES, D.J.; HUGELIUS, G.; KOVEN, C.D.; KUHR, P.; LAWRENCE, D.M.; NATALI, S.M.;

OLEFELDT, D.; ROMANOVSKY, V.E.; SCHÄDEL, C.; SCHAEFER, K.; TURETSKY, M.; TREAT, C.; VONK, J.E. Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature*, 520, 171-179, 2015.

SILVA NETO, E. C. Fitólitos como registros paleoambientais em solos de ambientes altomontanos no estado do Espírito Santo. [Dissertação] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018.

SILVA NETO, E.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; CALEGARI, M.R.; AZEVEDO, A.C.; SCHIAVO, J.A.; PESSENDA, L.C.R. Phytoliths as paleopedological records of an histosol-cambisol-ferralsol sequence in Southeastern Brazil. *Catena*, 193, 104642, 2020.

SILVA NETO, E.C.; PEREIRA, M.G.; CARVALHO, M.A.; CALEGARI, M.R.; SCHIAVO, J.A.; SA, N.P.; ANJOS, L.H.C.; PESSENDA, L.C.R. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 1-12, 2019.

SILVA NETO, E.S.; SANTOS, J.J.S.; PEREIRA, M.G.; MARANHÃO, D.D.C.; BARROS, F.D.C.; ANJOS, L.H.C. Paleoenvironmental Characterization of a High-Mountain Environment in the Atlantic Forest in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42:1-17, 2018.

SILVA, A. C.; HORAK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:41-52, 2011.

SILVA, A. C.; Horák-Terra, I.; Barral, U.M.; COSTA, C.R.; GONÇALVES, S.T.; PINTO, T.; Silva, B.P.C.; FERNANDES, J.S.C; MENDONÇA FILHO, C.V.; VIDAL-TORRADO, P. Altitude, vegetation, paleoclimate, and radiocarbon age of the basal layer of peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102728, 2020.

SILVA, A. C.; VIDAL TORRADO, P. Gênese dos Latossolos Húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:329-341, 1999.

SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINEZ-CORTIZAS, A.; RODEJA, E. GARCIA. Solos do topo da Serra São José (Minas Gerais) e suas relações com o paleoclima no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(3):455-466, 2004.

SILVA, A.C., BARBOSA, M.S., BARRAL, U.M., SILVA, B.P.C., FERNANDES, J.S.C., VIANA, A.J.S., MENDONÇA FILHO, C.V., BISPO, D.F.A., Christofaro, C., Ragonezi, C., Guimaraes, L.R., Guilherme, L.R.G. Organic matter composition and paleoclimatic changes in tropical mountain peatlands currently under grasslands and forest clusters. *Catena* 180, 69–82, 2019.

SILVA, A.C.; HORAK, I.; CORTIZAS, A.M.; VIDAL-TORRADO, P.; RACEDO, J.R.; GRAZZIOTTI, P.H.; SILVA, E.B.; FERREIRA, C.A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG: I - Caracterização e Classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1385-1398, 2009a.

SILVA, A.C.; HORAK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; CORTIZAS, A.M.; RACEDO, J.R.; CAMPOS, J.R.R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG: II - influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1399-1408, 2009b.

SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P.; PEREZ, M.G.; MARTIN NETO, L.; MACIAS-VAZQUEZ, F. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em toposseqüência de Latossolos do Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1059-1068, 2007.

SILVA, E. V.; SILVA, A.C.; PEREIRA, R.C.; CAMARGO, P.B.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M.; MENDONÇA FILHO, C.V. Composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da matéria orgânica do solo de uma turfeira tropical: I - composição florística, fitomassa e acúmulo de carbono. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:21-133, 2013.

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M.M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O.; HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em Organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2007-2013, 2008.

SILVA, M. L.; SILVA, A.C.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M.; SOARES, P.G.S.; VIDAL-TORRADO, P. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço meridional - Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1149-1157, 2013.

SIMAS, F.; SCHAEFER, C.; FERNANDES FILHO, E.; CHAGAS, A.; BRANDÃO, P. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma*, 125(3-4), 187-201, 2005.

SOARES, P.F.C.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PESSENDA, L.C.R. Histosols in an upper montane environment in the Itatiaia Plateau. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40:1-16, 2016.

SOMMER, M.; KACZOREK, D.; KUZYAKOV, Y.; BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes– a review. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, 169:310-329, 2006.

SPEHN, E.M., RUDMANN-MAURER, K., KÖRNER, C., MASELLI, D. (Eds.), 2010. *Mountain Biodiversity and Global Change*. GMB-DIVERSITAS, Basel.

STRADIC, S.L.; BUISSON, E.; FERNANDES, G. W. Vegetation composition and structure of some Neotropical mountain grasslands in Brazil. *Journal of Mountain Science*, 12(4), 864-877, 2015.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. SCHNETDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 127, 2002.

STROMBERG, C.A.; WERDELIN, L.; FRIIS, E.M.; SARAÇ, G. The spread of grass-dominated habitats in Turkey and surrounding areas during the Cenozoic: phytolith evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 250(4):18-49, 2007.

STROMBERG, C.A.E. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 207:239-275, 2004.

TABARELLI, M., PINTO, L. P., SILVA, J. M. C., HIROTA, M., BEDE, L. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology*, 19(3), 695–700, 2005.

TARGULIAN, V.O.; ARNOLD, R.W.; Miller, B.A.; Brevik, E.C. Pedosphere. *Encyclopedia of Ecology*, 4:162-168, 2019.

TARGULIAN, V.O.; GORYACHKIN S.V. Soil memory and environmental reconstructions. *Eurasian Soil Science*, 44(4):464-465, 2011.

TARGULIAN, V.O.; Goryachkin S.V. Soil memory: types of record, carriers, hierarchy and diversity. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21:1-8, 2004.

TARGULIAN, V.O.; GORYACHKIN, S.V. Soil memory: essence, bearers, space and time behavior, in *Materials of the International Symposium “Functions of soils in the geosphere-biosphere systems”*: Moscow. p. 270-272, 2001.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa; 2017.

TWISS, C.; SUESS, E.; SMITH, R.M. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 33:109-115, 1969.

TWISS, P.C. Predicted world distribution of C₃ and C₄ grass phytoliths. In: TWISS, P.C. (Ed.), *Phytolith systematics*. Springer, Boston, MA, p. 113-128, 1992.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. *Keys to soil taxonomy*. 12th ed. Washington, DC, 360 p. 2014.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. *Soil classification: a comprehensive system: 7th approximation*. Washington, DC, 265 p. 1960.

VALLADARES, G.S. *Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação*. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003. 115p. (Tese de Doutorado)

VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.B.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G.; BENITES, V.M. Análise dos Componentes Principais e Método Multicritério Ordinais no Estudo de Organossolos e Solos Afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:285-296, 2008.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C; EBELING, A.G.; BENITES, V.M.; MOUTA, R.O. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(6):763-777, 2007.

VERÍSSIMO, N., SAFFORD, H. D., BEHLING, H. Holocene vegetation and fire history of the Serra do Caparaó, SE Brazil. 22, 1243–1250, 2012.

vonLÜTZOW, M., AND I. KÖGEL-KNABNER (2009), Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition-what do we know? *Biol. Fertil. Soils*, 46, 1–15, 2009.

WACKER, L.; FAHRNI, S.M.; HAJDAS, I.; MOLNAR, M.; SYNAL, H.A.; SZIDAT, S.; ZHANG, Y.L. A versatile gas interface for routine radiocarbon analysis with a gas ion source. *Nuclear Instruments Methods in Physics Research*, 294, 315–319, 2013.

WAKSMAN, S.A. The peats of New Jersey and their utilization. New Jersey, Geologic Series, Bulletin, New Jersey, n. 55, p.152, 1942.

XU, J., MORRIS, P. J., LIU, J., HOLDEN, J. PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena*, 160, 134-140, 2018.

YU, Z., LOISEL, J., BROSSEAU, D. P., BEILMAN, D. W., HUNT, S. J. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical research letters*, 37(13), 2010.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

6 APÊNDICES

APÊNDICE I - Descrição Morfológica dos Perfis

PERFIL: P1SP

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Estrada secundária próxima à Pousada da Serra, região da Serra da Mantiqueira no estado de São Paulo. Coordenadas: 22°43.388'S e 45°25.803'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de elevação, com 18% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.910 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos e ortognaisses, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2006).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Renato Siquini e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 16 cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 16 - 28 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O3 28 - 52 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1); orgânica; forte pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O4 52 - 70 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida); orgânica, forte média blocos angulares; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- C1 70 - 81 cm, bruno acinzentado (10YR 5/2); franco argiloarenosa; maciça, ligeiramente dura, firme; plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
- C2 81 - 89 cm, bruno acinzentado (10YR 5/2); franco argiloarenosa; maciça, ligeiramente dura, firme; plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
- C3 89 - 100+ cm, bruno acinzentado (10YR 5/3); franco argiloarenosa; maciça, ligeiramente dura, firme; plástica e pegajosa, plana e gradual.

Perfil		PISP															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sápico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2- 0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 16				193	112	265	430			0,6	0,55	1,23	59			
O2	16 – 28				167	153	160	520			0,3	0,56	1,24	59			
O3	28 – 52				172	200	156	472			0,3	0,61	1,31	57			
O4	52 – 70				185	163	210	442			0,5	0,66	1,38	56			
C1	70 – 81				185	310	125	380			0,3	0,97	1,82	50			
C2	81 – 89				275	274	61	390			0,2	1,12	2,11	50			
C3	89 – 100				284	241	102	373			0,3	1,12	2,15	51			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,48	4,33	1,0	0,7	0,33	0,28	2,3	2,7	24,5	29,5	8	54	5				
O2	4,37	4,23	0,9	0,7	0,28	0,19	2,1	2,8	20,7	25,6	8	57	4				
O3	4,39	4,19	0,7	0,5	0,29	0,26	1,8	3,2	19,2	24,2	7	65	3				
O4	4,38	4,20	0,7	0,4	0,27	0,21	1,6	3,2	17,7	22,5	7	67	2				
C1	4,89	4,18	0,5	0,2	0,20	0,10	1,0	3,3	10,4	14,7	7	77	1				
C2	4,90	4,23	0,4	0,2	0,20	0,10	0,9	4,4	8,7	14,0	6	83	1				
C3	4,89	4,15	0,4	0,1	0,20	0,10	0,8	4,2	6,8	11,8	7	84	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
				(K)	(Kr)												
O1	237,3	14,1	17														
O2	208,6	8,6	24														
O3	223,6	7,7	29														
O4	182,8	7,1	26														
C1	70,3	5,2	14	136	211	74	13				1,10	0,90	2,85				
C2	69,8	5,5	13	117	189	55	9				1,05	0,89	3,44				
C3	62,4	4,0	16	124	202	67	11				1,04	0,86	3,01				
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ândicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	60,4	39,6	14	7	4/2	H8	sapric	0,22	0,22	38,5	0,8	1,0	0,06	1,4	1,3	1,8	1,4
O2	67,2	32,8	10	5	4/2	H8	sapric	0,18	0,25	37,6	0,9	0,9	0,08	1,5	1,4	1,7	1,4
O3	65,0	35,0	10	3	4/2	H8	sapric	0,21	0,26	36,8	0,7	0,9	0,08	1,3	1,1	1,9	1,3
O4	68,9	31,1	6	2	4/2	H8	sapric	0,21	0,30	35,7	0,8	0,9	0,07	1,4	1,2	1,8	1,4
C1																	
C2																	
C3																	

PERFIL: P2SP

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Região da Serra da Mantiqueira no estado de São Paulo. Coordenadas: 22°29.925'S 45°07.321'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior de elevação, com 8 a 10% de declive, sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.199 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos e ortognaisses, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2006).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente a bem drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Renato Siquini e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 10 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 10 - 25 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O3 25 - 41 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O4 41 - 66 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O5 66 - 77 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O6 77 - 100+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

PERFIL: P3SP

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Região da Serra da Mantiqueira no estado de São Paulo. Coordenadas: 22°29.925'S 45°07.321'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior de elevação, com 10% de declive, sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.157 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos e ortognaisses, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2006).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente a bem drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Renato Sinquini e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 8 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 8 - 22 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O3 22 - 36 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O4 36 - 52 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O5 52 - 71 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O6 71 - 100+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P3SP																
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico																
Soil Taxonomy		Alic Hapludand																
WRB		Sapric Folie Histosol (Andic, Hyperdystric)																
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³				
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula					
O1	0 – 8				146	116	171	567			0,3	0,55	1,23	59				
O2	8 – 22				153	56	221	570			0,4	0,57	1,25	58				
O3	22 – 36				196	104	153	547			0,3	0,62	1,33	57				
O4	36 – 52				210	54	126	610			0,2	0,62	1,33	57				
O5	52 – 71				178	116	102	604			0,2	0,65	1,37	56				
O6	71 – 100				176	254	159	411			0,4	0,68	1,41	55				
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹					
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)								
O1	4,36	3,98	1,1	0,7	0,21	0,35	2,4	8,1	18,7	29,2	8	77	8					
O2	4,38	4,21	0,9	0,8	0,21	0,27	2,2	7,8	17,2	27,2	8	78	4					
O3	4,35	4,23	0,9	0,6	0,20	0,23	1,9	7,2	15,1	24,2	8	79	2					
O4	4,35	4,16	0,8	0,5	0,22	0,26	1,8	7,1	14,9	23,8	7	80	2					
O5	4,37	4,20	0,8	0,4	0,20	0,22	1,6	6,7	13,8	22,1	7	81	3					
O6	4,56	3,99	0,6	0,4	0,30	0,34	1,6	6,6	12,7	20,9	8	80	2					
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares								
										SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	(Ki)	(Kr)							
O1	216,7	15,6	14															
O2	209,6	17,1	12															
O3	210,7	15,3	14															
O4	216,7	15,8	14															
O5	211,3	15,2	14															
O6	206,1	13,2	16															
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ândicas (Santos et al., 2018)									
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +½Fe _o	Al _p Al _o	MI	
O1	61,5	38,5	9	6	3/4	H8	sapric	0,21	0,23	78,2	1,2	1,4	0,08	1,8	1,9	1,5	1,5	
O2	62,2	37,8	8	5	3/3	H8	sapric	0,22	0,24	78,9	1,3	1,5	0,04	2,0	2,1	1,5	1,5	
O3	62,6	37,4	8	5	3/3	H8	sapric	0,23	0,26	76,4	1,3	1,4	0,06	2,1	2,0	1,6	1,6	
O4	61,0	39,0	7	4	3/2	H8	sapric	0,24	0,25	78,9	1,2	1,4	0,05	1,9	1,9	1,6	1,5	
O5	61,9	38,1	7	4	3/2	H8	sapric	0,25	0,27	78,3	1,1	1,5	0,06	2,0	1,9	1,8	1,6	
O6	62,9	37,1	6	2	3/2	H8	sapric	0,25	0,29	74,4	1,1	1,5	0,06	1,8	1,8	1,7	1,6	

PERFIL: P4SP

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Estrada secundária próxima à Pousada da Serra, região da Serra da Mantiqueira no estado de São Paulo. Coordenadas: 22°37.960'S 45°20.934'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio/inferior de elevação, com 12 a 16% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.927 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos e ortognaisses, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2006).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Renato Siquini e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 16 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 16 - 32 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O3 32 - 45 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2); orgânica; forte pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O4 45 - 59 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida); orgânica, forte média blocos angulares; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- A 59 - 80 cm, cinzento escuro (10YR 4/1); franco argiloarenosa; moderada pequena blocos subangulares, ligeiramente dura, firme; plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
- B 80 - 91 cm, bruno acinzentado (10YR 5/2); franco argiloarenosa; moderada média blocos subangulares, ligeiramente dura, firme; ligeiramente plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
- C 91 - 100+ cm, bruno amarelado claro (10YR 6/4); franco argiloarenosa; maciça, ligeiramente dura, firme; ligeiramente plástica e pegajosa, plana e gradual.

Perfil		P4SP															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico cambissólico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0-16				285	144	246	325			0,8	0,58	1,27	58			
O2	16-32				282	147	270	301			0,9	0,62	1,33	57			
O3	32-45				264	153	247	336			0,7	0,62	1,33	57			
O4	45-59				288	128	273	311			0,9	0,71	1,45	55			
A	59-80				283	134	149	434			0,3	0,98	1,84	50			
B	80-91				206	139	125	530			0,2	1,15	2,08	47			
C	91-100+				221	140	130	509			0,3	1,16	2,09	47			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alúminio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,39	4,16	0,6	0,5	0,30	0,29	1,7	6,1	12,2	20,0	8	78	12				
O2	4,42	4,12	0,6	0,7	0,30	0,38	2,0	5,8	11,9	19,7	10	75	9				
O3	4,44	4,11	0,6	0,4	0,30	0,34	1,6	5,8	11,5	18,9	9	78	8				
O4	4,37	4,07	0,5	0,3	0,28	0,31	1,4	5,9	11,7	19,0	7	81	3				
A	4,88	4,15	0,4	0,3	0,20	0,20	1,1	5,4	10,5	17,0	6	83	3				
B	4,90	4,30	0,3	0,2	0,10	0,10	0,7	5,1	8,3	14,1	5	88	3				
C	4,92	4,33	0,3	0,2	0,10	0,10	0,7	5,0	5,5	11,2	6	88	2				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	214,4	12,1	18														
O2	208,4	11,3	18														
O3	204,9	10,4	20														
O4	193,5	9,0	22														
A	66,1	3,2	21	118	194	65	11			1,03	0,85	2,98					
B	26,6	1,5	18	121	176	67	13			1,17	0,94	2,63					
C	8,9	0,7	13	114	187	52	10			1,04	0,88	3,60					
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	67,0	33,0	14	6	4/2	H9	sapric	0,19	0,26	60,0	1,0	1,5	0,09	1,5	1,8	1,5	1,7
O2	65,5	34,5	12	6	4/2	H9	sapric	0,21	0,27	59,4	0,9	1,4	0,08	1,6	1,6	1,7	1,8
O3	66,1	33,9	10	4	4/2	H9	sapric	0,21	0,27	57,6	1,0	1,5	0,09	1,5	1,7	1,5	1,7
O4	69,8	30,2	9	2	4/2	H9	sapric	0,21	0,33	56,1	1,1	1,6	0,08	1,7	1,8	1,6	1,6
A																	
B																	
C																	

PERFIL: P1MG

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Estrada secundária na região serrana do Sul de Minas Gerais, região da Serra da Mantiqueira. Coordenadas: 22°52.775'S 46°00.152'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de elevação, com 8 a 10% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.881 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitoides gnáissicos, predominantemente metaluminosos, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2020).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 14 cm, preto (10YR 2/1); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O2 14 - 30 cm, preto (10YR 2/1); orgânica; forte pequena granular; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 30 - 45 cm, preto (10YR 2/1); orgânica; forte pequena granular; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 45 - 60 cm, preto (10YR 2/1); orgânica; forte pequena granular; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O5 60 - 92 cm, preto (10YR 2/1); orgânica; forte pequena granular; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O6 92 - 130 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida); orgânica; forte pequena granular; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; plana e gradual.
- A 130 - 155 cm, cinzento escuro (10YR 4/1); franco argilosa; moderada pequena blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- AB 155 - 170 cm, bruno acinzentado escuro (10YR 4/2); franco argilosa; moderada pequena blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- B 170 - 194 cm, bruno amarelado escuro (10YR 4/4); franco argilosa; moderada média blocos angulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BC 194 - 221+ cm, bruno amarelado (10YR 5/6); franco argiloarenosa; fraca média blocos angulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

Perfil		PIMG															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico cambissólico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folie Histosol (Protoandic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 14				177	151	129	543			0,2	0,56	1,24	59			
O2	14 – 30				189	138	119	554			0,2	0,59	1,28	58			
O3	30 – 45				224	118	121	537			0,2	0,61	1,31	58			
O4	45 – 60				198	107	124	571			0,2	0,62	1,33	57			
O5	45 – 92				182	187	140	491			0,3	0,62	1,33	57			
O6	92 – 130				171	208	125	496			0,3	0,64	1,35	57			
A	130 – 155				202	309	109	380			0,3	0,78	1,55	53			
AB	155 – 170				249	303	118	330			0,4	0,97	1,98	54			
B	170 – 194				244	271	161	324			0,5	1,11	2,34	56			
BC	194 – 221				237	269	156	338			0,5	1,17	2,33	53			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sorativo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,53	4,04	1,0	0,8	0,35	0,55	2,7	5,4	18,3	26,4	10	67	8				
O2	4,38	3,93	1,2	0,7	0,23	0,43	2,6	4,7	18,1	25,4	10	65	7				
O3	4,50	3,98	0,8	0,6	0,33	0,53	2,3	5,7	15,8	23,8	10	72	4				
O4	4,45	3,97	0,9	0,5	0,32	0,48	2,2	5,6	15,4	23,2	9	72	3				
O5	4,45	3,97	0,7	0,5	0,31	0,48	2,0	5,2	16,1	23,3	9	72	2				
O6	4,50	4,01	0,7	0,6	0,33	0,52	2,2	5,0	16,1	23,3	9	70	2				
A	4,55	3,98	0,4	0,3	0,42	0,55	1,7	4,6	13,2	19,5	9	73	1				
AB	4,55	4,03	0,3	0,2	0,46	0,53	1,5	4,7	11,4	17,6	8	76	1				
B	4,76	4,11	0,3	0,3	0,41	0,49	1,5	5,2	7,6	14,3	10	78	1				
BC	4,92	4,12	0,3	0,2	0,51	0,41	1,4	5,2	7,3	13,9	10	79	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	226,3	14,1	16														
O2	220,9	12,8	17														
O3	230,7	13,9	17														
O4	230,2	11,1	21														
O5	217,6	10,0	22														
O6	188,2	6,6	29														
A	79,8	6,2	13	174	207	78	11				1,43	1,15	2,65				
AB	58,9	3,4	17	157	213	67	14				1,25	1,04	3,18				
B	30,4	2,7	11	164	206	66	14				1,35	1,12	3,12				
BC	17,1	1,3	13	159	198	70	13				1,37	1,11	2,83				
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +½Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	63,1	36,9	23	15	4/2	H8	sapric	0,21	0,24	56,3	1,0	1,2	0,11	1,6	1,7	1,5	1,8
O2	63,6	36,4	19	13	4/2	H9	sapric	0,21	0,25	52,6	1,1	1,3	0,07	1,7	1,7	1,6	1,8
O3	62,9	37,1	19	12	4/2	H9	sapric	0,23	0,26	62,2	1,0	1,2	0,06	1,7	1,6	1,7	1,7
O4	63,7	36,3	16	8	4/2	H9	sapric	0,23	0,26	61,9	1,0	1,2	0,08	1,6	1,6	1,6	1,7
O5	64,2	35,8	14	7	4/2	H9	sapric	0,22	0,27	65,9	1,1	1,3	0,09	1,8	1,7	1,6	1,7
O6	64,6	35,4	14	5	4/2	H9	sapric	0,23	0,28	60,1	1,1	1,3	0,10	1,9	1,7	1,8	1,8
A																	
AB																	
B																	
BC																	

PERFIL: P2MG

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Corte de estrada em área de floresta com araucárias, região serrana do Sul de Minas Gerais, Serra da Mantiqueira. Coordenadas: 22°28.490'S 45°14.984'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior de elevação, com 10% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.948 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitoides gnáissicos, predominantemente metaluminosos, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2020).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 7 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O2 7 - 25 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 25 - 40 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 40 - 59 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O5 59 - 75 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O6 75 - 100 cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O7 100 – 123+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P2MG															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 7				113	72	156	659			0,2	0,51	1,17	61			
O2	7 – 25				124	65	195	616			0,3	0,53	1,27	63			
O3	25 – 40				93	107	155	645			0,2	0,53	1,32	64			
O4	40 – 59				94	47	308	550			0,6	0,55	1,33	63			
O5	59 – 75				136	63	319	482			0,7	0,56	1,34	63			
O6	75 – 100				152	72	214	561			0,4	0,56	1,41	65			
O7	100 – 123				208	98	158	535			0,3	0,56	1,42	65			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,38	4,11	1,0	1,1	0,25	0,44	2,8	6,9	20,4	30,1	9	71	11				
O2	4,41	4,15	1,1	1,2	0,30	0,46	3,1	6,7	21,9	31,7	10	69	6				
O3	4,36	3,99	0,9	0,8	0,23	0,40	2,3	6,4	21,8	30,5	8	73	5				
O4	4,44	4,06	0,9	0,8	0,31	0,48	2,5	6,5	18,2	27,2	9	72	3				
O5	4,37	3,99	0,7	0,5	0,25	0,40	1,9	6,3	18,8	27,0	7	77	4				
O6	4,37	3,98	0,7	0,5	0,26	0,42	1,9	6,2	19,1	27,2	7	77	3				
O7	4,35	3,97	0,6	0,5	0,25	0,40	1,8	6,9	17,9	26,6	7	80	3				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	240,9	12,0	20														
O2	242,1	13,0	19														
O3	234,9	10,7	22														
O4	231,6	10,0	23														
O5	230,8	10,0	23														
O6	242,3	9,0	27														
O7	245,4	9,4	26														
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	56,0	44,0	31	19	3/4	H9	hemic	0,22	0,19	87,5	1,1	1,3	0,07	1,4	1,8	1,2	1,6
O2	55,6	44,4	24	18	3/3	H9	sapric	0,24	0,20	87,8	1,4	1,3	0,06	1,6	2,1	1,2	1,7
O3	56,8	43,2	23	16	3/3	H9	sapric	0,23	0,20	87,1	1,4	1,4	0,06	1,8	2,1	1,3	1,5
O4	58,5	41,5	21	16	3/2	H9	sapric	0,23	0,21	85,7	1,5	1,3	0,07	1,6	2,1	1,1	1,7
O5	57,5	42,5	21	14	3/2	H9	sapric	0,24	0,21	83,4	1,3	1,4	0,07	1,6	2,0	1,2	1,5
O6	58,7	41,3	17	9	3/2	H9	sapric	0,23	0,22	80,8	1,4	1,3	0,06	1,5	2,1	1,1	1,5
O7	59,8	40,2	16	7	3/2	H9	sapric	0,23	0,22	78,9	1,3	1,2	0,06	1,3	1,9	1,0	1,5

PERFIL: P3MG

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Área de floresta com araucárias, região serrana do Sul de Minas Gerais, Serra da Mantiqueira. Coordenadas: 22°17.352'S 44°44.237'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior de elevação, com 12% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 2.104 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos peraluminosos, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2020).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 24 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 24 - 40 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 40 - 60 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 60 - 80 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O5 80 - 113 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O6 113 - 142 cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O7 142 – 185+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P3MG															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folie Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 24				177	118	185	520			0,5	0,49	1,14	62			
O2	24 – 40				197	174	198	431			0,6	0,54	1,21	60			
O3	40 – 60				190	160	239	411			0,5	0,55	1,27	61			
O4	60 – 80				173	93	249	485			0,4	0,55	1,31	62			
O5	80 – 113				165	139	199	497			0,3	0,55	1,33	63			
O6	113 – 142				203	151	143	503			0,2	0,58	1,35	61			
O7	142 – 185				171	180	95	554			0,9	0,59	1,38	61			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,36	3,96	1,2	1,0	0,18	0,41	2,8	6,4	18,9	28,1	10	70	9				
O2	4,37	3,90	1,1	0,9	0,15	0,42	2,6	6,2	19,5	28,3	9	71	5				
O3	4,37	4,20	0,9	0,6	0,29	0,41	2,2	6,2	18,7	27,1	8	74	6				
O4	4,38	4,20	0,6	0,5	0,30	0,41	1,8	6,3	19,0	27,1	7	78	3				
O5	4,37	4,11	0,6	0,5	0,25	0,41	1,8	5,4	20,1	27,3	6	75	4				
O6	4,36	4,01	0,7	0,4	0,22	0,40	1,7	5,9	18,4	26,0	7	77	4				
O7	4,36	3,98	0,7	0,3	0,19	0,40	1,6	5,8	17,7	25,1	6	78	3				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
				(Ki)	(Kr)												
O1	245,8	11,8	21														
O2	247,2	11,0	22														
O3	235,4	9,5	25														
O4	247,1	9,0	27														
O5	234,9	9,8	24														
O6	242,7	9,2	26														
O7	246,7	9,5	26														
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)							Testes para identificação de propriedades ândicas (Santos et al., 2018)									
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post	Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI	
O1	57,3	42,7	32	24	3/4	H9	hemic	0,21	0,19	80,5	1,4	1,3	0,10	1,6	2,0	1,1	1,7
O2	56,7	43,3	21	20	3/3	H9	sapric	0,23	0,20	89,2	1,5	1,3	0,09	1,8	2,2	1,2	1,7
O3	59,1	40,9	19	11	3/3	H9	sapric	0,22	0,22	91,4	1,5	1,4	0,08	1,8	2,2	1,2	1,6
O4	60,4	39,6	19	11	3/2	H9	sapric	0,22	0,22	90,9	1,4	1,4	0,07	1,6	2,1	1,1	1,5
O5	58,6	41,4	17	9	3/2	H9	sapric	0,23	0,21	91,1	1,4	1,5	0,07	1,7	2,1	1,2	1,5
O6	60,8	39,2	16	9	3/2	H9	sapric	0,23	0,24	87,4	1,4	1,4	0,06	1,4	2,1	1,0	1,5
O7	59,8	40,2	15	7	3/2	H9	sapric	0,24	0,24	86,6	1,3	1,4	0,06	1,3	2,0	1,0	1,5

PERFIL: P4MG

CLASSIFICAÇÃO– ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Corte de estrada em área de floresta com araucárias, região serrana do Sul de Minas Gerais, Serra da Mantiqueira. Coordenadas: 22°17.352'S 44°44.237'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de elevação, com 30% de declive, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 2.104 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos peraluminosos, Neoproterozoico, Província Mantiqueira (CPRM, 2020).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Alteração da litologia supracitada e sedimentos orgânicos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

USO ATUAL – Vegetação natural.

CLIMA – Cwb (Köppen), subtropical de altitude.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 7 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 7 - 13 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 13 - 28 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 28 - 40 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição irregular e abrupta.
- B 40 - 56 cm, preto (N2/); orgânica; fraca pequena blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição irregular e abrupta.
- 2O1 56 - 93 cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.
- 2O2 93 – 110+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média blocos subangulares; macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P4MG															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico cambissólico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folic Histosol (Protoandic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 7				127	470	191	212			0,6	0,45	1,08	63			
O2	7 – 13				158	346	215	281			0,7	0,49	1,14	61			
O3	13 – 28				141	404	177	278			0,4	0,53	1,22	61			
O4	28 – 40				128	527	143	201			0,6	0,57	1,25	58			
B	40 – 56				327	274	106	293			0,4	1,17	1,93	42			
2O1	56 – 93				136	63	319	550			0,6	0,52	1,18	60			
2O2	93 – 110				152	72	214	561			0,4	0,53	1,21	60			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,42	3,93	0,9	0,8	0,28	0,44	2,4	5,8	12,7	20,9	12	71	8				
O2	4,39	3,99	0,7	0,5	0,27	0,42	1,9	5,7	11,0	18,6	10	75	7				
O3	4,40	3,96	0,6	0,4	0,27	0,43	1,7	5,1	12,0	18,8	9	75	7				
O4	4,42	4,17	0,6	0,4	0,37	0,43	1,8	5,0	11,6	18,4	10	74	8				
B	4,89	4,23	0,1	0,1	0,20	0,20	0,6	3,4	5,8	9,8	6	85	2				
2O1	4,36	4,22	1,2	0,3	0,20	0,40	2,1	5,3	10,8	18,2	12	72	12				
2O2	4,37	3,99	0,9	0,3	0,20	0,42	1,8	5,0	11,9	18,7	10	73	9				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	224,1	6,4	35														
O2	222,5	7,2	31														
O3	229,7	8,3	28														
O4	230,3	6,7	34														
B	13,5	0,6	23	201	234	44	15				1,46	1,30	5,32				
2O1	267,6	6,6	41														
2O2	270,9	5,8	47														
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	64,1	35,9	22	11	3/3	H7	sapric	0,16	0,19	50,6	0,8	1,0	0,12	1,5	1,3	1,9	1,9
O2	61,3	38,7	15	7	3/3	H8	sapric	0,19	0,20	58,5	0,9	1,1	0,10	1,8	1,4	2,1	1,8
O3	61,9	38,1	11	6	3/3	H8	sapric	0,20	0,22	62,3	1,0	1,2	0,09	1,7	1,5	1,8	1,7
O4	63,2	36,8	10	4	3/2	H8	sapric	0,21	0,24	57,4	0,9	1,1	0,10	1,7	1,5	1,9	1,8
B																	
2O1	54,9	45,1	5	2	3/2	H10	sapric	0,23	0,19	86,1	0,8	1,0	0,12	1,7	1,3	2,2	1,9
2O2	53,3	46,7	3	2	3/2	H10	sapric	0,25	0,19	84,7	0,9	1,1	0,10	1,9	1,5	2,1	1,8

PERFIL: P1ES

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Região Serrana do Estado do Espírito Santo. Coordenadas 20°9'49.66"S 40°55'50.89"W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo de elevação, com 14% de declive sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.745 metros

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos, Paleozoico, Suíte Intrusiva Santa Angélica, (CPRM, 2015).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e produto da alteração da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ausente.

ROCHOSIDADE – Ausente.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta tropical perenifólia.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antonio Schiavo e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 9 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); orgânica; fraca muito pequena e pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O2 cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); orgânica; moderada média e grande granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 21 - 37 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); orgânica; fraca pequena e média granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 37 - 52 cm; preto (10YR 2/1, úmido); orgânica; moderada média e grande granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O5 52 - 69 cm; preto (10YR 2/1, úmido); orgânica; moderada, média e grande granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
- BC1 69 - 78 cm; bruno acinzentado escuro (10YR 4/2); franco argiloarenosa; fraca média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- BC2 78 - 91+ cm; bruno amarelo (10YR 5/6); franco argiloarenosa; fraca pequena blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, pegajosa.

Perfil		PIES															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Pachic Humudepts															
WRB		Haplic Umbrisol (Hyperdystric, Hyperhumic)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 9				319	319	159	203			0,8	0,41	1,14	64			
O2	9 – 21				318	271	163	248			0,7	0,62	1,13	45			
O3	21 – 37				315	262	184	239			0,8	0,70	1,19	41			
O4	37 – 52				258	271	241	230			1,0	0,64	1,21	47			
O5	52 – 69				235	262	277	226			1,2	0,66	1,16	43			
BC1	69 – 78				363	150	285	202			1,4	1,41	2,35	40			
BC2	78 – 91				380	185	287	148			1,9	1,49	2,36	37			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹									Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹			
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,39	3,99	1,6	0,4	0,48	0,21	2,69	2	30,6	33,64	3	67	2				
O2	4,34	4,13	1,3	0,2	0,36	0,22	2,08	2,9	23,3	26,74	2	83	1				
O3	4,51	4,30	1,1	0,3	0,36	0,23	1,99	2,6	22,5	25,56	2	84	1				
O4	4,46	4,30	1,1	0,3	0,36	0,19	1,95	2,8	19,9	23,20	2	86	1				
O5	4,70	4,23	1,1	0,2	0,26	0,18	1,74	3,4	24,6	28,36	1	91	1				
BC1	4,95	4,43	0,8	0,1	0,16	0,20	1,26	1,7	21,2	23,19	1	84	1				
BC2	4,98	4,40	0,6	0,2	0,16	0,11	1,07	1,7	20,3	22,26	1	83	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
				(Ki)	(Kr)												
O1	164,8	9,5	17														
O2	178,4	13,5	13														
O3	181,2	12,5	14														
O4	178,3	9,5	19														
O5	163,2	6,8	24														
BC1	19,1	3,4	6	158	186	94	25			1,44	1,09	1,98					
BC2	17,5	0,9	19	146	181	96	17			1,37	1,02	1,89					
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ácidas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	P _R	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +½Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	71,8	28,2	37	25	5/3	H4	fíbric	0,12	0,20	48,1	0,8	1,0	0,10	1,5	1,3	1,8	1,8
O2	69,7	30,3	34	23	4/2	H7	hemic	0,19	0,29	43,6	0,9	1,1	0,08	1,4	1,5	1,5	1,6
O3	69,5	30,5	19	12	4/2	H8	sápric	0,21	0,32	43,1	0,9	1,1	0,07	1,3	1,5	1,4	1,6
O4	69,9	30,1	13	10	4/2	H8	sápric	0,19	0,30	39,7	0,9	1,1	0,08	1,3	1,4	1,5	1,6
O5	71,0	29,0	14	6	4/2	H8	sápric	0,19	0,31	37,6	1,0	1,2	0,06	1,1	1,6	1,1	1,4
BC1																	
BC2																	

PERFIL: P2ES

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico.

LOCALIZAÇÃO – Região Serrana do Estado do Espírito Santo. Coordenadas 20°9'49.66"S 40°55'50.89"W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de elevação, com 8% de declive sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

ALTITUDE – 1.253 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos, Paleozoico, Suíte Intrusiva Santa Angélica, (CPRM, 2015).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e produto da alteração da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ausente.

ROCHOSIDADE – Ausente.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta tropical perenifólia.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antonio Schiavo e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 9 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); orgânica; moderada pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 9 - 21 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); orgânica; moderada pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 21 - 32 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); orgânica; moderada pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 32 - 50 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); orgânica; moderada pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O5 50 - 62 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); orgânica; moderada pequena blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- A 62 - 79 cm; bruno amarelado escuro (10YR 3/5, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- AB 79 - 102 cm; bruno amarelado (10YR 5/6); franco argiloarenosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, pegajosa; transição plana e gradual.
- BA 102 - 119 cm; bruno amarelado (10YR 5/6); franco argiloarenosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa; transição plana e gradual.
- B 119 - 143 cm; amarelo brunado (10YR 6/6); franco argiloarenosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa; transição plana e gradual.
- C 143 – 162+ cm; amarelo (10YR 7/6); franco argiloarenosa; maciça; dura, firme, plástica, pegajosa.

Perfil		P3ES															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico cambissólico															
Soil Taxonomy		Pachic Humudepts															
WRB		Cambic Umbrisol (Hyperdystric, Hyperhumic)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 9				275	374	149	202			0,7	0,43	1,13	62			
O2	9 – 21				270	330	159	241			0,7	0,62	1,15	46			
O3	21 – 32				263	309	184	244			0,8	0,62	1,12	45			
O4	32 – 50				244	299	201	256			0,8	0,63	1,19	47			
O5	50 – 62				230	292	217	261			0,8	0,67	1,16	42			
A	62 – 79				341	279	199	181			1,1	1,32	2,42	45			
AB	79 – 102				395	278	175	152			1,2	1,41	2,42	42			
BA	102 – 119				391	258	189	162			1,2	1,46	2,49	41			
B	119 – 143				409	243	204	144			1,4	1,43	2,45	42			
C	143 – 162				336	218	287	159			1,8	1,53	2,47	38			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,28	4,01	0,9	0,3	0,36	0,21	1,77	2,5	21,0	25,27	7	59	2				
O2	4,41	4,13	0,6	0,4	0,28	0,19	1,47	2,3	19,4	23,17	6	61	2				
O3	4,37	4,33	0,4	0,1	0,21	0,23	0,94	2,4	13,4	16,74	6	72	1				
O4	4,22	4,12	0,3	0,2	0,29	0,18	0,97	2,9	15,6	19,47	5	75	1				
O5	4,23	4,23	0,2	0,2	0,20	0,18	0,78	1,9	10,8	13,48	6	71	1				
A	4,95	4,39	0,2	0,1	0,15	0,16	0,61	1,7	12,3	14,63	4	74	1				
AB	4,98	4,40	0,3	0,2	0,20	0,90	1,60	1,6	8,3	11,52	14	50	1				
BA	4,32	4,22	0,1	0,1	0,21	0,08	0,49	1,3	4,3	6,11	8	73	1				
B	4,59	4,32	0,1	0,1	0,05	0,06	0,31	1,2	3,7	5,19	6	79	1				
C	4,69	4,29	0,1	0,1	0,04	0,06	0,30	1,0	4,1	5,40	6	77	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	180,5	13,3	14														
O2	185,6	14,1	13														
O3	186,1	13,2	14														
O4	146,6	12,1	12														
O5	113,3	10,9	10														
A	67,6	7,6	9	156	236	98	18				1,12	0,89	2,41				
AB	39,1	7,1	6	169	251	99	18				1,14	0,91	2,54				
BA	21,6	6,2	3	189	247	91	16				1,30	1,05	2,71				
B	20,8	4,0	5	144	229	108	20				1,07	0,82	2,12				
C	13,4	2,5	5	242	230	106	23				1,79	1,38	2,17				
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +½Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	69,2	30,8	47	35	5/3	H4	fibric	0,13	0,20	36,5	0,8	1,0	0,11	1,8	1,3	2,3	1,9
O2	68,4	31,6	34	24	4/2	H7	hemic	0,20	0,28	38,4	0,8	1,0	0,10	1,6	1,2	2,1	1,8
O3	67,2	32,8	30	14	4/2	H8	sapric	0,20	0,28	42,7	0,8	1,0	0,08	1,4	1,3	1,8	1,6
O4	68,8	31,2	26	13	4/2	H8	sapric	0,20	0,29	36,6	0,7	0,9	0,10	1,2	1,2	1,7	1,8
O5	73,9	26,1	19	9	4/2	H8	sapric	0,17	0,33	31,8	0,8	1,1	0,07	1,3	1,4	1,5	1,6
A																	
AB																	
BA																	
B																	
C																	

PERFIL: P1RJ

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Parte alta do Parque Nacional do Itatiaia. Coordenadas 22°23.317'S 44°44.696'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo de elevação, com 8 a 20% de declive sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.418 metros

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Nefelina-Sienito, Complexo alcalino de Itatiaia, Neocretáceo-Eoceno (CPRM, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e alteração da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 11 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 11 - 29 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 29 - 45 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- CR 45 - 90 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2); franco arenosa; maciça; dura, firme, não plástica e pegajosa.

Perfil		PIRJ															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folie Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 11				86	84	141	689			0,2	0,41	1,03	65			
O2	11 – 29				108	97	166	629			0,3	0,45	1,08	63			
O3	29 – 45				146	34	161	659			0,2	0,55	1,23	59			
CR	45 – 90				311	81	372	236			1,6	1,41	2,44	45			
Horizonte	pH (1:2,5)			Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹						Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹					
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T (soma)				
O1	5,06	4,71	0,7	1,3	0,46	0,33	2,8	7,9	17,2	27,9	10	74	4				
O2	5,08	4,80	0,6	1,2	0,38	0,26	2,4	7,9	12,3	22,6	11	76	3				
O3	5,06	4,79	0,8	1,1	0,45	0,32	2,7	7,8	12,3	22,8	12	74	2				
CR	5,61	5,26	1,6	1,9	0,66	0,58	4,7	7,7	5,4	17,8	27	62	2				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	292,4	11,7	25														
O2	318,8	9,9	32														
O3	310,7	12,7	24														
CR	16,8	1,7	10	263	214	45	11				2,09	1,84	4,76				
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	P _R	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	53,0	47,0	40	29	5/3	H4	fíbric	0,19	0,14	88,2	1,3	1,1	0,08	1,9	1,9	1,5	1,6
O2	49,0	51,0	24	18	4/2	H7	sápric	0,23	0,15	87,3	1,5	1,2	0,09	1,9	2,1	1,3	1,7
O3	50,9	49,1	18	14	4/2	H8	sápric	0,27	0,19	86,9	1,4	1,2	0,07	2,0	2,0	1,4	1,8
CR																	

PERFIL: P2RJ

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Parte alta do Parque Nacional do Itatiaia. Coordenadas 22°23.353'S 44°42.102'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo de elevação, com 8 a 16% de declive sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.261 metros

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Nefelina-Sienito, Complexo alcalino de Itatiaia, Neocretáceo-Eoceno (CPRM, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e alteração da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 8 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- O2 8 - 24 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 24 - 65 cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 65 - 78+ cm; preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, plástica e pegajosa.

Perfil		P2RJ															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folie Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 8				166	64	212	558			0,4	0,51	1,17	61			
O2	8 – 24				126	60	136	678			0,2	0,52	1,18	60			
O3	24 – 65				106	60	165	669			0,2	0,53	1,20	60			
O4	65 – 78				88	124	149	639			0,2	0,55	1,23	59			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	4,94	4,22	0,6	1,1	0,81	0,70	3,2	8,3	11,6	23,1	14	72	4				
O2	5,06	4,29	0,6	1,2	0,77	0,66	3,2	7,9	12,3	23,4	14	71	3				
O3	5,08	4,28	0,6	1,1	0,81	0,70	3,2	7,8	12,2	23,2	14	71	2				
O4	5,07	4,81	0,6	1,2	0,73	0,54	3,1	7,9	11,7	22,7	14	72	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	329,7	10,7	31														
O2	319,4	11,6	28														
O3	323,2	9,8	33														
O4	305,5	6,6	46														
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	P _R	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	48,9	51,1	27	17	3/3	H8	sapric	0,26	0,17	92,1	1,4	1,3	0,11	2,0	2,0	1,4	1,9
O2	51,0	49,0	16	10	3/3	H8	sapric	0,25	0,18	96,5	1,5	1,3	0,11	1,9	2,1	1,3	1,9
O3	50,6	49,4	15	7	3/3	H8	sapric	0,26	0,18	94,0	1,6	1,3	0,11	2,3	2,2	1,4	1,9
O4	54,4	45,6	14	7	3/2	H8	sapric	0,25	0,20	92,7	1,5	1,3	0,10	2,3	2,1	1,5	1,9

PERFIL: P3RJ

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Parte alta do Parque Nacional do Itatiaia. Coordenadas 22°22.092'S 44°37.459'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio, com 8 a 16% de declive sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.264 metros

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Nefelina-Sienito, Complexo alcalino de Itatiaia, Neocretáceo-Eoceno (CPRM, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e sedimentos da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 14 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O2 14 - 28 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 28 - 46 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 46 - 77 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O5 77 - 101 cm, preto (N2/); orgânica; forte pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- 2O6 101 - 112 cm, preto (N2/); orgânica; moderada pequena blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O7 112 - 122 cm, preto (N2/); orgânica; moderada média blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O8 122 - 140 cm, preto (N2/); orgânica; moderada média blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O9 140 – 206+ cm, preto (N2/); orgânica; moderada média blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P3RJ															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sápico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folie Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹				Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³		
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm	Solo				Partícula				
O1	0 – 14				86	136	152	626			0,2	0,53	1,20	60			
O2	14 – 28				87	41	299	573			0,5	0,54	1,21	60			
O3	28 – 46				96	66	341	497			0,7	0,54	1,21	60			
O4	46 – 77				92	34	285	589			0,5	0,54	1,21	60			
O5	77 – 101				96	49	312	543			0,6	0,54	1,21	60			
2O6	101 – 112				176	61	268	495			0,5	0,72	1,47	55			
2O7	112 – 122				107	79	376	438			0,9	0,73	1,48	55			
2O8	122 – 140				165	23	189	623			0,3	0,77	1,54	54			
2O9	140 – 206				116	86	253	545			0,5	0,78	1,55	53			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sorativo cmolc kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	5,05	4,84	0,8	1,2	0,42	0,29	2,7	8,1	12,1	22,9	12	75	4				
O2	5,07	4,81	0,7	0,8	0,46	0,34	2,3	8,0	12,3	22,6	10	78	3				
O3	5,06	4,83	0,6	0,9	0,43	0,30	2,2	8,3	11,7	22,2	10	79	2				
O4	5,06	4,80	0,6	1,1	0,47	0,35	2,5	7,9	11,7	22,1	11	76	2				
O5	5,05	4,84	0,5	0,9	0,44	0,31	2,2	8,1	11,6	21,9	10	79	2				
2O6	5,27	4,62	0,9	0,9	0,55	0,43	2,8	7,9	9,2	19,9	14	74	1				
2O7	5,15	4,72	0,9	1,2	0,45	0,32	2,9	7,8	8,3	19,0	15	73	1				
2O8	5,32	4,58	1,1	1,2	0,41	0,28	3,0	7,6	7,6	18,2	16	72	1				
2O9	5,43	4,46	1,2	1,1	0,45	0,32	3,1	8,2	5,4	16,7	18	73	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
				(Ki)	(Kr)												
O1	268,2	12,7	21	268,2	12,7	21	268,2	12,7	21	268,2	12,7	21					
O2	304,6	11,8	26	304,6	11,8	26	304,6	11,8	26	304,6	11,8	26					
O3	288,7	10,8	27	288,7	10,8	27	288,7	10,8	27	288,7	10,8	27					
O4	280,8	9,2	31	280,8	9,2	31	280,8	9,2	31	280,8	9,2	31					
O5	251,7	9,3	27	251,7	9,3	27	251,7	9,3	27	251,7	9,3	27					
2O6	280,3	7,6	37	280,3	7,6	37	280,3	7,6	37	280,3	7,6	37					
2O7	274,8	7,4	37	274,8	7,4	37	274,8	7,4	37	274,8	7,4	37					
2O8	259,2	7,5	35	259,2	7,5	35	259,2	7,5	35	259,2	7,5	35					
2O9	242,7	6,2	39	242,7	6,2	39	242,7	6,2	39	242,7	6,2	39					
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	54,7	45,3	26	19	3/3	H8	sapric	0,24	0,19	82,2	1,3	1,5	0,08	2,2	2,1	1,6	1,8
O2	52,4	47,6	24	16	3/3	H8	sapric	0,26	0,19	90,8	1,5	1,7	0,07	2,7	2,3	1,8	1,6
O3	54,2	45,8	20	12	3/3	H8	sapric	0,25	0,20	92,1	1,5	1,7	0,06	2,7	2,3	1,8	1,6
O4	56,4	43,6	18	9	3/2	H8	sapric	0,24	0,20	87,9	1,4	1,5	0,08	2,4	2,1	1,8	1,7
O5	58,8	41,2	18	9	3/3	H8	sapric	0,22	0,21	92,6	1,5	1,7	0,06	2,5	2,4	1,6	1,6
2O6	57,2	42,8	16	9	3/3	H9	sapric	0,31	0,27	80,9	1,3	1,5	0,11	2,2	2,1	1,7	1,9
2O7	58,2	41,8	16	8	3/3	H9	sapric	0,30	0,28	75,5	1,4	1,6	0,12	2,1	2,2	1,5	2,0
2O8	60,1	39,9	15	7	3/2	H9	sapric	0,31	0,31	69,2	1,2	1,4	0,13	2,0	1,9	1,7	2,1
2O9	62,3	37,7	13	7	3/3	H9	sapric	0,29	0,32	63,2	1,3	1,3	0,15	1,9	2,0	1,5	2,2

PERFIL: P4RJ

CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO – Parte alta do Parque Nacional do Itatiaia. Coordenadas 22°23.117'S 44°39.948'W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio, com 8 a 16% de declive sob vegetação de campos de altitude.

ALTITUDE – 2.225 metros

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Nefelina-Sienito, Complexo alcalino de Itatiaia, Neocretáceo-Eoceno (CPRM, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos orgânicos e sedimentos da litologia supracitada.

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado a montanhoso.

EROSÃO – Laminar moderada.

DRENAGEM – Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Regeneração natural.

DESCRITO E COLETADO POR – Marcos Gervasio Pereira, Carlos Roberto Pinheiro Junior e Eduardo Carvalho da Silva Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0 - 12 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O2 12 - 28 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O3 28 - 43 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- O4 43 - 60 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- 2O5 60 - 67 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O6 67 - 90 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O7 90 - 110 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O8 110 - 131 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O9 131 - 167 cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- 2O10 167 - 204+ cm, preto (N2/); orgânica; forte média granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil		P4RJ															
SiBCS (2018)		Organossolo Fólico Sáprico típico															
Soil Taxonomy		Typic Udifolists															
WRB		Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric)															
Horizonte		Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina g kg ⁻¹				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade cm ³ /100cm ³			
Horizonte	Profundid. cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula				
O1	0 – 12				176	108	200	516			0,4	0,54	1,21	60			
O2	12 – 28				192	86	189	533			0,4	0,55	1,23	59			
O3	28 – 43				206	122	125	547			0,2	0,56	1,24	59			
O4	43 – 60				206	87	161	546			0,3	0,56	1,24	59			
2O5	60 – 67				380	121	189	310			0,6	0,81	1,59	53			
2O6	67 – 90				376	112	163	349			0,5	0,82	1,61	53			
2O7	90 – 110				376	122	204	298			0,7	0,82	1,61	53			
2O8	110 – 131				374	208	165	253			0,7	0,83	1,62	53			
2O9	131 – 167				376	212	191	221			0,9	0,83	1,62	52			
2O10	167 – 204				440	102	238	220			1,1	0,82	1,61	53			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V (sat. por bases) %	Saturação por alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)							
O1	5,06	4,82	0,6	1,1	0,41	0,29	2,4	8,1	13,4	23,9	10	77	4				
O2	5,07	4,62	0,6	0,9	0,74	0,62	2,9	7,8	12,3	23,0	12	73	3				
O3	5,18	4,68	0,6	1,1	0,48	0,35	2,5	7,7	12,3	22,5	11	75	2				
O4	5,09	4,75	0,5	1,1	0,57	0,44	2,6	7,9	12,3	22,8	11	75	2				
2O5	5,07	4,74	0,5	1,1	0,53	0,41	2,5	8,0	9,8	20,3	12	76	2				
2O6	5,11	4,77	0,5	1,0	0,50	0,38	2,4	7,8	10,2	20,4	12	77	1				
2O7	5,10	4,27	0,6	1,1	0,86	0,75	3,3	7,7	11,2	22,2	15	70	1				
2O8	5,07	4,27	0,7	1,3	0,80	0,68	3,5	7,8	12,2	23,5	15	69	1				
2O9	5,07	4,27	0,7	1,3	0,80	0,68	3,5	8,3	12,2	24,0	15	70	1				
2O10	5,10	4,61	0,4	1,0	0,74	0,62	2,8	8,1	11,4	22,3	12	75	1				
Horizonte	C (orgânico) g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
										(Ki)	(Kr)						
O1	279,3	17,9	16														
O2	284,9	14,8	19														
O3	293,4	13,4	22														
O4	299,7	13,4	22														
2O5	301,3	13,1	23														
2O6	309,9	14,3	22														
2O7	287,9	12,3	23														
2O8	290,9	12,4	23														
2O9	246,2	11,5	21														
2O10	260,6	11,0	24														
Horizonte	Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974)								Testes para identificação de propriedades ándicas (Santos et al., 2018)								
	MM	MO	FNE	FE	IP	Escala de von Post		Dmo	RM	Pr	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Al _o +1/2Fe _o	Al _p Al _o	MI
O1	54,3	45,7	24	16	3/3	H8	sapric	0,25	0,20	92,1	1,6	1,7	0,06	2,4	2,4	1,5	1,6
O2	54,2	45,8	23	12	3/3	H8	sapric	0,25	0,20	88,1	1,3	1,4	0,09	2,2	2,0	1,7	1,8
O3	54,1	45,9	20	11	3/3	H8	sapric	0,26	0,20	94,3	1,4	1,5	0,08	2,3	2,2	1,7	1,7
O4	53,8	46,2	19	11	3/2	H8	sapric	0,26	0,20	93,7	1,4	1,5	0,08	2,4	2,1	1,8	1,7
2O5	55,0	45,0	22	14	4/2	H9	sapric	0,36	0,30	88,4	1,1	1,3	0,09	2,4	1,8	2,1	1,8
2O6	54,6	45,4	21	13	4/3	H9	sapric	0,37	0,30	92,1	1,3	1,4	0,08	2,5	2,0	2,0	1,8
2O7	56,7	43,3	18	10	3/3	H9	sapric	0,36	0,31	85,4	1,2	1,2	0,10	2,0	1,8	1,7	2,0
2O8	56,8	43,2	16	8	3/2	H9	sapric	0,36	0,31	85,9	1,1	1,3	0,08	2,1	1,7	1,9	2,0
2O9	60,5	39,5	14	7	3/3	H9	sapric	0,33	0,33	89,0	1,0	1,3	0,09	1,9	1,7	1,9	1,9
2O10	59,7	40,3	12	5	3/3	H9	sapric	0,33	0,33	89,1	1,2	1,4	0,09	2,2	1,9	1,8	1,8