

ANO
2017

FRANCISCO ALEXANDRE DE MORAIS | GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE HORIZONTES
SUBSUPERFICIAIS ESCURECIDOS EM ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS DO
EXTREMO SUL DO BRASIL

O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos apenas em dois perfis representativos dos Argissolos Bruno-Acinzentados, localizados no estado do Rio Grande do Sul. Quanto à classificação no SiBCS, uma reformulação da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados é oportuna, assim, propõe-se um critério de enquadramento que elimina a exigência do escurecimento na porção superior do horizonte B, conforme segue: “solos com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)”. Complementarmente, a presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-Acinzentados pode ser contemplada pela adoção do caráter sômbrico ao nível dos subgrupos.

Orientador: Prof. Doutor Jaime Antonio de Almeida

LAGES, 2017



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

TESE DE DOUTORADO

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE
HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS
ESCURECIDOS EM ARGISSOLOS
BRUNO-ACINZENTADOS DO
EXTREMO SUL DO BRASIL**

FRANCISCO ALEXANDRE DE MORAIS

LAGES, 2017

FRANCISCO ALEXANDRE DE MORAIS

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS
ESCURECIDOS EM ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS DO EXTREMO SUL
DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Doutor Jaime Antonio de Almeida

**LAGES
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

de Moraes, Francisco Alexandre
Gênese e classificação de horizontes
subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-
Acinzentados do extremo sul do Brasil / Francisco
Alexandre de Moraes. - Lages , 2017.
360 p.

Orientador: Jaime Antonio de Almeida
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2017.

1. processos da formação de solos. 2. melanização.
3. lessivagem. 4. podzolização. 5. caráter sômbrico.
I. de Almeida, Jaime Antonio. II. Universidade do
Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação.
III. Título.

FRANCISCO ALEXANDRE DE MORAIS

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS
ESCURECIDOS EM ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS DO EXTREMO SUL
DO BRASIL

Banca examinadora:

Orientador:



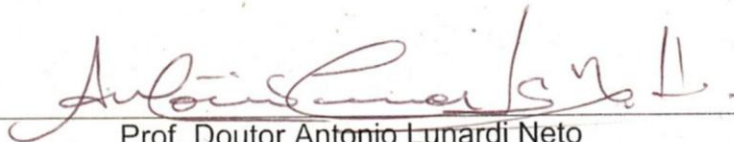
Prof. Doutor Jaime Antonio de Almeida
UDESC

Membro:



Profª. PhD Deborah Pinheiro Dick
UFRGS

Membro:



Prof. Doutor Antonio Lunardi Neto
UFSC

Membro:



Prof. Doutor Jackson Adriano Albuquerque
UDESC

Membro:



Prof. Doutor Alvaro Luiz Mafra
UDESC

Lages, 23 de junho de 2017

Eu dedico este trabalho à minha família
("Seu Messias", "Dona Socorro", "Tia Dora", Alex e Luciana).

AGRADECIMENTOS

Ao professor da UDESC e orientador Jaime A. de Almeida.
Aos amigos da UDESC Daniel A. Heberle, Gabriel O. de M. Cunha e Pablo G. dos Santos.
À professora da UFRGS Deborah P. Dick.
Aos parceiros do IRGA Tiago V. Cereza, Rafael N. dos Santos e Tania M. D. Nahra.
Ao parceiro da UFSCAR Matheus Ortega.
Ao parceiro da UFRGS Maurifran de O. Lima.
Ao parceiro da UDESC Matheus R. Machado.
Aos professores da UDESC Jackson A. Albuquerque, Alvaro L. Mafra, Letícia Sequinatto, Rogério Laus e Mari L. Campos.
Aos demais professores e parceiros da UDESC.
Aos professores da UFRGS Cimélio Bayer e Paulo Regis Ferreira da Silva.
Ao servidor da UFRGS Luiz Antonio da Silveira.
Ao professor da UFSC Antônio Lunardi Neto.
Aos professores da ESALQ Pablo Vidal-Torrado e Miguel Cooper.
Aos servidores da ESALQ José Luiz Vicente e Sônia A. L. da S. Moraes.
Aos colaboradores voluntários do *Research Gate* MSc Christian Günther, PhD Anicet Beauvais, MSc Jérôme Juilleret, Dr^a Rosa M. Poch, PhD Uwe R. Kackstaetter, Dr Peter Kühn e Dr^a Selma S. de Castro (thank you so much!).
À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).
À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).
Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).
À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).
À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
Ao Sci-Hub.
Muito obrigado!

“We write our glory with blood. We would rather die than submit”.

Sayyid Hassan Nasrallah
Secretary-General of the Hezbollah

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS ESCURECIDOS EM ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS DO EXTREMO SUL DO BRASIL

RESUMO

A gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados do sul do Brasil precisa ser mais bem entendida, assim como a classificação desses solos no SiBCS precisa ser aperfeiçoada. Nesse sentido, o objetivo geral desta tese foi avaliar se o processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados do extremo sul do Brasil. Quatro perfis representativos dos Argissolos Bruno-Acinzentados e um Argissolo Amarelo foram selecionados, descritos, amostrados e amplamente caracterizados (atributos físicos, químicos, mineralógicos, macro e micromorfológicos). Condições heterogêneas quanto ao material de origem, relevo (altitude, posição na paisagem e declividade), clima e organismos vivos (vegetação) foram contempladas. Um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto (PBAC - SJP) foi escolhido no município de São João do Polêsine, região centro-ocidental do Rio Grande do Sul. Um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico (PBAC - RS) foi escolhido no município de Rosário do Sul, região sudoeste do Rio Grande do Sul. Um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto (PBAC - ARV) foi escolhido no município de Arvorezinha, região nordeste do Rio Grande do Sul. Um ARGISSOLO AMARELO Alítico típico (PA - AUR) foi escolhido no município de Aurora, região centro-leste de Santa Catarina. Um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abrupto (PBAC - AW) foi escolhido no município de Alfredo Wagner, região centro-leste de Santa Catarina. O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Propõe-se um critério de enquadramento dos Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS que elimina a exigência do escurecimento na porção superior do horizonte B, conforme segue: “solos com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)”. A presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-Acinzentados pode ser contemplada pela adoção do caráter sômbrico ao nível dos subgrupos.

Palavras-chave: processos da formação de solos, melanização, lessivagem, podzolização, caráter sômbrico

GENESIS AND CLASSIFICATION OF DARK COLORED SUBSURFACE HORIZONS IN THE GRAY-BROWN PODZOLIC SOILS FROM SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The genesis of the dark colored subsurface horizons in the Gray-Brown Podzolic soils (*Argissolos Bruno-Acinzentados*) from Southern Brazil needs to be better understood, as well as the classification of this soils in the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS) needs to be improved. Therefore, the aim of this thesis was to evaluate if the process of migration of organic matter and clay minerals in the vertical-downward orientation explains the genesis of darkening of subsurface horizons in the Gray-Brown Podzolic soils from Southern Brazil. Five profiles of the Gray-Brown Podzolic soils were selected, described, sampled and widely characterized (physical, chemical, mineralogical, macromorphological, and micromorphological attributes) (**PBAC - SJP**: SiBCS = *ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abruptico*, Soil Taxonomy = Typic Sombrihumult, WRB = Abruptic Alisol (Cutanic); **PBAC - RS**: SiBCS = *ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico*, Soil Taxonomy = Typic Hapludalf, WRB = Plinthic Alisol (Colluvic, Cutanic); **PBAC - ARV**: SiBCS = *ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abruptico*, Soil Taxonomy = Typic Sombrihumult, WRB = Abruptic Acrisol (Cutanic, Sombric); **PA - AUR**: SiBCS = *ARGISSOLO AMARELO Alítico típico*, Soil Taxonomy = Typic Haplohumult, WRB = Haplic Alisol (Cutanic); **PBAC - AW**: SiBCS = *ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abruptico*, Soil Taxonomy = Typic Haplohumult, WRB = Abruptic Acrisol (Cutanic, Sombric)). The process of migration of organic matter and clay minerals in the vertical-downward orientation explains the genesis of darkening of subsurface horizons in the profiles PBAC - SJP and PBAC - ARV. A new criterion of the Gray-Brown Podzolic soils in the SiBCS is proposed which eliminates the requirement of darkening in the upper portion of the B horizon. The presence of dark colored subsurface horizons in the Gray-Brown Podzolic soils can be contemplated by the adoption of the sombric character at the level of subgroups (fourth level).

Keywords: soil forming process, melanization, lessivage, podzolization, sombric character

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Modelos estruturais (esfera-bastão, preenchimento espacial e poliedral, no sentido esquerda-direita) para representar as camadas do tipo 1:1 e 2:1 dos filossilicatos. A: caulinita, 1:1; B: pirofilita, 2:1 (dioctaedral); C: talco, 2:1 (trioctaedral)	31
Figura 2 — Representação de uma micela em solução (B) e uma membrana revestimento um mineral (B), conforme os trabalhos do Wershaw e colaboradores (Wershaw, 1986, 1993, 1994, 1999 e 2004; Wershaw e Pinckney, 1973, 1977 e 1980; Wershaw et al., 1977, 1995, 1996a, 1996b)	42
Figura 3 — Representação do modelo zonal das interações organominerais proposto por Kleber et al. (2007)	53
Figura 4 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - SJP	79
Figura 5 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - RS	81
Figura 6 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - ARV	83
Figura 7 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PA - AUR	85
Figura 8 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - AW	87
Figura 9 — Distribuição espacial dos solos no sul do Brasil. Os perfis PBAC - SJP (São João do Polêsine), PBAC - RS (Rosário do Sul) e PBAC - ARV (Arvorezinha) estão localizados no estado do Rio Grande do Sul, enquanto os perfis PA - AUR (Aurora) e PBAC - AW (Alfredo Wagner) estão localizados no estado de Santa Catarina	89
Figura 10 — Amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP (A, B e C) e PBAC - ARV (D, E e F). Descrições detalhadas estão apresentadas abaixo	90
Figura 11 — Feições escurecidas observadas <i>in-situ</i> ao nível da macromorfologia no perfil PBAC - SJP	104
Figura 12 — Feições escurecidas observadas <i>in-situ</i> ao nível da macromorfologia no perfil PBAC - ARV	105
Figura 13 — Feições escurecidas observadas ao nível da micromorfologia em lâmina delgada do horizonte BA do perfil PBAC - SJP	109
Figura 14 — Feições escurecidas observadas ao nível da micromorfologia em lâmina delgada do horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV	110
Figura 15 — Fotos abrangendo integralmente as lâminas delgadas do horizonte BA do perfil PBAC - SJP (A), bem como do horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV (B). Cada lâmina de vidro possui as dimensões de 75 X 50 X 1,85 mm. Amostras orientadas e com a estrutura preservada	111

Figura 16 — Proporções da areia, silte, argila e argila dispersa na TFSE, grau de flocculação e razão silte:argila. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	118
Figura 17 — Proporções das subfrações argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE (os cálculos estão descritos no APÊNDICE F, item 5.5.15). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2 e Bt; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	119
Figura 18 — Proporções das subfrações areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF) e areia muito fina (AMF) em relação à TFSE. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	121
Figura 19 — Quantidade do cascalho. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	122
Figura 20 — Índices “comparação da distribuição dos tamanhos das partículas” (CPSD), índice de Asady-Whiteside (AWI), valor de uniformidade (UV), índice I/E (I/E) e razão argila fina:argila grossa (AF:AG). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	123
Figura 21 — Proporções do SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, TiO ₂ e ZrO ₂ na TFSE, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	129
Figura 22 — Proporções do SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, TiO ₂ e ZrO ₂ na areia, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	130

Figura 23 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 no silte, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	131
Figura 24 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 na argila, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	132
Figura 25 — Razão $\text{TiO}_2:\text{ZrO}_2$ na TFSE, areia, silte e argila, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	133
Figura 26 — Índices K_{FRX} e K_{rFRX} , bem como a capacidade de troca de cátions a pH 7 relativa à argila (T_{ARG}). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	135
Figura 27 — Teores do alumínio (Al_{PIRO}) e ferro (Fe_{PIRO}) extraídos pela solução do pirofosfato de sódio, ferro (Fe_{CD}) extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio, e alumínio (Al_{OX}) e ferro (Fe_{OX}) extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	136
Figura 28 — pH em uma solução do KCl (pH-KCl), pH em água (pH- H_2O), <i>delta</i> pH (ΔpH) e condutividade elétrica (CE). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	138
Figura 29 — Complexo sortivo: teores do Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H^+Al . Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: <u>PBAC - SJP</u> : A1, A2, BA , Bt1, Bt2, BC e C; <u>PBAC - RS</u> : A1, A2, 2BA1 , 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; <u>PBAC - ARV</u> : A1, A2, BA1 , BA2, Bt, BC e C; <u>PA - AUR</u> : A, AB, BA, Be , Bi, BC1, BC2 e Cr; <u>PBAC - AW</u> : A1, A2, AB, BA , Bt1, Bt2 e C	139

Figura 30 — Complexo sortivo: soma de bases (S), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7 (T), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V) e percentagem do sódio trocável (PST). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C 140

Figura 31 — Teores do carbono orgânico total (COT) na TFSE, e nas subfrações argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE (os cálculos estão descritos no APÊNDICE F, item 5.5.15). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C 141

Figura 32 — Teores do nitrogênio total na TFSE, subfrações argila fina e argila grossa, e razão C:N na TFSE (C:N-TFSE), subfrações argila fina (C:N-AF) e argila grossa (C:N-AG). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C 143

Figura 33 — Proporção da matéria orgânica leve em água na TFSE, relação Al+0,5Fe e ODOE. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C 145

Figura 34 — $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1 e Bt2; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2 e 2Bt; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2 e Bt; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi e BC1; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA** e Bt1. A linha acinzentada descontínua aos -22‰ indica o limite inferior (aceito como) característico das plantas do ciclo fotossintético C3, enquanto a linha descontínua aos -20‰ indica o limite superior (aceito como) característico das plantas do ciclo fotossintético C4 146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Síntese conciliando as informações apresentadas sobre os Espodossolos	48
Quadro 2 — Classes granulométricas dos horizontes dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW (Soil Survey Staff, 2014)	117
Quadro 3 — Proporções das subfrações argila fina (AF) e argila grossa (AG) das amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	120
Quadro 4 — Proporções do SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, TiO ₂ e ZrO ₂ na TFSE, mensurados por fluorescência de raios X nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	134
Quadro 5 — Teores do alumínio (Al _{OX}) e ferro (Fe _{OX}) extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio, relação Al+0,5Fe e ODOE nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	137
Quadro 6 — Teor do carbono orgânico total (COT) na TFSE, e nas subfrações argila fina (COT-AF) e argila grossa (COT-AG) das amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	142
Quadro 7 — Teores do nitrogênio total na TFSE (N-TFSE), subfrações argila fina (N-AF) e argila grossa (N-AG), e razão C:N na TFSE (C:N-TFSE), subfrações argila fina (C:N-AF) e argila grossa (C:N-AG) nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	144
Quadro 8 — $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas	147
Quadro 9 — Classificação dos horizontes diagnósticos superficiais dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à <i>Soil Taxonomy</i> (Soil Survey Staff, 2014)	153
Quadro 10 — Classificação dos horizontes diagnósticos subsuperficiais dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à <i>Soil Taxonomy</i> (Soil Survey Staff, 2014) e WRB (IUSS Working Group WRB, 2015)	154
Quadro 11 — Classificação dos cinco solos avaliados nesta tese até o quarto nível categórico do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à <i>Soil Taxonomy</i> (Soil Survey Staff, 2014) e WRB (IUSS Working Group WRB, 2015)	155

Quadro 12 — Comparação de diferentes critérios quanto ao enquadramento dos solos com o predomínio das cores brunadas no horizonte B. CNPS (2006): critério dos Argissolos Bruno-Acinzentados da edição de número 2 do SiBCS (Anexo L). Santos et al. (2013): critério dos Argissolos Bruno-Acinzentados da edição de número 3 do SiBCS (Anexo L). Baldwin et al. (1938): critério do <i>Gray-Brown Podzolic</i> da classificação norte-americana de solos de 1938 (Anexo B). Morais (2017): critério proposto nesta tese para os Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS	158
Quadro 13 — Classificação dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento da edição de número 3 do SiBCS e os critérios propostos	165

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	GÊNESE DO ESCURECIMENTO EM HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS	27
2.1.1	Modelos da pedogênese	27
2.1.2	Processos e caminhos da formação de solos	30
2.1.2.1	<i>Lessivagem: migração mecânica dos argilominerais no solo</i>	30
2.1.2.1.1	Conceitos básicos: argilominerais	30
2.1.2.1.2	Conceitos básicos: dispersões coloidais	33
2.1.2.1.3	Descrição do processo	35
2.1.2.1.4	Utilização de traçadores radioativos para simular o processo da lessivagem (Mel'nikova e Kovenya, 1971)	36
2.1.2.1.5	Movimento de argilominerais marcados com ⁵⁵ Fe e matéria orgânica marcada com ¹⁴ C (Kerpen e Scharpenseel, 1967; Scharpenseel e Kerpen, 1967)	37
2.1.2.1.6	Solos com diferença textural vertical	37
2.1.2.2	<i>Podzolização</i>	39
2.1.2.2.1	Conceitos básicos: matéria orgânica do solo	39
2.1.2.2.2	Descrição do processo	44
2.1.2.2.3	Dissoluções seletivas do alumínio e ferro	47
2.1.2.2.4	Densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE)	49
2.1.2.3	<i>Solos com dois seque (bisequal soils ou double profiles)</i>	50
2.1.2.4	<i>Migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais</i>	51
2.1.2.5	<i>Feição relíquia induzida por alterações climáticas: o exemplo do sul do Brasil</i>	55
2.1.2.6	<i>Descontinuidades litológicas, paleossolos e solos soterrados</i>	56
2.1.3	Hipóteses para explicar a gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos	59
2.1.3.1	<i>Horizontes soterrados (retrabalhamento)</i>	59
2.1.3.2	<i>Podzolização</i>	59
2.1.3.3	<i>Migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais</i>	60
2.1.3.4	<i>Feição relíquia induzida por alterações climáticas</i>	61
2.1.3.5	<i>Formação e acumulação do carbono pirogênico</i>	61
2.1.3.6	<i>Argissolos Bruno-Acinzentados do extremo sul do Brasil</i>	62
2.2	CLASSIFICAÇÃO DOS ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS ...	64
2.2.1	Classificação norte-americana de solos de 1938	64
2.2.2	Gray-Brown Podzolic e o solo Miami silt loam	66
2.2.3	Evolução dos Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS	66

2.2.4	Solos com horizonte subsuperficial escurecido identificados na região central da África	67
2.2.5	Horizonte sômbrico (<i>sombric horizon</i>) e caráter sômbrico	68
3	HIPÓTESE	71
4	OBJETIVOS	73
4.1	OBJETIVO GERAL	73
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	73
5	MATERIAL E MÉTODOS	75
5.1	VIAGENS PELOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA	75
5.2	DESCRIÇÃO GERAL DOS SOLOS	75
5.3	DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS <i>IN-SITU</i> E COLETA DAS AMOSTRAS	78
5.4	PREPARO DAS AMOSTRAS	92
5.5	ANÁLISES DE LABORATÓRIO (MAIS DETALHES NO APÊNDICE F)	92
5.5.1	Frações granulométricas maiores do que 2 mm	92
5.5.2	Granulometria (areia, silte e argila)	92
5.5.3	Argila natural ou argila dispersa em água	93
5.5.4	Grau de floculação	93
5.5.5	Razão silte:argila	93
5.5.6	Fracionamento da areia	93
5.5.7	Fracionamento da argila	93
5.5.8	Comparação da distribuição dos tamanhos das partículas (<i>comparative particle size distribution</i> - CPSD)	93
5.5.9	Índice de Asady-Whiteside (<i>Asady-Whiteside index</i> - AWI)	93
5.5.10	Valor de uniformidade (<i>uniformity value</i> - UV)	94
5.5.11	Índice I/E	94
5.5.12	<i>delta</i> pH, pH em água e pH em uma solução do KCl	94
5.5.13	Carbono orgânico total e nitrogênio total	94
5.5.14	Carbono orgânico total e nitrogênio total na argila fina e argila grossa	94
5.5.15	Argila fina e argila grossa, e carbono orgânico total na argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE	94
5.5.16	Matéria orgânica leve em água	95
5.5.17	Cátions trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+})	95
5.5.18	Alumínio trocável (Al^{3+})	95
5.5.19	Acidez potencial (H+Al)	95
5.5.20	Soma de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7, saturação por alumínio, saturação por bases e percentagem do sódio trocável (S, t, T, m, V e PST, respectivamente)	95

5.5.21	Alumínio e ferro extraídos pela solução do pirofosfato de sódio .	96
5.5.22	Silício, alumínio, ferro e manganês extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio	96
5.5.23	Relação entre os teores do Al_{ox} e Fe_{ox} ($Al + 0,5Fe$)	96
5.5.24	Densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE) .	96
5.5.25	Ferro extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio	96
5.5.26	SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 na TFSE, areia, silte e argila, mensurados por espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX)	97
5.5.27	Índices Ki_{FRX} e Kr_{FRX} da argila	97
5.5.28	Condutividade elétrica	97
5.5.29	Difratometria de raios X (DRX) - fração argila do solo	97
5.5.30	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) - matéria orgânica do solo	98
5.5.31	$\delta^{13}C$ ($\delta^{13}C$)	98
5.5.32	Datação por ^{14}C	98
5.5.33	Micromorfologia	98
5.6	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	99
5.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	99
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
	GÊNESE DO ESCURECIMENTO EM HORIZONTES	
6.1	SUBSUPERFICIAIS: MIGRAÇÃO INDISSOCIADA DA MATÉRIA ORGÂNICA E ARGILOMINERAIS	101
6.1.1	Morfologia dos solos	101
6.1.1.1	<i>Macromorfologia</i>	101
6.1.1.2	<i>Micromorfologia</i>	105
6.1.2	Caracterização básica dos solos	111
6.1.2.1	<i>Atributos mineralógicos</i>	111
6.1.2.2	<i>Atributos físicos</i>	114
6.1.2.3	<i>Atributos químicos</i>	124
6.1.3	Recapitulando a gênese de alguns solos com a presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos	148
6.2	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	151
6.2.1	SiBCS, Soil Taxonomy e WRB	151
6.2.2	Argissolos Bruno-Acinzentados (<i>Ultisols</i>) versus Gray-Brown Podzolic (<i>Alfisols</i>)	156
6.2.3	Horizonte sômbrico e caráter sômbrico	162

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
8	CONCLUSÕES	171
	REFERÊNCIAS	173
	APÊNDICES	203
	ANEXOS	329

1 INTRODUÇÃO

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a presença de um horizonte subsuperficial escurecido coincidindo com a porção superior do horizonte B é considerada um atributo diagnóstico para o enquadramento na subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados.

Os atuais Argissolos Bruno-Acinzentados foram identificados na região sul do Brasil a partir de 1980, o que motivou a criação de uma classe nova em 1982. Inicialmente, esses solos foram denominados de Podzólicos Bruno-Acinzentados em uma referência ao grande grupo *Gray-Brown Podzolic* da classificação norte-americana de solos de 1938.

A ocorrência dos Argissolos Bruno-Acinzentados foi reportada apenas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sob condições heterogêneas quanto ao material de origem, relevo (altitude, posição na paisagem e declividade), clima e organismos vivos. A gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados ainda permanece pobremente compreendida, embora seja uma classe identificada há mais de 30 anos.

Os horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-Acinzentados são similares em relação ao horizonte sômbrico (*sombric horizon*) da *Soil Taxonomy* e *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), e também aos horizontes com o caráter sômbrico recentemente inserido no SiBCS, todavia, não há exigência de que o escurecimento do topo do horizonte B em Argissolos Bruno-Acinzentados atenda os critérios de enquadramento do horizonte sômbrico ou caráter sômbrico, e estes dois podem ocorrer em várias classes de solo. Adicionalmente, a morfologia pode ser semelhante em relação ao horizonte espódico Bh (*spodic horizon*), horizonte nátrico (*natric horizon*) e alguns horizontes soterrados (retrabalhamento).

A conceituação vigente do horizonte sômbrico incorporou a hipótese da iluviação da matéria orgânica que foi proposta ainda na década de 1960, porém a ausência de uma fundamentação consistente tornou confusa a diferenciação em relação ao horizonte espódico Bh, horizonte nátrico e alguns horizontes soterrados (retrabalhamento). Apesar de existirem referências sobre a ocorrência dos solos com horizontes subsuperficiais escurecidos na América do Sul (Brasil e Colômbia) e Ásia (Índia), na *Soil Taxonomy* e WRB é respaldada a idéia de que o horizonte sômbrico

está restrito à região central da África sob o clima frio e úmido dos planaltos e montanhas com altitudes elevadas, sendo mantido indevidamente o *status quo*.

Na literatura, as hipóteses propostas para explicar a gênese do horizonte sômbrico são a ocorrência de horizonte soterrado (retrabalhamento), formação e acumulação do carbono pirogênico, feição relíquia induzida por alterações climáticas (não necessariamente implicando em alguma diferença na composição da matéria orgânica dos horizontes subsuperficiais escurecidos em relação aos horizontes sobrejacentes claros), podzolização, iluviação da matéria orgânica, e migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais.

Diante do exposto, verifica-se que a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados do sul do Brasil precisa ser mais bem entendida, assim como a classificação desses solos no SiBCS precisa ser aperfeiçoada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GÊNESE DO ESCURECIMENTO EM HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS

2.1.1 Modelos da pedogênese

Modelos são abstrações da realidade que restringem o ponto de vista por meio de lentes conceituais, tornando possível a distinção entre sinal (aspectos essenciais aos modelos) e ruído (aspectos dispensáveis aos modelos). Considerando-se que os solos são comparáveis aos palimpsestos, os modelos são ferramentas bastante úteis nos estudos da pedogênese (Dijkerman, 1974; Fedoroff et al., 2010; Schaetzl e Anderson, 2005).

Diversos modelos foram propostos para elucidar a formação de solos a partir de diferentes perspectivas, baseadas em conceitos como fatores (Jenny, 1941), processos (Simonson, 1959), energia (Runge, 1973), relações solo-paisagem (Huggett, 1975), sistemas (Smeck et al., 1983), evolução (Johnson e Watson-Stegner, 1987), entre outros.

Jenny (1941) propôs que os fatores clima (cl), organismos vivos (o), topografia ou relevo (r), material de origem (p) e tempo (t) são variáveis independentes que definem o sistema solo. Um estado particular do sistema é definido para cada combinação desses fatores (apenas um tipo de solo pode existir sob uma combinação específica). O autor sugeriu o modelo $s = f(cl, o, r, p, t, \dots)$ denominado de equação fundamental dos fatores da formação de solos na forma de uma regressão linear múltipla, em que as propriedades do solo representadas pela letra s são as variáveis dependentes, enquanto os fatores da formação representados pelas letras cl, o, r, p e t são as variáveis independentes (não foi descartada a ocorrência de alguma relação funcional entre os fatores, mas foi enfatizado que estes podem variar independentemente). Os pontos indicam que alguns fatores adicionais podem ser importantes em casos especiais. A equação pode ser solucionada tanto teoricamente, por meio de deduções lógicas a partir de determinadas premissas, quanto empiricamente por meio de observações ou experimentação. Jenny (1941) reconheceu que o material de origem (estado inicial do sistema) muda continuamente em uma direção definida até atingir um estado de

equilíbrio denominado de solo maduro (estado final do sistema). Oportunamente, Hole (1961) indicou o espaço como um sexto fator da formação de solos.

Simonson (1959) propôs que os solos são formados pelas etapas da acumulação do material de origem e diferenciação de horizontes, sendo impossível definir quando uma termina e a outra começa. A diferenciação de horizontes foi atribuída às adições, remoções, transferências e transformações que ocorrem no sistema solo, podendo variar quanto à magnitude e direção. Assim, esses quatro processos, definidos intencionalmente de forma genérica e abrangente, também podem retardar ou desfazer a diferenciação de horizontes. O autor sugeriu que a natureza de cada solo é determinada pelo balanço dos processos ocorridos ao longo do tempo, sendo controlados pelos fatores de formação clima, organismos vivos, topografia ou relevo, material de origem e tempo (Simonson, 1959).

A essência do conceito da evolução para explicar a gênese dos solos é relativamente antiga. Por exemplo, Nikiforoff (1942) afirmou que a maturidade de um solo representa apenas um estado estacionário que depende da ciclicidade dos processos progressivos (relacionados à síntese) e regressivos (relacionados à decomposição). Complementarmente, Hole (1961) classificou os fatores e processos pedogenéticos fazendo uma associação aos conceitos de isotropia (qualidade de ter os mesmos atributos em todas as direções) e anisotropia (qualidade de ter os atributos diferentes conforme as variações da direção). Os fatores e processos responsáveis pela diferenciação de horizontes foram denominados de *propedanisotrópicos*, enquanto os fatores e processos responsáveis pela simplificação ou homogeneização de horizontes foram denominados de *propedisotrópicos*. O autor também afirmou que a maturidade de um solo é apenas um estado estacionário que depende da interação dos dois tipos de fatores e processos da formação de solos (Hole, 1961).

Um refinamento dessas idéias foi apresentado por Johnson e Watson-Stegner (1987). Estes autores propuseram o modelo da evolução de solos representado pela equação $S = f(P, R)$, com base na ocorrência simultânea dos caminhos progressivo (P) e regressivo (R). Cada caminho possui três componentes. O progressivo está relacionado à diferenciação de horizontes (condições e processos anisotrópicos), aumento da espessura do solo e construção assimilativa (os materiais adicionados à superfície são prontamente assimilados pela pedogênese). O regressivo está relacionado à simplificação ou homogeneização de horizontes (condições e

processos isotrópicos), redução da espessura do solo e construção dissimilativa (os materiais adicionados à superfície não são prontamente assimilados pela pedogênese). O autor sugeriu que a natureza de cada solo é determinada pelo balanço dos caminhos progressivo e regressivo ao longo do tempo, sendo demonstrada a sensibilidade do modelo em explicar a formação de solos com características poligenéticas (Johnson e Watson-Stegner, 1987).

Outros autores também fizeram contribuições valiosas. Smeck et al. (1983) ressaltaram que a diferenciação de horizontes aumenta a ordem do sistema solo e diminui a entropia, enquanto a simplificação ou homogeneização de horizontes diminui a ordem do sistema e aumenta a entropia. Assim, a diferenciação de horizontes só é possível porque os solos são sistemas abertos e muitos processos da formação são dirigidos pelos fluxos de energia. Muhs (1984) destacou a importância dos conceitos de limiares intrínsecos (*intrinsic thresholds*) e limiares extrínsecos (*extrinsic thresholds*). Os limiares são zonas críticas que causam instabilidade ao sistema solo quando são excedidos (o que altera a direção da pedogênese), tanto por mudanças extrínsecas quanto intrínsecas. As mudanças extrínsecas estão relacionadas aos fatores da formação de solos. As mudanças intrínsecas estão relacionadas às feições desenvolvidas pelos processos pedogenéticos (*pedogenic accessions*), independentemente das mudanças extrínsecas. Torrent e Nettleton (1978) enfatizaram a importância dos processos retroalimentados (*feedback process*), que são aqueles ocorridos em resposta aos limiares excedidos. Phillips (1993 e 1994) apresentou uma nova interpretação dos fatores da formação de solos a partir da perspectiva dos sistemas dinâmicos não-lineares. O autor sugeriu que o comportamento caótico é algo inerente do desenvolvimento dos solos. A definição do caos determinístico baseia-se na sensibilidade elevada às condições iniciais, que em pedologia são desconhecidas e incognoscíveis, de modo que uma diferença ínfima no estágio zero da evolução de um sistema solo se amplifica ao longo do tempo (Muhs, 1984; Phillips, 1993 e 1994; Schaetzl e Anderson, 2005; Schumm, 1979; Smeck et al., 1983; Torrent e Nettleton, 1978).

2.1.2 Processos e caminhos da formação de solos

2.1.2.1 Lessivagem: migração mecânica dos argilominerais no solo

2.1.2.1.1 Conceitos básicos: argilominerais

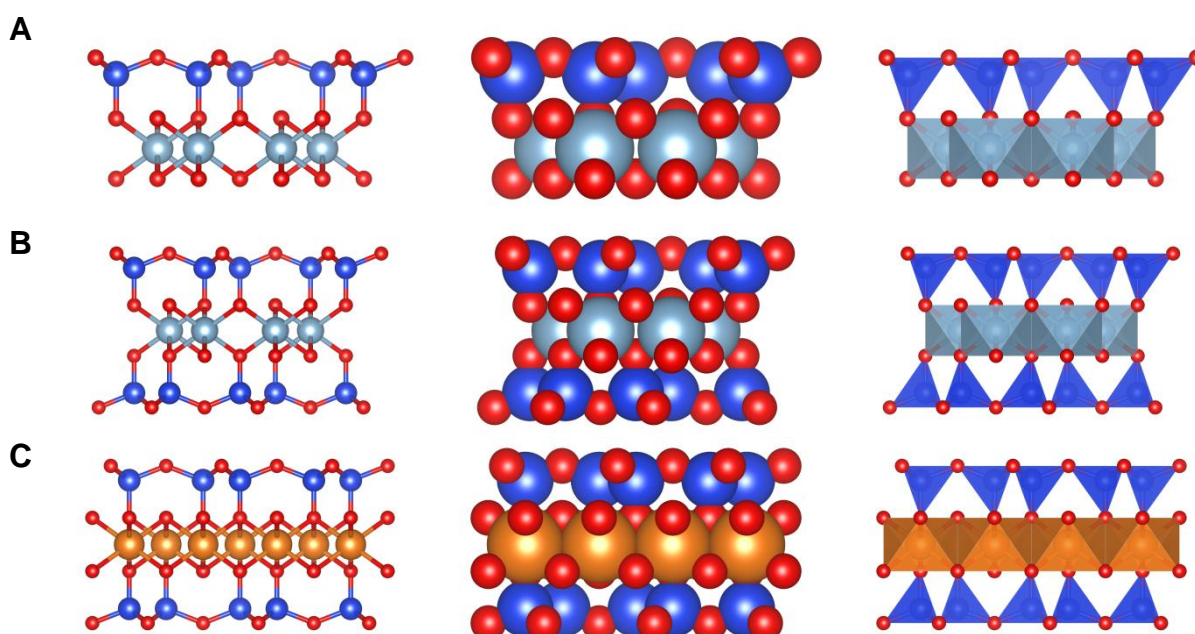
Argila é um termo que descreve os minerais do solo com tamanho inferior a 2 μm , enquanto argilomineral é um termo que representa um grupo específico dos filossilicatos que ocorrem predominantemente na fração argila (Sparks, 2003).

Os filossilicatos (silicatos com aspecto de folha) são aqueles arranjados em camadas, as quais podem ser do tipo 1:1 ou 2:1, dependendo da quantidade das lâminas tetraedrais e octaedrais. A camada do tipo 1:1 é composta por uma lâmina tetraedral e outra octaedral, com os ânions O^{2-} apicais da lâmina tetraedral sendo compartilhados com a lâmina octaedral. Cinco planos de íons são constituídos pelos ânions O^{2-} basais da lâmina tetraedral (superfície siloxana) (1), cátions dos tetraedros (2), ânions O^{2-} apicais pertencentes aos tetraedros e compartilhados com os octaedros, mais os ânions OH^- pertencentes exclusivamente à lâmina octaedral (3), cátions dos octaedros (4), e ânions OH^- pertencentes à lâmina octaedral (superfície hidroxilada) (5). A camada do tipo 2:1 é composta por uma lâmina octaedral entre duas lâminas tetraedrais, com os ânions O^{2-} apicais das duas lâminas tetraedrais sendo compartilhados com a lâmina octaedral. Sete planos de íons são constituídos pelos ânions O^{2-} basais da lâmina tetraedral (superfície siloxana em uma das extremidades) (1), cátions dos tetraedros (2), ânions O^{2-} apicais pertencentes aos tetraedros e compartilhados com os octaedros, mais os ânions OH^- pertencentes exclusivamente à lâmina octaedral (3), cátions dos octaedros (4), ânions O^{2-} apicais pertencentes aos tetraedros e compartilhados com os octaedros, mais os ânions OH^- pertencentes exclusivamente à lâmina octaedral (5), cátions dos tetraedros (6), e ânions O^{2-} basais das lâminas tetraedrais (superfície siloxana na outra extremidade) (7) (Figura 1) (Schulze, 1989).

Os argilominerais que ocorrem mais frequentemente em solos são a mica, illita, vermiculita, montmorilonita e caulinita. Comumente, esses filossilicatos existem como minerais interestratificados (camadas mistas), e não apenas como partículas distintas bem definidas (Schulze, 1989).

As micas são minerais com estrutura similar ao talco (trioctaedral) e pirofilita (dioctaedral), mas com diferenças quanto ao grau de substituição isomórfica e presença de cátions neutralizando o excesso das cargas negativas (geralmente potássio não trocável). A muscovita é um exemplo da mica dioctaedral, com a fórmula por meia célula unitária $K(Si_3Al_1)Al_2O_{10}(OH)_2$, enquanto a biotita é um exemplo da mica trioctaedral, com a fórmula por meia célula unitária $K(Si_3Al_1)(Mg,Fe^{2+})_3O_{10}(OH)_2$. Esses argilominerais possuem camadas do tipo 2:1, espaçamento basal de 1 nm (não expansivo), geralmente com potássio não trocável entre camadas, substituição isomórfica nos tetraedros, carga negativa por fórmula de 1, capacidade de troca de cátions entre 5 e 15 $cmol_c\ kg^{-1}$, e área superficial específica entre 70 e 120 $m^2\ g^{-1}$. As micas são herdadas do material de origem. Quando ocorrem na fração argila de solos, e apresentam menor cristalinidade, mais água e menos potássio, são denominadas de illita (as referências sobre a formação *in-situ* são raras) (Chesworth, 2008; Churchman e Lowe, 2012; Essington, 2003; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Guggenheim et al., 2006; Schulze, 1989; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Yuan e Theng, 2012).

Figura 1 — Modelos estruturais (esfera-bastão, preenchimento espacial e poliedral, no sentido esquerda-direita) para representar as camadas do tipo 1:1 e 2:1 dos filossilicatos. A: caulinita, 1:1; B: pirofilita, 2:1 (dioctaedral); C: talco, 2:1 (trioctaedral).



Visão lateral. As esferas coloridas representam os átomos do Si (esferas azuis mais escuras), Al (esferas azuis mais claras), Mg (esferas alaranjadas) e O (esferas vermelhas).

Fonte: elaborada pelo autor (figura criada com o *software* VESTA), 2017.

A vermiculita pode ser dioctaedral (mais comum), com a fórmula por meia célula unitária $M_{x-y}(Si_{4-x}Al_x)(Al_{3-y}M^{+2}_y)O_{10}(OH)_2$, ou trioctaedral, com a fórmula $M_x(Si_{4-x}Al_x)(MgFe)_3O_{10}(OH)_2$. Esse argilomineral ocorre predominantemente na subfração argila fina, apresentando camadas do tipo 2:1, espaçamento basal entre 1 e 1,5 nm (expansivo), cátions trocáveis e água entre camadas (eventualmente pode conter ilhas descontínuas dos polímeros amorfos do alumínio), substituição isomórfica majoritariamente nos tetraedros (o que resulta em uma maior densidade de carga), carga negativa por fórmula entre 0,6 e 0,9, capacidade de troca de cátions entre 100 e 210 $cmol_c\ kg^{-1}$, e área superficial específica entre 300 e 800 $m^2\ g^{-1}$. A vermiculita pode ser herdada do material de origem ou oriunda da transformação da mica, ilita e clorita (as referências sobre a formação *in-situ* são raras) (Chesworth, 2008; Churchman e Lowe, 2012; Douglas, 1989; Essington, 2003; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Guggenheim et al., 2006; Schulze, 1989; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Yuan e Theng, 2012).

A montmorilonita pertence ao grupo das esmectitas, subgrupo dioctaedral, com a fórmula por meia célula unitária $M_xSi_4(Al_{2-x}Mg_x)O_{10}(OH)_2$. Esse argilomineral ocorre predominantemente na subfração argila fina, apresentando camadas do tipo 2:1, espaçamento basal entre 1 e 1,8 nm (expansivo), cátions trocáveis e água entre camadas (eventualmente pode conter ilhas descontínuas dos polímeros amorfos do alumínio), substituição isomórfica majoritariamente nos octaedros (o que resulta em uma menor densidade de carga), carga negativa por fórmula entre 0,2 e 0,6, capacidade de troca de cátions entre 80 e 150 $cmol_c\ kg^{-1}$, e área superficial específica em torno de 800 $m^2\ g^{-1}$. A montmorilonita pode ser formada *in-situ* (mais comum), herdada do material de origem ou oriunda da transformação de outros filossilicatos (Borchardt, 1989; Chesworth, 2008; Churchman e Lowe, 2012; Essington, 2003; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Guggenheim et al., 2006; Schulze, 1989; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Yuan e Theng, 2012).

A caulinita pertence ao grupo caulim-serpentina, subgrupo caulim (dioctaedral), com a fórmula por meia célula unitária $Si_2Al_2O_5(OH)_4$. Esse argilomineral ocorre predominantemente na subfração argila grossa, apresentando camadas do tipo 1:1, espaçamento basal entre 0,71 e 0,74 nm (não expansivo; sem cátions trocáveis ou água entre camadas), nenhuma ou muito pouca substituição isomórfica, carga negativa por fórmula ausente ou muito baixa, capacidade de troca de cátions entre 3 a 15 $cmol_c\ kg^{-1}$, e área superficial específica entre 5 a 30 $m^2\ g^{-1}$. A

caulinita pode ser formada *in-situ* (mais comum), herdada do material de origem ou oriunda da transformação de outros filossilicatos (Chesworth, 2008; Dixon, 1989; Essington, 2003; Fanning et al., 1989; Guggenheim et al., 2006; Schulze, 1989; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Yuan e Theng, 2012).

2.1.2.1.2 Conceitos básicos: dispersões coloidais

Colóide é um termo que se refere a um estado de subdivisão, implicando que as moléculas ou partículas dispersas em um meio apresentam dimensão entre 1 nm e 1 µm, ao menos em uma direção, ou que em um sistema são encontradas descontinuidades em distâncias com essa magnitude. Em solos, os colóides abrangem uma variedade de materiais inorgânicos e orgânicos insolúveis em água que podem permanecer dispersos como partículas sólidas identificáveis. Dispersões coloidais são sistemas em que as partículas com dimensão coloidal de qualquer natureza (sólida, líquida ou gasosa) estão dispersas em uma fase contínua de composição diferente. A dispersão coloidal é considerada estável quando as partículas não se agregam (floculam) em taxas significativas (IUPAC, 2014; Sposito, 2008).

A floculação dos colóides pode ser inibida por mecanismos de estabilização eletrostática (estabilidade cinética) e estérica (estabilidade termodinâmica).

A estabilização eletrostática depende do potencial elétrico e dupla camada dos colóides (Tadros, 2010 e 2012). Segundo a teoria DLVO (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek), a estabilidade de uma dispersão coloidal é determinada pelo balanço entre as interações atrativas de van der Waals e repulsivas devidas à presença da dupla camada. O estado estável pode ser interpretado como uma condição de “congelamento” em que a taxa da floculação é muito baixa. Diferentemente das soluções verdadeiras, a estabilidade decorre das forças que reduzem ou previnem a colisão das partículas (Derjaguin et al., 1987).

A estabilização estérica depende da adsorção das macromoléculas não iônicas na superfície dos colóides, o que impede a aproximação das partículas, diminuindo a influência das interações atrativas de van der Waals (Gregory e O'Melia, 1989; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Napper, 1977).

Diversos estudos foram realizados para avaliar a dispersão dos argilominerais que ocorrem comumente em solos. Quanto à fase dispersa foi destacada a

influência dos fatores como o tipo e a quantidade do argilomineral (efeito da diluição), tamanho do cristal, tipo e quantidade da carga elétrica, potencial zeta, tipo e quantidade dos contra-íons, espessura da dupla camada, ponto de carga zero, presença dos agentes flocculantes, tipo e quantidade da matéria orgânica associada ao mineral, entre outros. Quanto à fase contínua foi destacada a influência dos fatores como o tipo e quantidade da matéria orgânica dissolvida ou dispersa, pH, concentração e valência dos íons, entre outros (Alperovitch et al., 1985; Bartoli et al., 1992; Buol e Hole, 1959 e 1961; Caillier e Visser, 1988; Chorom et al., 1994; Churchman et al., 1993; Curtin et al., 1994; D'Hoore, 1970; Dixit, 1978 e 1982; Dixit et al., 1975; Dong et al., 1983; Duchaufour, 1982; Durgin e Chaney, 1984; Frenkel et al., 1978, 1992a e 1992b; Furukawa et al., 2009; Gibbs, 1983; Goldberg e Forster, 1990; Goldberg et al., 1990; Gombeer e D'Hoore, 1971 e 1973; Gu e Doner, 1993; Gupta et al., 1984; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Kosmas e Moustakas, 1990; Kretzschmar et al., 1993 e 1997; Marchuk et al., 2013; Mel'nikova e Kovenya, 1971; Narkis e Rebhun, 1975 e 1997; Nelson e Oades, 1998; Nelson et al., 1999; Nguyen et al., 2013; Oades, 1984; O'Melia, 1989; Oster et al., 1980; Piccolo e Mbagwu, 1989 e 1994; Rowell et al., 1969; Shainberg e Letey, 1984; Shainberg et al., 1980; Shanmuganathan e Oades, 1983; Souchier e Duchaufour, 1969; Suarez et al., 1984; Tarchitzky et al., 1993; Tessens, 1984; Tombácz et al., 1984, 1998 e 2004; Visser e Caillier, 1988).

Na literatura, o papel da matéria orgânica em favor da agregação do solo é relatado com frequência. Provavelmente, a ação cimentante ocorre preponderantemente ao nível macroscópico em razão da presença dos compostos hidrofóbicos pegajosos (polissacarídeos, proteínas etc.) que unem os agregados, aumentam a repelência à água e diminuem a molhabilidade. A formação das redes estruturais pelas raízes de plantas e hifas de fungos, bem como a atividade da comunidade microbiana e fauna também são fatores importantes (Baldock e Nelson, 2000; Doerr et al., 2000; Foster, 1981; Goldberg et al., 1990; Guggenberger et al., 1999; Nelson e Oades, 1998; Nelson et al., 1999; Oades, 1984; Piccolo e Mbagwu, 1999; Tisdall, 1996; Tisdall e Oades, 1982).

2.1.2.1.3 Descrição do processo

A lessivagem é o processo da migração mecânica dos argilominerais no solo como partículas isoladas na fase aquosa (dispersões coloidais), na direção vertical e sentido descendente (Breemen e Buurman, 2002; Duchaufour, 1982; Schaetzl e Anderson, 2005; Wambeke, 1992).

A lessivagem compreende as etapas da dispersão, transporte (migração mecânica) e deposição. Primeiramente, as dispersões coloidais estáveis são formadas por meio de processos químicos e/ou físicos. Na sequência, o movimento da água funciona como o vetor do transporte. Finalmente, a deposição ocorre quando o deslocamento das partículas é interrompido devido ao fim do fluxo da água (em virtude da dessecação, perda de energia e/ou presença de impedimento físico), floculação, e/ou filtração em poros relativamente pequenos. Na superfície dos agregados e grãos individuais podem ser criados os revestimentos dos argilominerais (também conhecidos como *argillans*, *clay skins* ou *clay films*), os quais são claramente perceptíveis em lâminas delgadas ao nível da micromorfologia (Brewer, 1960 e 1976; Bullock et al., 1985; Buol e Hole, 1959 e 1961; Creutzberg e Sombroek, 1987; Duchaufour, 1982; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Miedema e Slager, 1972; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Schaetzl e Anderson, 2005; Stoops et al., 2010).

Em alguns estudos, os revestimentos ou bandas onduladas (lamelas) dos argilominerais foram produzidos artificialmente (Akamigbo e Dalrymple, 1985; Bond, 1986; Brewer e Haldane, 1957; Buol e Hole, 1959 e 1961; Thorp et al., 1957).

Em condições naturais, a migração dos argilominerais está frequentemente associada à ocorrência dos ciclos alternados da secagem e umedecimento, pois o molhamento abrupto do solo favorece a dispersão física devido ao fenômeno da explosão do ar (a água ocupa o espaço poroso e expulsa o ar aprisionado com uma pressão suficiente para destruir os agregados) (Breemen e Buurman, 2002).

2.1.2.1.4 Utilização de traçadores radioativos para simular o processo da lessivagem (Mel'nikova e Kovenya, 1971)

Mel'nikova e Kovenya (1971) utilizaram traçadores radioativos para simular com grande detalhamento o processo da lessivagem, tanto em colunas de solo (amostras deformadas e monólitos de um *Sod-Podzolic*) quanto de areia.

Em um dos ensaios, cristais de BaSO_4 contendo o isótopo radioativo ^{133}Ba foram utilizados, sendo avaliado o efeito do tamanho das partículas, porosidade (dependente do material usado), umidade inicial da coluna, pressão e quantidade da lâmina de água. Os autores observaram que a translocação foi diretamente proporcional ao diâmetro efetivo dos poros da coluna, pressão e quantidade da lâmina de água. A migração dos cristais com diâmetro de $0,5\ \mu\text{m}$ predominou em uma condição de saturação, por meio do fluxo da água livre (água gravitacional), enquanto a migração dos cristais com diâmetro de $0,1\ \mu\text{m}$ predominou em uma condição similar à capacidade de campo, por meio do movimento dos filmes de água (água capilar). A migração dos cristais com diâmetro de $20\text{-}1\ \mu\text{m}$ não foi observada (Mel'nikova e Kovenya, 1971).

Em outro ensaio, os argilominerais bentonita e vermiculita contendo o isótopo radioativo ^{59}Fe na estrutura cristalina (após a irradiação em um reator nuclear) foram utilizados, sendo avaliado o efeito das diferentes soluções percolantes. Nesse caso, apenas em monólitos de um *Sod-Podzolic*. A migração da bentonita e vermiculita foi diretamente proporcional à quantidade da lâmina adicionada. O movimento das partículas aumentou na medida em que foi incrementado o pH da solução percolante (4-8). A translocação foi completamente inibida após a saturação dos argilominerais com o ferro trocável, todavia, não foi influenciada pela aplicação de ácidos fúlvicos isoladamente ou ácidos fúlvicos mais ferro trocável sucessivamente (Mel'nikova e Kovenya, 1971).

Os autores concluíram que o movimento das partículas coloidais no solo é viável quando as condições geométricas e físico-químicas são favoráveis (Mel'nikova e Kovenya, 1971).

2.1.2.1.5 Movimento de argilominerais marcados com ^{55}Fe e matéria orgânica marcada com ^{14}C (Kerpen e Scharpenseel, 1967; Scharpenseel e Kerpen, 1967)

Scharpenseel e Kerpen utilizaram marcadores radioativos para simular a lessivagem e a migração da matéria orgânica simultaneamente em monólitos ou colunas de solo preenchidas com amostras deformadas. Ácidos húmicos foram marcados com ^{14}C , enquanto a montmorilonita e caulinita contendo ^{55}Fe foram produzidas a partir da síntese hidrotermal em autoclave sob pressões elevadas (Kerpen e Scharpenseel, 1967; Scharpenseel e Kerpen, 1967).

Em um dos ensaios, Kerpen e Scharpenseel (1967) avaliaram a lessivagem e a migração da matéria orgânica em monólitos de um *Parabraunerde* (*Gray-Brown Podzolic*) e um *Saure Braunerde* (*Acid Brown Earth*), em função da aplicação de uma lâmina de água constante. Após o término do experimento (quatro anos de duração), a migração da ^{55}Fe -montmorilonita (a caulinita não foi avaliada neste ensaio) e ^{14}C -ácidos húmicos não foi identificada (Kerpen e Scharpenseel, 1967).

Em outro ensaio, Scharpenseel e Kerpen (1967) avaliaram a influência de percolações sucessivas da água sobre a migração da ^{55}Fe -montmorilonita e ^{55}Fe -caulinita, tanto em monólitos de um *Parabraunerde* (*Gray-Brown Podzolic*) quanto em colunas de solo preenchidas com amostras deformadas, sendo criadas cinco faixas de granulometria (diâmetros de 2-1, 1-0,2, 0,2-0,06, 0,06-0,02 e 0,02-0,002 mm). O movimento da ^{55}Fe -montmorilonita e ^{55}Fe -caulinita foi identificado apenas nas colunas preenchidas com frações grossas ($\geq 0,06$). A migração dos argilominerais aumentou na medida em que foram realizadas percolações sucessivas (Scharpenseel e Kerpen, 1967).

2.1.2.1.6 Solos com diferença textural vertical

A presença dos horizontes subsuperficiais mais argilosos do que os horizontes superficiais é uma característica comum em solos, podendo ser herdada no caso de descontinuidades litológicas e/ou estratificação/variabilidade intrínseca do material de origem, ou criada pelos processos pedogenéticos, como a ferrólise, erosão seletiva, fragmentação física, transformação química, dissolução e formação *in-situ*, lessivagem, entre outros (Buurman et al., 2004; Bishop et al., 1980; Bockheim e Hartemink, 2013; Bockheim, 2015; Brinkman, 1970 e 1977; Chartres, 1987;

Chittleborough et al., 1984a, 1984b e 1984c; Elliott e Drohan, 2009; Feijtel et al., 1988; Gunal e Ransom, 2006; Hole e Nielsen, 1970; Karathanasis e Hajek, 1983; Krull et al., 2006; Muszyfaga e Kabala, 2015; Nettleton et al., 1969 e 1975; Oliveira et al., 2008; Rebertus et al., 1986; Rostad et al., 1976; Sauer et al., 2009; Schaetzl, 1998; Smeck et al., 1968; Vliet-Lanoë, 1990; Walker e Chittleborough, 1986; Wambeke, 1992; Weindorf et al., 2015; Wilson, 1999; White e Riecken, 1955).

Nesse contexto, Phillips (2001 e 2004), e Phillips e Lorz (2008) apresentaram diversas evidências em favor da hipótese da causalidade múltipla para explicar a ocorrência dos solos com diferença textural vertical.

Todos os sistemas de classificação reconhecem os solos com diferença textural vertical (Krasilnikov et al., 2009). Por exemplo, a *Soil Taxonomy* contempla os horizontes diagnósticos subsuperficiais argílico (*argillic horizon*), cândico (*kandic horizon*) e nátrico (*natric horizon*), sendo utilizada a diferenciação textural como critério de enquadramento ao nível das ordens (*Alfisols*, com saturação por bases média ou elevada, e *Ultisols*, com saturação por bases baixa), subordens (*Aridisols* e *Mollisols*), grandes grupos (*Aridisols*, *Gelisols*, *Mollisols*, *Oxisols* e *Vertisols*) e subgrupos (*Andisols*, *Aridisols*, *Entisols*, *Inceptisols*, *Mollisols*, *Oxisols* e *Spodosol*) (Soil Survey Staff, 2014). A WRB contempla os horizontes diagnósticos árgico (*argic horizon*) e nátrico (*natric horizon*), sendo utilizada a diferenciação textural como critério de enquadramento ao nível dos grupos (*Acrisols*, *Alisols*, *Lixisols*, *Luvisols*, *Planosols*, *Retisols* e *Solonetz*), qualificadores principais (*Arenosols*, *Calcisols*, *Chernozems*, *Cryosols*, *Durisols*, *Ferralsols*, *Gypsisols*, *Kastanozems*, *Nitisols*, *Phaeozems*, *Stagnosols* e *Umbrisols*) e qualificadores suplementares (*Anthrosols*, *Cambisols*, *Fluvisols*, *Gleysols*, *Plinthosols*, *Podzols* e *Regosols*) (IUSS Working Group WRB, 2015). O SiBCS contempla os horizontes diagnósticos subsuperficiais B textural e B plânico, sendo utilizada a diferenciação textural como critério de enquadramento ao nível das ordens (Argissolos, Luvisolos e Planossolos), subordens (Chernossolos e Plintossolos) e subgrupos (Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos) (Santos et al., 2013).

2.1.2.2 Podzolização

2.1.2.2.1 Conceitos básicos: matéria orgânica do solo

a) Compartimentos, autoagregação molecular, massa, tamanho, conformação e métodos de extração

A matéria orgânica do solo é um dos principais reservatórios do ciclo biogeoquímico do carbono no planeta Terra, englobando todos os componentes orgânicos do solo relacionados aos seres vivos (Baldock e Nelson, 2000; Kleber e Johnson, 2010; Lehmann e Kleber, 2015; Oades, 1988; Waksman, 1936).

As formas do carbono de origem biológica que ocorrem em solos, sedimentos e recursos hídricos são reconhecidas como matéria orgânica natural, a qual abrange alguns compartimentos bastante heterogêneos, como os organismos vivos (raízes, fauna e microrganismos), resíduos da biomassa morta sob diferentes níveis de decomposição, revestimentos orgânicos na superfície dos minerais, carbono dissolvido e disperso, precipitados orgânicos, e carbono pirogênico (*black carbon*) (Kleber e Johnson, 2010; Lehmann e Kleber, 2015; Wershaw, 2004).

Tradicionalmente, o húmus é definido como a soma dos compostos orgânicos de um solo, abrangendo as substâncias húmicas e substâncias não húmicas. As substâncias não húmicas são os compostos com características definidas (aminoácidos, polissacarídeos, gorduras, ceras, resinas etc.), enquanto as substâncias húmicas são uma série de compostos amorfos formados por reações secundárias de síntese, com massa molecular e tamanho excepcionalmente elevados, conformação em forma de espiral aleatória em solução, e coloração variável entre o amarelo e preto. O fracionamento químico baseado na solubilidade em condições de acidez e alcalinidade separa as substâncias húmicas em ácidos fúlvicos (solúvel em pH básico e ácido), ácidos húmicos (solúvel em pH básico, mas insolúvel em pH ácido) e humina (insolúvel em qualquer faixa de pH) (Stevenson, 1994).

Como os ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina são frações preparadas artificialmente, e definidas operacionalmente (Kleber e Johnson, 2010), o uso das substâncias húmicas como representantes da matéria orgânica do solo *in-situ* é

discutível (Coninck, 1980; Kleber e Johnson, 2010; Lehmann e Kleber, 2015; Lützow et al., 2006; Waksman, 1936).

Muitos estudos apresentaram evidências robustas que corroboram um novo entendimento no qual as substâncias húmicas são supramoléculas em vez de macromoléculas. Supramoléculas são entidades organizadas que resultam da associação espontânea de duas ou mais espécies químicas unidas por forças intermoleculares não covalentes. A autoagregação de moléculas é um fenômeno dirigido pela dispersão da energia no sistema (otimização da máxima entropia) (Conte e Piccolo, 1999; Essington, 2003; Lehmann e Kleber, 2015; Nebbioso e Piccolo, 2011 e 2012; Kleber e Johnson, 2010; Piccolo, 2001 e 2002; Piccolo e Spiteller, 2003; Piccolo et al., 1996 e 2000; Schaumann, 2006; Simpson et al., 2001 e 2002; Sutton e Sposito, 2005; Wandruszka, 1998; Wershaw, 1986, 1993, 1994, 1999 e 2004; Wershaw e Pinckney, 1973, 1977 e 1980; Wershaw et al., 1977, 1995, 1996a, 1996b).

Por exemplo, Wershaw e colaboradores propuseram que as substâncias húmicas são originárias da degradação parcial da biomassa morta, a partir das reações da despolimerização e oxidação catalisadas por enzimas, as quais resultam na formação das moléculas que apresentam separadamente uma região hidrofílica e outra hidrofóbica (moléculas anfifílicas ou anfipáticas). As partes apolares (cauda hidrofóbica) são compostas por fragmentos relativamente inalterados, enquanto as partes polares (cabeça hidrofílica) são constituídas por ácidos carboxílicos anexados nas extremidades por oxidação. Nos solos, as moléculas anfifílicas são estabilizadas em autoagregados por meio das pontes de hidrogênio, interações *pi* e efeitos hidrofóbicos (aumento da entropia). Essas estruturas são similares às micelas em solução ou membranas revestindo os minerais (moléculas anfifílicas arranjadas em forma de uma bicamada na superfície dos minerais), ambas possuindo o interior hidrofóbico e o exterior hidrofílico (Figura 2) (Wershaw, 1986, 1993, 1994, 1999 e 2004; Wershaw e Pinckney, 1973, 1977 e 1980; Wershaw et al., 1977, 1995, 1996a, 1996b).

Piccolo (2001 e 2002) propôs que as substâncias húmicas são associações resultantes da autoagregação das moléculas relativamente pequenas e heterogêneas, derivadas da degradação e decomposição do material biológico morto. A estabilização dessas supramoléculas ocorre por forças dispersivas fracas em vez das ligações covalentes. Pontes de hidrogênio, interações fracas (van der

Waals, *pi-pi* e *CH-pi*) e efeitos hidrofóbicos (aumento da entropia) apenas conferem às substâncias húmicas a aparência das macromoléculas com massa molecular e tamanho excepcionalmente elevados (Piccolo, 2001 e 2002).

Simpson et al. (2001 e 2002) propuseram que os principais componentes estruturais das substâncias húmicas são entidades simples, como ácidos alifáticos, éteres, ésteres, álcoois, fragmentos aromáticos derivados da lignina, polissacarídeos e polipeptídios, apresentando massa molecular e tamanho baixos, bem como a capacidade de formarem agregados preponderantemente pela complexação com cátions metálicos (Simpson et al., 2001 e 2002).

Complementarmente, Lehmann e Kleber (2015) propuseram um modelo abrangente denominado de decomposição progressiva, no qual a matéria orgânica do solo é composta por fragmentos orgânicos e produtos microbianos com diferentes tamanhos e níveis de alteração, constituindo um gradiente termodinâmico que varia desde compostos grandes e ricos em energia até aqueles pequenos e pobres em energia (trajetória energética descendente), em oposição ao modelo das reações secundárias de síntese em que são necessários investimentos de energia (trajetória energética ascendente).

b) Grupos funcionais

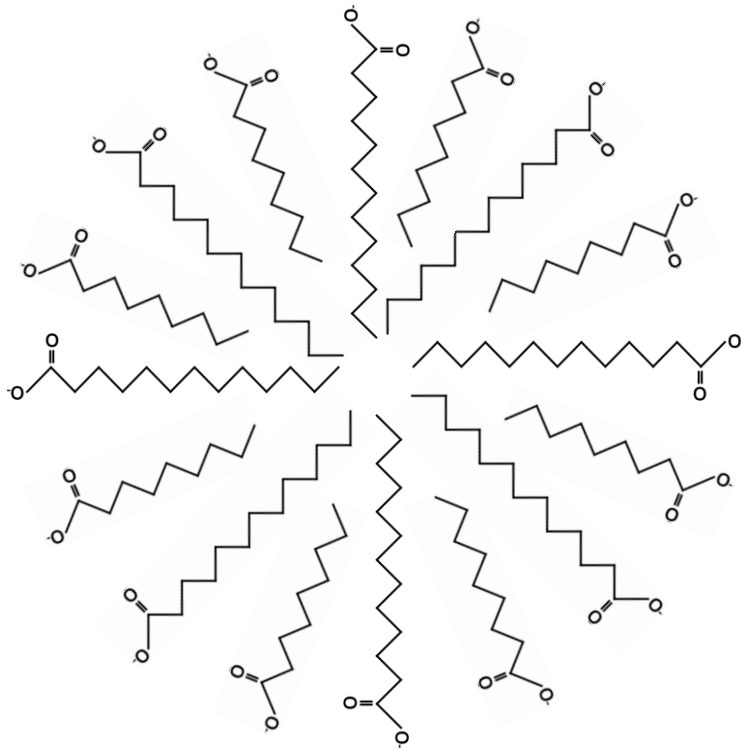
A abundância dos grupamentos superficiais na matéria orgânica do solo influencia significativamente a capacidade de troca de cátions, tamponamento da acidez, complexação dos metais, associações com os argilominerais etc. (Balcke et al., 2002; Curtin e Trollove, 2013; Lundström et al., 1995; Oorts et al., 2003).

Os principais grupos funcionais dos compostos orgânicos são a carboxila ($R-C(=O)-OH$), fenol (arila-OH), enol ($R-CH=CH-OH$), quinona (arila=O), álcool ($R-CH_2-OH$), éter ($R-CH_2-O-CH_2-R$), cetona ($R-C(=O)-R$), aldeído ($R-C(=O)-H$), éster ($R-C(=O)-OR$), amina ($R-CH_2-NH_2$), amida ($R-C(=O)-NH-R$), entre outros (Sparks, 2003).

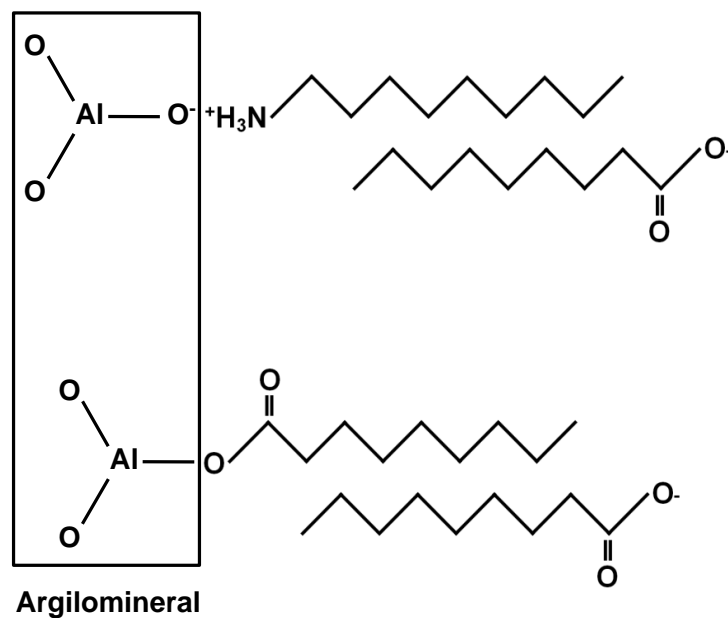
A espectroscopia de infravermelho é uma das técnicas que possibilitam a identificação das estruturas moleculares da matéria orgânica do solo. A absorção da radiação nessa região do espectro ocorre em virtude dos movimentos rotacionais e vibracionais das moléculas e ligações químicas (ANEXO A) (Parikh et al., 2014; Stevenson, 1994).

Figura 2 — Representação de uma micela em solução (B) e uma membrana revestimento um mineral (B), conforme os trabalhos do Wershaw e colaboradores (Wershaw, 1986, 1993, 1994, 1999 e 2004; Wershaw e Pinckney, 1973, 1977 e 1980; Wershaw et al., 1977, 1995, 1996a, 1996b).

A



B



Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

c) Tempo médio de residência, fluxo de saída (*turnover time*) e idade

O tempo médio de residência refere-se ao período requerido para a renovação completa da matéria orgânica no solo a partir de um estado estacionário (condição em que as entradas e saídas não diferem entre si), sendo dependente do tamanho do reservatório e fluxo de saída em um determinado intervalo de tempo (*turnover time*). A idade de um átomo ou molécula representa o tempo decorrido desde a entrada em um compartimento (Rodhe, 2000; Six e Jastrow, 2002).

Diversos autores propuseram formas de simular o tempo médio de residência da matéria orgânica do solo em diferentes cenários, a partir de parâmetros edafoclimáticos e biológicos, com destaque para os modelos *CENTURY* e *RothC* (Coleman e Jenkinson, 1996; Parton, 1996).

O modelo *CENTURY* foi baseado na existência dos compartimentos com diferentes fluxos de saída (ativo, lento e passivo, microrganismos da serrapilheira, e resíduos vegetais e animais do solo; este último é subdividido nos reservatórios estrutural e metabólico em virtude do teor da lignina). O compartimento ativo abrange a biomassa microbiana do solo e os seus produtos, com tempo médio de residência variando entre alguns meses a poucos anos. O compartimento lento inclui os resíduos mais resistentes à decomposição oriundos dos reservatórios ativo, estrutural e microrganismos da serrapilheira, possuindo tempo médio de residência variável entre 20 e 50 anos. O reservatório passivo engloba a matéria orgânica estabilizada (protegida) física e quimicamente, com tempo médio de residência variando entre 400 e 2000 anos (Parton, 1996).

Compartilhando algumas similaridades, o modelo *RothC* contempla quatro compartimentos ativos com diferentes fluxos de saída (material vegetal decomponível, material vegetal resistente, biomassa microbiana e matéria orgânica humificada) e matéria orgânica inerte (Coleman e Jenkinson, 1996).

Recentemente, vários autores questionaram o conceito da recalcitrância intrínseca da matéria orgânica do solo (com exceção de algumas formas do carbono pirogênico), e a sua influência sobre o tempo médio de residência e fluxo de saída. As evidências mais robustas apontam que a associação da matéria orgânica com os minerais e a oclusão em agregados são os fatores preponderantes na proteção contra a decomposição, uma vez que restringem o acesso dos microrganismos, enzimas e oxigênio (Anderson e Paul, 1984; Baldock e Skjemstad, 2000;

Christensen, 2001; Dungait et al., 2012; Eusterhues et al., 2003, 2005a e 2005b; Ewing et al., 2006; Kleber et al., 2010; Lehmann e Kleber, 2015; Lützow et al., 2006; Mikutta et al., 2006 e 2009; Müller e Höper, 2004; Rillig et al., 2007; Sparks, 2003; Sollins et al., 2006; Torn et al., 1997 e 2009; Veen e Kuikman, 1990; Wattel-Koekkoek et al., 2001 e 2003).

2.1.2.2.2 Descrição do processo

Podzols, *Spodosols*, *Podosols*, Espodossolos etc. são denominações atribuídas aos solos minerais que apresentam o horizonte diagnóstico subsuperficial B espódico (*spodic horizon* ou equivalente), em que são acumuladas misturas amorfas da matéria orgânica, alumínio e ferro por meio do processo da podzolização (Isbell e NCST, 2016; IUSS Working Group WRB, 2015; Krasilnikov et al., 2009; Santos et al., 2013; Soil Classification Working Group, 1998; Soil Survey Staff, 2014).

Diferentes tipos do horizonte B espódico são referenciados na literatura, dependendo dos compostos dominantes e grau da cimentação. Por exemplo, o Bs é caracterizado pelo predomínio do ferro, o que confere uma coloração viva de croma elevado. O Bh é caracterizado pelo predomínio da matéria orgânica, o que confere uma coloração escurecida, com valor e croma baixos. O horizonte *ortstein* (Bsm, Bhsm ou Bhm) é uma modalidade continuamente cimentada por complexos organometálicos. O horizonte plácico difere do anterior apenas pela espessura mais reduzida. Comumente, o horizonte B espódico está localizado abaixo de um horizonte álbico (*albic horizon*) (Isbell e NCST, 2016; IUSS Working Group WRB, 2015; Santos et al., 2013; Soil Survey Staff, 2014).

Dois grupos de processos foram propostos para explicar a gênese dos Espodossolos bem drenados (os dois grupos de processos podem coexistir). Um abrange o intemperismo dos minerais (acidólise), formação e solubilização dos complexos constituídos pela matéria orgânica, alumínio e ferro (complexólise), transporte vertical descendente (queluviação) e precipitação (em consequência de um decréscimo na razão carbono:metal, alteração do pH, entre outros fatores). O outro grupo compreende o intemperismo dos minerais, migração vertical descendente e precipitação do alumínio e silício na forma dos colóides inorgânicos com carga positiva. Neste caso, a migração e adsorção da matéria orgânica em

subsuperfície ocorreriam em uma etapa posterior (Anderson et al., 1982; Breemen e Buurman, 2002; Coninck, 1980; Duchaufour, 1982; Farmer et al., 1980; Lundström e Öhman, 1990; Lundström et al., 1995, 2000a e 2000b; McKeague et al., 1983).

Uma classe especial dos Espodossolos são aqueles fortemente influenciados pelo hidromorfismo, devido à presença de um lençol freático ácido que alcança a superfície com uma frequência variável. Consequentemente, um ambiente redutor capaz de solubilizar o ferro é originado, com a possibilidade de ocorrer uma remoção completa em casos do transporte lateral. A formação e iluviação dos complexos constituídos pela matéria orgânica e alumínio também são processos importantes. Dependendo da natureza dos compostos envolvidos, a migração pode ser interrompida apenas por precipitação física, quando cessa o fluxo da água ou o lençol freático é atingido. Nos casos em que ocorreram mudanças drásticas nas condições da drenagem, os Espodossolos hidromórficos podem apresentar características morfológicas impressionantes em virtude da degradação do horizonte B espódico (Breemen e Buurman, 2002; Buurman et al., 2013; Duchaufour, 1982).

Diante do exposto, verifica-se que a podzolização pode ser favorecida por fatores como as temperaturas baixas, precipitações elevadas, material de origem pobre em minerais facilmente intemperizáveis (poder tampão baixo), *status* nutricional limitante, acidez do solo, tipo da vegetação, composição da serrapilheira, drenagem restrita, entre outros (Breemen e Buurman, 2002).

Coninck e colaboradores apresentaram diversas evidências justificando que as explicações correntes não acomodam todas as características do horizonte B espódico em seu estado natural. Nos casos em que possui uma microestrutura mais friável, a matéria orgânica predominante é do tipo polimórfica (agregados constituindo uma massa descontínua com limites nítidos ou difusos causados por diferenças quanto à cor e densidade), com tempo médio de residência e fluxo de saída rápidos, o que indica uma maior atividade biológica durante o período da formação. Divergentemente, nos casos em que possui uma microestrutura mais cimentada, a matéria orgânica predominante é do tipo monomórfica (revestimentos constituindo uma massa contínua com cor e densidade uniformes), com tempo médio de residência e fluxo de saída lentos, cuja origem estaria relacionada à precipitação de complexos organometálicos a partir de um estado de gel. O autor sugeriu que a composição do horizonte B espódico seria determinada pelo balanço

entre a atividade biológica e a acumulação dos compostos amorfos (Coninck, 1980; Coninck et al., 1974).

Complementarmente, Wilson e Righi (2010) definiram a matéria orgânica polimórfica como agregados porosos com cor variável entre o bruno muito escuro e preto, consistindo predominantemente da acumulação dos materiais orgânicos finos oriundos da atividade biológica e decomposição química, além de alguma quantidade da argila e silte, mais fragmentos orgânicos grossos com estrutura reconhecível. A matéria orgânica monomórfica foi definida como revestimentos com grande uniformidade quanto à dimensão coloidal e aspecto (cor escurecida e fendilhamento característico), resultantes dos processos da mobilização, transporte e precipitação dos materiais orgânicos com uma origem iluvial (fragmentos orgânicos grossos e poros são inexistentes) (Wilson e Righi, 2010).

Recentemente, Sommer et al. (2000 e 2001) apresentaram um conceito da podzolização lateral, em que os solos estão pedogeneticamente interligados por translocações laterais ou oblíquas ao nível da *catena* (iluviação *interpedons*), diferentemente da podzolização vertical, em que ocorre a diferenciação dos horizontes que estão conectados por translocações verticais ao nível do *pedon* (iluviação *intrapedon*). Os autores se basearam em evidências químicas, mineralógicas e morfológicas verificadas em duas catenas sobre granito e arenito. Nas posições mais elevadas, os Espodossolos apresentaram um horizonte álbico espesso e um horizonte B espódico delgado, enquanto nas posições mais baixas foi observado o inverso (um horizonte álbico delgado e um horizonte B espódico espesso). Por meio do balanço de massas, um fluxo negativo do alumínio e ferro foi observado nas partes mais elevadas, e outro positivo foi constatado nas partes mais baixas (Sommer et al., 2000 e 2001).

Complementarmente, Bourgault et al. (2015) avaliaram 99 Espodossolos em três catenas nos EUA, e observaram que a podzolização vertical resultou em horizontes com uma microestrutura mais porosa, enquanto a podzolização lateral originou horizontes com uma microestrutura mais adensada. Os autores também constataram que os critérios de enquadramento da *Soil Taxonomy* são relativamente ineficientes nos casos em que ocorreu a podzolização lateral (Bourgault et al., 2015).

Em alusão à classificação norte-americana de solos de 1938, os Espodossolos poderiam ser agrupados nas modalidades zonais, azonais e intrazonais. Os solos zonais seriam aqueles que apresentam uma distribuição

generalizada em regiões de clima subártico ou alpino. Os solos azonais seriam aqueles formados a partir dos materiais de origem essencialmente quartzosos, localizados tanto em regiões temperadas quanto tropicais. Os solos intrazonais seriam aqueles formados sob hidromorfismo condicionado pelo relevo. Os solos zonais representam um clímax das condições climáticas, enquanto os solos azonais e intrazonais representam um clímax das condições locais (Quadro 1) (Baldwin et al., 1938; Duchaufour, 1982).

2.1.2.2.3 Dissoluções seletivas do alumínio e ferro

As soluções do pirofosfato de sódio, oxalato ácido de amônio e citrato-ditionito de sódio são empregadas como extratoras do alumínio e ferro em solos. A solução do pirofosfato de sódio é utilizada para estimar as formas do Al e Fe associadas à matéria orgânica, apesar de inúmeros questionamentos. A solução do oxalato ácido de amônio é utilizada para estimar o Fe associado à ferridrita, além do Al associado à alofana, imogolita e hidróxidos pobremente cristalinos. A solução do citrato-ditionito de sódio é utilizada para estimar o Fe associado à goethita e hematita (ANEXO B) (Bascomb, 1968; Higashi et al., 1981; Jeanroy e Guillet, 1981; Kaiser e Zech, 1996; McKeague, 1967; McKeague e Schuppli, 1982; Parfitt e Childs, 1988).

Na edição original da *Soil Taxonomy*, os valores do alumínio e ferro extraídos pela solução do pirofosfato de sódio ou citrato-ditionito de sódio foram utilizados como critério de enquadramento dos materiais espódicos (*spodic materials*). O requisito exigia ou que a razão entre $Fe_p + Al_p$ (numerador) e argila (denominador) deveria ser igual ou superior a 0,2, quando o teor do ferro extraível fosse igual ou superior a 0,1%, ou que a razão entre $Al_p + C$ (numerador) e argila (denominador) deveria ser igual ou superior a 0,2, quando o teor do ferro extraível fosse inferior a 0,1%. Complementarmente, o requisito exigia que a razão entre $Fe_p + Al_p$ (numerador) e $Fe_{CD} + Al_{CD}$ (denominador) deveria ser igual ou superior a 0,5 (Soil Survey Staff, 1975).

Na edição atual da *Keys to Soil Taxonomy*, WRB e SiBCS, os valores do alumínio e ferro extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio são utilizados como critério de enquadramento dos materiais espódicos. O requisito exige que o valor da relação $Al_{ox} + 0,5Fe_{ox}$ deve ser igual ou superior a 0,5 no horizonte iluvial,

sendo no mínimo duas vezes superior em relação ao horizonte eluvial (IUSS Working Group WRB, 2015; Santos et al., 2013; Soil Survey Staff, 2014).

Quadro 1 — Síntese conciliando as informações apresentadas sobre os Espodossolos.

Tipos de clímax	Fatores da formação preponderantes	Modos da podzolização	Possíveis horizontes B espódicos	Matéria orgânica predominante
Condições climáticas	Solos zonais: clima subártico ou alpino	Vertical	Bh, Bs, Bhs, plácico e/ou ortstein	Polimórfica e/ou Monomórfica
		Lateral	Idêntico ao item anterior	Monomórfica
Condições locais	Solos azonais: materiais de origem essencialmente quartzosos	Vertical	Idêntico ao item anterior	Monomórfica, com ou sem polimórfica
		Lateral	Idêntico ao item anterior	Monomórfica
	Solos intrazonais: hidromorfismo condicionado pelo relevo	Vertical	Idêntico ao item anterior, mas com alguma perda do Fe	Monomórfica, com ou sem polimórfica
		Lateral	Idêntico ao item anterior	Monomórfica

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Esses critérios químicos de enquadramento são controversos, mas podem ser considerados úteis na classificação dos horizontes espódicos menos desenvolvidos, cuja identificação no campo baseada em evidências morfológicas é inviável (Breemen e Buurman, 2002; Coninck, 1980; Duchaufour, 1982; Franzmeier et al., 1965; McKeague et al., 1983; Soil Survey Staff, 1975 e 2014). Por exemplo, Bourgault et al. (2015) avaliaram 99 Espodossolos nos EUA e verificaram que o critério da relação $Al_{ox} + 0,5Fe_{ox} \geq 0,5$ foi confiável nos casos da podzolização vertical (eficiência de 96%), porém problemático nos casos da podzolização lateral (eficiência de 50%).

2.1.2.2.4 Densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE)

A densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE) é a absorbância no comprimento de onda de 430 nm, mensurada no sobrenadante após a agitação com a amostra do solo. O princípio da metodologia é baseado na capacidade da solução em extrair exclusivamente os ácidos fúlvicos que estão presentes em complexos organometálicos (compostos orgânicos hidrofílicos que são solubilizados como consequência da dissolução dos óxidos e hidróxidos pobremente cristalinos), em razão de ter pH 3, assumindo-se que esse é o compartimento da matéria orgânica do solo responsável pelo processo da podzolização (Daly, 1982).

Esse índice foi proposto por Daly et al. (1982) para aperfeiçoar os critérios de enquadramento dos Espodossolos. Atualmente, conforme a *Keys to Soil Taxonomy* e WRB, um horizonte iluvial composto por materiais espódicos normalmente possui o valor da ODOE de 0,25 ou maior, sendo no mínimo duas vezes superior em relação ao horizonte eluvial (Daly, 1982; IUSS Working Group WRB, 2015; Soil Survey Staff, 2014).

Esse critério químico de enquadramento é controverso, mas pode ser considerado útil na classificação dos horizontes espódicos menos desenvolvidos, cuja identificação no campo baseada em evidências morfológicas é inviável (Breemen e Buurman, 2002; Coninck, 1980; Duchaufour, 1982; Franzmeier et al., 1965; McKeague et al., 1983; Soil Survey Staff, 1975 e 2014). Por exemplo, Daly (1982) avaliou alguns solos na Nova Zelândia com expressões gradativas da podzolização vertical, sendo constatado que quando a ODOE no horizonte iluvial foi superior em relação ao horizonte eluvial (razão acima de 1), o enquadramento como

Espodossolo ou solo podzolizado foi satisfeito (considerando-se o sistema de classificação neozelandês). Divergentemente, Bourgault et al. (2015) avaliaram 99 Espodossolos nos EUA e verificaram que o critério da ODOE foi confiável nos casos da podzolização vertical (eficiência de 96%), porém problemático nos casos da podzolização lateral (eficiência de 50%).

2.1.2.3 Solos com dois *sequa* (*bisequal soils* ou *double profiles*)

Sequum (plural: *sequa*) é uma sequência composta de um horizonte eluvial e outro iluvial. A ocorrência dos solos com apenas um *sequum* é bastante comum (E-Bs, E-Bsm, E-Bh, E-Bhm, E-Bt etc.), todavia, aqueles que possuem dois *sequa* (E-Bs-E'-Bt, E-Bt-E'-Bx etc.) são denominados de solos *bisequum* (*bisequal soils*) ou perfis duplicados (*double profiles*). Em casos específicos em que ocorreu algum tipo de soterramento (por exemplo, a formação de um *sequum* a partir de um sedimento depositado sobre outro *sequum* preexistente), o solo não é considerado *bisequum*, e sim soterrado ou paleossolo (Bockheim, 2003; Schaetzl, 1996; Soil Survey Staff, 1993).

Nos EUA e Canadá nas décadas de 1940 e 1950, muitos estudos sobre os solos com dois *sequa* foram realizados em sequências envolvendo os grandes grupos *Podzol*, *Brown Podzolic*, *Gray Wooded*, *Brown Forest* (considerado um *Gray-Brown Podzolic* imaturo) e *Gray-Brown Podzolic* (Cann e Whiteside, 1955; Cline, 1949; Frei e Cline, 1949; Gardner e Whiteside, 1952; Holt e McMiller, 1956; McCaleb, 1954; McCaleb e Cline, 1950; Stobbe, 1952).

Em New York-EUA, Cline (1949), Frei e Cline (1949), McCaleb (1954), e McCaleb e Cline (1950) avaliaram uma sequência envolvendo *Brown Forest*, *Gray-Brown Podzolic* e *Brown Podzolic*, sendo constatada a ocorrência de um conjunto de eventos em que o *Brown Podzolic* estava se desenvolvendo na porção superior do *Gray-Brown Podzolic*, na medida em que o solum ficava mais pobre em CaCO_3 .

Mais recentemente na região de Michigan-EUA, Schaetzl (1996) avaliou diversos solos com dois *sequa* (*Mollic Paleoboralf*, *Glossic Eutroboralf*, *Typic Eutroboralf* e *Alfic Haplorthods*; todos seriam classificados como *Podzol-Brown Podzolic intergrade* de acordo com a classificação norte-americana de 1938) com a sequência de horizontes E-Bs-E'-Bt, localizados em uma área de transição ambiental (ecótono) na interface da ocorrência dos Espodossolos e Luvissolos (*Alfisol*s). Uma

complexa sequência de processos foi proposta para explicar a gênese dos solos. Inicialmente, um material de origem com uma granulometria arenosa ou média teria sofrido a perda dos cátions básicos em virtude da acidificação (descalcificação). Nessa condição de acidez, a percolação da água no solo teria resultado na iluviação da argila, originando o *sequum* E-Bt (lessivagem). Na medida em que o horizonte E foi ficando mais espesso, rico em areia e pobre em argila, a translocação de complexos (quelatos) constituídos pela matéria orgânica, alumínio e/ou ferro teria iniciado, originando o *sequum* E-Bs (podzolização) dentro do horizonte E formado anteriormente pela lessivagem. Assim, o horizonte E' abaixo do Bs corresponde à porção inferior do antigo horizonte E acima do Bt. O autor sugeriu que a mudança na direção da pedogênese pode ter ocorrido tanto por fatores internos (*intrinsic thresholds*) quanto externos (*extrinsic thresholds*) (Schaetzl, 1996).

2.1.2.4 Migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais

As superfícies das partículas minerais e orgânicas são altamente reativas, sendo responsáveis pela retenção de todas as classes de substâncias (iônicas, não iônicas, polares e não polares). Consequentemente, as associações entre os argilominerais e a matéria orgânica ocorrem de uma forma ubíqua em solos (Essington, 2003).

Comumente, a correlação positiva entre a matéria orgânica e a fração argila do solo é relatada na literatura (Burke et al., 1989; Mayer e Xing, 2001; Nichols, 1984). Nesse sentido, Stevenson (1982) compilou os resultados obtidos por diversos autores, sendo constatado que a proporção do carbono orgânico associado à argila variou entre 52 e 98%.

Os argilominerais e a matéria orgânica do solo podem formar associações intrincadas por meio de uma miríade de interações, dependendo da natureza e propriedades dos componentes envolvidos, além de alguns fatores extrínsecos. Vários mecanismos podem atuar simultaneamente devido à cooperatividade e/ou complementaridade (Kleber et al., 2015).

As associações podem ocorrer por meio da troca de ligantes (designada como n-dentada e m-nucleada, em que a letra “n” representa a quantidade dos átomos do composto orgânico que está anexada ao metal do argilomineral, enquanto a letra “m” representa a quantidade dos metais do argilomineral em que o

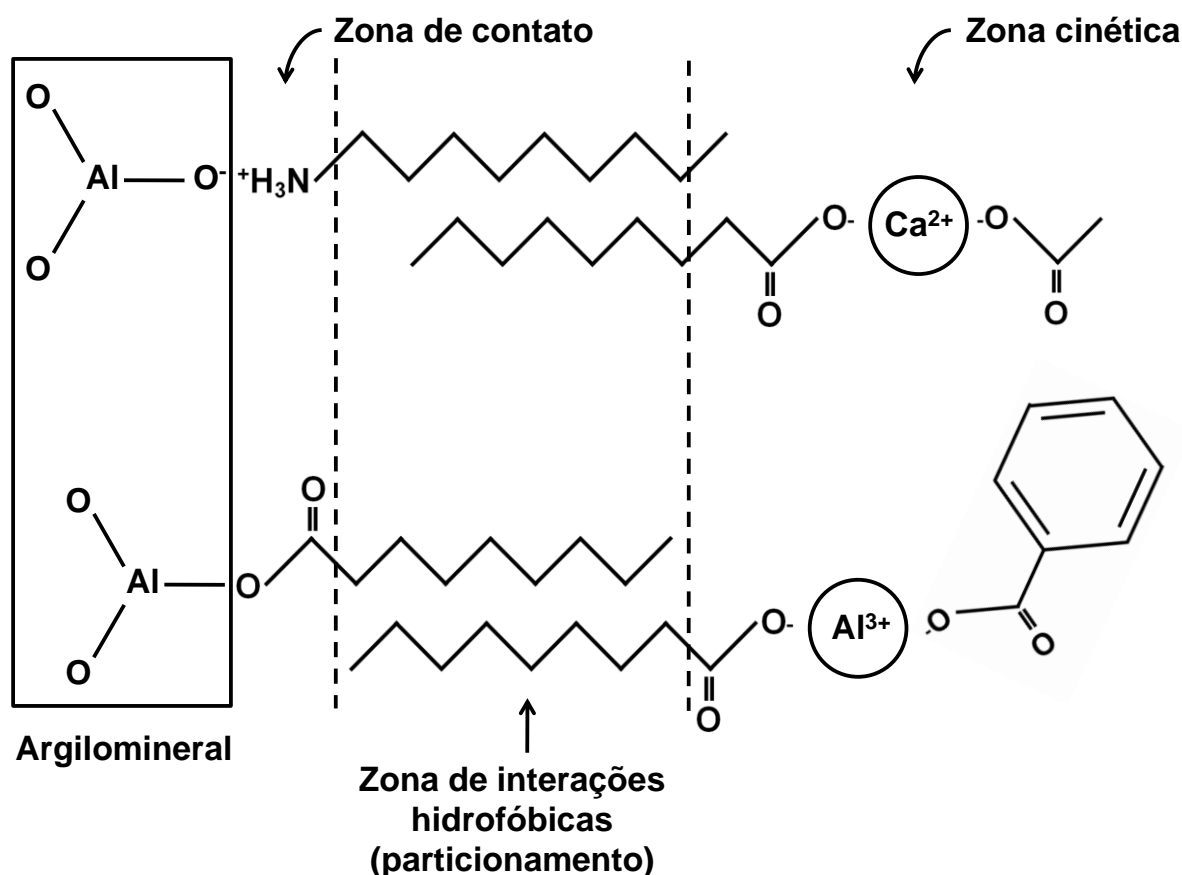
composto orgânico está anexado), troca de íons orgânicos (cátions e ânions), ponte de cátion inorgânico (complexo de esfera interna: argilomineral-cátion inorgânico-matéria orgânica), ponte de água (complexo de esfera externa: argilomineral-cátion inorgânico-água de solvatação-matéria orgânica), ligação de hidrogênio, interações de van der Waals (dipolo permanente-dipolo permanente, dipolo permanente-dipolo induzido e dipolo induzido-dipolo induzido), interações *pi* e efeitos hidrofóbicos (aumento da entropia) (Essington, 2003; Kleber et al., 2007, 2010 e 2015; Mortland, 1986; Scharpenseel e Kruse, 1972; Schnitzer, 1986; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Theng, 1976, 1979 e 2012; Wershaw, 1986; Wershaw et al., 1995, 1996a e 1996b; Yuan e Theng, 2012).

Pioneiramente, Wershaw (1986) propôs um modelo em que as substâncias húmicas são constituídas por agregados das moléculas anfifílicas similares às micelas em solução ou membranas revestindo os minerais (moléculas anfifílicas arranjadas em forma de uma bicamada na superfície dos minerais) (Figura 2) (Wershaw, 1986).

Kleber et al. (2007) propuseram um refinamento ao modelo apresentado por Wershaw (1986). Os autores sugeriram que a adsorção da matéria orgânica na superfície dos minerais ocorre em uma sequência de zonas ou camadas múltiplas, que correspondem a diferentes compartimentos. Na zona de contato, os fragmentos das moléculas anfifílicas são acumulados nas superfícies carregadas dos minerais por meio das interações mais fortes, e as porções hidrofóbicas são posicionadas em direção à solução. Nessa região interna, o tempo médio de residência e fluxo de saída são relativamente mais longos. Na zona das interações hidrofóbicas, uma segunda camada das moléculas anfifílicas blinda as porções hidrofóbicas das moléculas previamente adsorvidas (maximizando a entropia por reduzir a área exposta às moléculas da água), posicionando grupos funcionais polares ou ionizados em direção à solução. Nessa região intermediária, os compostos orgânicos hidrofóbicos podem ser particionados. Em algumas ocasiões, a zona de interações hidrofóbicas é descontínua, um exemplo é quando os aminoácidos ou proteínas são adsorvidos diretamente às superfícies dos minerais, posicionando grupos funcionais polares ou ionizados em direção à solução. Na zona cinética, o acúmulo de outros compostos orgânicos é possível por meio de uma variedade de mecanismos. Nessa região externa, o tempo médio de residência e fluxo de saída são relativamente mais curtos. Considerando a capacidade da adsorção irreversível,

e abundância dos aminoácidos e proteínas em solos, Kleber et al. (2007) ressaltaram o papel proeminente desses compostos na formação e estruturação dos complexos organominerais (Figura 3).

Figura 3 — Representação do modelo zonal das interações organominerais proposto por Kleber et al. (2007).



Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

O processo da migração indissociada dos argilominerais e matéria orgânica foi proposto por Faivre (1990), Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012) para explicar a formação dos horizontes subsuperficiais escurecidos em solos. Recentemente, Almeida et al. (2015) sugeriram o termo *humic-argilluviation* para descrever os processos reportados por Faivre (1990), Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012), todavia, a migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais nunca foi elucidada, tampouco foi demonstrada experimentalmente devido às dificuldades operacionais. Por enquanto, as informações apresentadas foram

baseadas apenas em evidências indiretas (caracterização química, física, macro e micromorfológica dos solos).

Diversas informações fornecem pistas que corroboram a plausibilidade de ocorrer o processo da migração indissociada dos argilominerais e matéria orgânica. Por exemplo, Dixit (1978 e 1982), Dixit et al. (1975) observaram uma relação diretamente proporcional entre o teor do carbono orgânico total e a mobilidade eletroforética dos argilominerais em dispersões diluídas, preponderantemente pelo efeito da repulsão eletrostática. Furukawa et al. (2009) avaliaram o comportamento da montmorilonita quanto à agregação e dispersão em uma solução salina produzida artificialmente, sendo constatado que a presença dos ácidos húmicos ou quitina inibiu a agregação das partículas, preponderantemente pelo efeito da repulsão estérica. Heil e Sposito (1993a e 1993b) concluíram que a matéria orgânica inibiu a floculação de um solo com o predomínio da illita, tanto pela repulsão estérica quanto pela repulsão eletrostática. Uma conclusão similar foi realizada por Kretzschmar et al. (1993 e 1997) para solos com o predomínio da caulinita. Mel'nikova e Kovenya (1971) concluíram que a presença dos ácidos fúlvicos favoreceu a migração dos argilominerais em colunas de solo, devido à complexação do ferro solúvel, inibindo a floculação das partículas. Gombeer e D'Hoore (1971) concluíram que a presença da matéria orgânica favoreceu a formação das dispersões coloidais estáveis envolvendo os argilominerais do solo, devido à complexação do alumínio solúvel, inibindo a floculação das partículas. Buol e Hole (1959 e 1961) conseguiram individualizar os revestimentos dos argilominerais presentes na superfície dos agregados de um *Gray-Brown Podzolic*, e descobriram uma associação íntima com a matéria orgânica. Os autores verificaram uma quantidade do carbono orgânico total cinco vezes superior nos revestimentos em relação ao interior dos agregados. Retzer e Simonson (1941) avaliaram a distribuição da matéria orgânica em alguns agregados colunares de quatro perfis do *Solonetz*, sendo verificado que o teor do carbono orgânico total foi maior nos revestimentos escurecidos presentes na superfície, com um decréscimo gradativo em direção ao centro dos agregados. Răducu et al. (2009) discriminou dois tipos de revestimentos dos argilominerais presentes em *Phaeozems* da Romênia. Os impuros são aqueles que contêm impurezas orgânicas e inorgânicas, enquanto os límpidos são aqueles que estão livres de impurezas.

A formação do horizonte nátrico (equivalente ao horizonte B plânico com o caráter sódico ou caráter solódico do SiBCS) pode apresentar algumas similaridades em relação ao processo da migração indissociada dos argilominerais e matéria orgânica, e estes dois diferem expressivamente da podzolização.

O horizonte nátrico tem a sua origem relacionada ao efeito dispersante do sódio trocável em uma condição de alcalinidade elevada, o que pode causar a migração da matéria orgânica e argilominerais simultaneamente, porém de forma dissociada. Os solos afetados pelo excesso do sódio trocável podem apresentar atributos físicos peculiares, como adensamento natural, baixa condutividade hidráulica, estrutura do tipo prismática ou colunar, entre outros (Anderson et al., 1979; Baldwin et al., 1938; IUSS Working Group WRB, 2015; Santos et al., 2013; Soil Classification Working Group, 1998; Soil Survey Staff, 2014).

Comumente, *Alfisols*, *Aridisols* e *Mollisols* com um horizonte nátrico, Planossolos Nátricos e Planossolos Háplicos com o caráter solódico, e *Solonetz* apresentam horizontes subsuperficiais escurecidos, bem como manchas e revestimentos escuros na superfície dos agregados (Anderson et al., 1979; Baldwin et al., 1938; Clayton et al., 1977; Duchaufour, 1982; Driessen e Deckers, 2001; IUSS Working Group WRB, 2015; Kelley, 1934; Lapham, 1932; Nieschmidt, 1934; Nikiforoff, 1937; Retzer e Simonson, 1941; Simonson, 1959; Santos et al., 2013; Shishkov e Kolev, 2014; Soil Classification Working Group, 1998).

Considerando-se a ubiquidade das associações entre os argilominerais e a matéria orgânica, bem como a ampla disseminação da lessivagem, a plausibilidade de ocorrer o processo da migração indissociada dos argilominerais e matéria orgânica é inegável, todavia, a possibilidade de serem impressas feições marcantes em solos é discutível.

2.1.2.5 Feição relíquia induzida por alterações climáticas: o exemplo do sul do Brasil

Com o objetivo de elucidar a dinâmica das alterações climáticas ocorridas no Quaternário Tardio, tanto nas terras altas do sul do Brasil quanto nas terras baixas do Rio Grande do Sul (especificamente nas regiões centro-ocidental e sudoeste), vários estudos palinológicos foram realizados nos municípios de Bom Jardim da Serra-SC, Serra da Boa Vista-SC, Urubici-SC, São Francisco de Paula-RS, Cambará do Sul-RS, São Martinho da Serra-RS, São Francisco de Assis-RS e Barra do

Quaraí-RS (Bauermann et al., 2008; Behling, 1995, 1998 e 2002; Behling et al., 2001, 2004 e 2005; Evaldt et al., 2014).

As evidências encontradas confirmam que as terras altas no sul do Brasil foram dominadas por campos durante o período compreendido entre o Pleistoceno Final e Holoceno Inicial, sob um clima frio e seco. Após um aumento da temperatura no Holoceno Médio, seguido por uma ligeira redução da temperatura e aumento da umidade no Holoceno Final, o avanço da Floresta de Araucárias foi favorecido (inicialmente como mata de galeria), tendo se intensificado e alcançado extensas áreas apenas nos últimos 1500/1000 anos. O mesmo padrão foi observado nas terras baixas do Rio Grande do Sul, com o predomínio do bioma Pampa e a expansão recente das matas ao longo dos cursos de água, influenciadas por rotas migratórias oriundas da Mata Atlântica e bacia do rio Paraná/Uruguai. Na zona de transição entre as terras altas e baixas, a expansão da Floresta Estacional Decidual foi possível com a influência das mesmas rotas migratórias (Bauermann et al., 2008; Behling, 1995, 1998 e 2002; Behling et al., 2001, 2004 e 2005; Evaldt et al., 2014).

Atualmente, as terras altas no sul do Brasil apresentam uma vegetação em forma de mosaico constituída por campos e Floresta de Araucárias, sob um clima temperado com verões amenos e chuvas regularmente distribuídas durante o ano. Nas terras baixas do Rio Grande do Sul, o bioma Pampa é predominante, com a presença das matas ao longo dos cursos de água, sob um clima temperado com verões quentes e chuvas regularmente distribuídas durante o ano. A Floresta Estacional Decidual está presente na zona de transição entre as terras altas e baixas.

2.1.2.6 Descontinuidades litológicas, paleossolos e solos soterrados

Descontinuidades litológicas são zonas de contato entre camadas/horizontes derivados de materiais de origem diferentes (Phillips e Lorz, 2008; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005; Waroszewski et al. 2015).

Não existe consenso sobre critérios diagnósticos para detectar descontinuidades litológicas em solos, e a decisão final sempre envolve algum grau de subjetividade (IUSS Working Group WRB, 2015; Schaetzl e Anderson, 2005; Soil Survey Staff, 2014; Stolt et al., 1993a e 1993b; Weindorf et al., 2015).

A avaliação dos atributos do solo em profundidade é uma abordagem considerada útil para detectar quebras na litologia, principalmente quando são utilizados componentes imóveis e inertes, recalculados para uma base livre da argila (Asady e Whiteside, 1982; Langohr et al., 1976; Karathanasis e Macneal, 1994; Kuzila, 1995; Stolt et al., 1993a e 1993b; Schaetzl, 1998) (ANEXO C).

Uma alternativa é o uso das equações que incorporam dois ou mais parâmetros, uma vez que podem aumentar a magnitude das diferenças entre camadas/horizontes (Schaetzl e Anderson, 2005). Por exemplo, Langohr et al. (1976) propuseram o índice “comparação da distribuição dos tamanhos das partículas” (*comparative particle size distribution*), $CPSD = \sum_{i=1}^n mi$, em que n é o número das frações (tamanhos das partículas) e mi é o valor mínimo de cada fração (i) entre duas amostras. O CPSD corresponde à área em comum entre dois histogramas construídos a partir dos dados granulométricos. Quando as distribuições são idênticas, cada fração tem a mesma frequência nas duas amostras, e o índice tem o valor de 100. No caso das distribuições completamente distintas, nenhuma fração é compartilhada, e o índice tem o valor de zero. Asady e Whiteside (1982) propuseram o índice:

$$\frac{\frac{\% \text{ silte}}{\% \text{ areia}} \text{ horizonte sobrejacente}}{\frac{\% \text{ silte}}{\% \text{ areia}} \text{ horizonte subjacente}} - 1 \text{ (recalculados para uma base livre da argila)}$$

Os autores sugeriram o valor crítico (relativamente arbitrário) de $\pm 0,37$ como indicativo de descontinuidades litológicas. Similarmente, Cremeens e Mokma (1986) propuseram o índice valor de uniformidade (*uniformity value*):

$$UV = \frac{\frac{(\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina})}{(\% \text{ areia total} - \% \text{ areia muito fina})} \text{ horizonte sobrejacente}}{\frac{(\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina})}{(\% \text{ areia total} - \% \text{ areia muito fina})} \text{ horizonte subjacente}} - 1$$

Os autores sugeriram o valor crítico (relativamente arbitrário) de $\pm 0,60$ para distinguir os horizontes com materiais de origem diferentes. Também propuseram o índice I/E para identificar o horizonte argílico:

$$I/E = \frac{\frac{\% \text{ argila fina}}{\% \text{ argila total}} \text{ horizonte iluvial}}{\frac{\% \text{ argila fina}}{\% \text{ argila total}} \text{ horizonte eluvial}}$$

Os autores sugeriram o valor crítico (relativamente arbitrário) de 1,2 como indicativo da lessivagem.

Os paleossolos ou solos fósseis são aqueles oriundos das paisagens e/ou climas do passado geológico cujos processos da formação não estão mais ativos em virtude de algum soterramento. Apesar de estarem sob a influência dos processos modernos, alguns autores reconhecem como paleossolos relictos aqueles que sempre permaneceram expostos na superfície, e como paleossolos exumados aqueles que foram desenterrados (Chesworth, 2008; Johnson, 1998; Ladeira, 2010; Nettleton et al. 2000; Ruhe e Daniels, 1958; Schaetzl e Anderson, 2005; Wright, 1992).

Schaetzl e Sorenson (1987) sugeriram que o reconhecimento dos paleossolos soterrados deveria ocorrer independentemente da espessura do sedimento sobreposto, a menos que estejam fundidos (soldados) pela pedogênese. Complementarmente, os autores propuseram o conceito do paleossolo isolado, no qual a profundidade do soterramento é tão grande que a ocorrência da fusão (soldagem) é pouco provável (Schaetzl e Sorenson, 1987).

Alguns sistemas para classificação dos paleossolos foram propostos por Mack et al. (1993) e Nettleton et al. (1998 e 2000) com base na *Soil Taxonomy*, e por Krasilnikov e Calderón (2006) com base na WRB. Os paleossolos relictos ou exumados podem ser classificados correntemente pelos sistemas convencionais.

Vários parâmetros podem auxiliar na identificação dos paleossolos, como feições biogênicas (moldes ou aspectos das raízes, galerias ou túneis feitos pela fauna etc.), macro (diferenciação e transição dos horizontes, estrutura, cores etc.) e micromorfologia (tessitura do solo (*soil fabric*), feições pedológicas etc.), atributos mineralógicos e geoquímicos, teor do carbono orgânico total, estudo dos isótopos, distribuição dos fitólitos, polens, macrofósseis etc. Assim, o estudo dos paleossolos pode fornecer subsídios importantes para a reconstrução dos paleoambientes e paleoclimas (Gocke et al. 2014; Ladeira, 2010; Schaetzl e Anderson, 2005; Sheldon e Tabor, 2009; Wright, 1992).

Divergentemente, os soterramentos contemporâneos dão origem aos solos soterrados comuns. Para fins de classificação e levantamento, um dos critérios para enquadramento na *Soil Taxonomy* é o recobrimento por um manto superficial (*surface mantle of new soil material*) com espessura igual ou superior a 50 cm. Manto superficial é um material praticamente inalterado (ao menos na porção

inferior), e recentemente depositado sobre o solo. Pode conter apenas horizontes diagnósticos superficiais (*epipedons*) e/ou o horizonte câmbico (*cambic horizon*), exceto nos últimos 7,5 cm (Soil Survey Staff, 2014).

2.1.3 Hipóteses para explicar a gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos

2.1.3.1 Horizontes soterrados (retrabalhamento)

Ainda na década de 1940, Kellogg e Davol (1949) reportaram na região central da África a ocorrência dos solos com horizontes subsuperficiais mais escurecidos em relação aos horizontes sobrejacentes. Respaldados pela distribuição da soma de bases e carbono orgânico total em um perfil do *Reddish-Brown Latosol*, em que os valores mais elevados coincidiram com o horizonte escuro, os autores concluíram que era um horizonte soterrado (retrabalhamento).

2.1.3.2 Podzolização

Ruhe (1954) constatou que os horizontes escuros de subsolo na região de Nioka-Ituri ocorriam independentemente do material de origem, relevo, idade, clima e organismos vivos, bem como apresentavam variações quanto à profundidade e espessura. Corroborando a hipótese de um processo pedogenético, os horizontes podiam ser encontrados acima do saprólito, quando o solum era espesso, ou próximo do saprólito, quando o solum era apenas razoavelmente espesso, ou até mesmo no próprio saprólito, quando o solum era muito delgado (Ruhe, 1954).

Ruhe (1956) propôs a hipótese da podzolização para explicar a gênese dos horizontes escuros de subsolo. As áreas de Nioka-Ituri teriam se desenvolvido entre o Plioceno e Pleistoceno, e as partes mais elevadas se mantiveram sob um clima mais frio e úmido durante todo o Pleistoceno até agora. Assim, a formação dos solos locais teria sido influenciada por uma condição climática que já existia no Pleistoceno e que continua até o presente. Esse clima teria favorecido a ocorrência da podzolização, e este seria o processo responsável pelo acúmulo do carbono orgânico total em subsuperfície (Ruhe, 1956).

2.1.3.3 Migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais

Com o respaldo de algumas evidências físicas, químicas, mineralógicas, macro e micromorfológicas, Faivre (1990) propôs a hipótese de que a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em dois *pedons* localizados na região andina da Colômbia estaria relacionada à presença dos revestimentos pretos na superfície do agregados, em consequência da migração dos complexos quimicamente estáveis constituídos da matéria orgânica, argilominerais (haloisita) e ferro. Os revestimentos constatados ao nível da micromorfologia apresentaram uma organização interna complexa e espessura variável. O autor avaliou uma climatoposequência sobre alguns materiais de origem piroclásticos envolvendo os *Andosols* (*Dystrandepts*) (localizados no início da encosta com declividades acima de 10%; sem o processo da lessivagem), solos com o horizonte sômbrico da *Soil Taxonomy* (*horizon sombrique*) (localizados na encosta intermediária com declividades entre 3 e 12%; com o processo da lessivagem em uma intensidade moderada ou baixa), *Brunizems* (*Argiudolls* e *Argiustolls*) (localizados na encosta intermediária com declividades entre 3 e 12%; com o processo da lessivagem em uma intensidade moderada ou baixa) e *Planosols* (*Haplustalfs*) (localizados no sopé com declividades iguais ou abaixo de 3%; com o processo da lessivagem em uma intensidade elevada). Com exceção dos *Andosols* (*Dystrandepts*), todos os solos apresentaram as feições escurecidas distribuindo-se difusamente em profundidade, similarmente aos *sombrovites* que foram descritos por Eswaran (1985 e 1988), Eswaran e Tavernier (1980), e Paramananthan e Eswaran (1980), bem como do horizonte sômbrico na forma de manchas e o horizonte sômbrico na forma de poliedros escuros que foram descritos por Frankart (1983) (Faivre, 1990) (ANEXO D).

Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012) encontraram alguns indícios que corroboram a hipótese da migração dos complexos constituídos da matéria orgânica e argilominerais para explicar a gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos do sul do Brasil.

2.1.3.4 *Feição relíquia induzida por alterações climáticas*

A essência desta hipótese está contida na definição do grande grupo *Degraded Chernozem* da classificação norte-americana de 1938 (ordem: zonal; subordem: solos da transição floresta-campo) (Baldwin et al., 1938).

A hipótese de que os horizontes sômbrios seriam uma feição relíquia induzida por alterações climáticas foi originalmente proposta por Wambeke (1992). Durante um período climático mais frio, espessos horizontes superficiais uniformemente escurecidos teriam se formado. Com a mudança para um clima mais quente, o clareamento das partes superiores do horizonte A seria possível em virtude da renovação contínua da matéria orgânica, enquanto as partes inferiores teriam sido preservadas e mantidas escuras (Wambeke, 1992).

Uma hipótese similar foi testada por Caner et al. (2003 e 2007). Em Nilgiri Hills, sul da Índia, esses autores encontraram alguns indícios que corroboram uma sucessão da vegetação em resposta às alterações climáticas ocorridas no Pleistoceno Final. Em uma etapa anterior mais fria e menos úmida, horizontes superficiais excepcionalmente espessos e escurecidos teriam se formado a partir de uma matéria orgânica oriunda de uma vegetação do tipo C4 (campo). Durante a última deglaciação, uma nova condição da umidade e temperatura teria surgido, o que favoreceu o estabelecimento de uma vegetação do tipo C3 (floresta). Em um intervalo de tempo suficiente, o clareamento da porção superior do horizonte A ocorreu em virtude da progressiva acumulação de uma matéria orgânica menos escura (Caner et al., 2003 e 2007).

2.1.3.5 *Formação e acumulação do carbono pirogênico*

O carbono pirogênico ou *black carbon* é um termo genérico utilizado para descrever algumas formas do carbono que são produzidas pela queima incompleta dos combustíveis fósseis e biomassa (Caria et al., 2011; Currie et al., 2002; Elmquist et al., 2006; Gélinas et al., 2001; Gustafsson et al., 1997 e 2001; Hammes et al., 2007; Hsieh e Bugna, 2008; Kuhlbusch, 1995; Nguyen et al., 2004; Schmidt e Noack, 2000; Schmidt et al., 2001).

Em virtude das condições heterogêneas em que ocorre o fenômeno da combustão (duração do fogo, temperatura das chamas, precursores etc.), o carbono

pirogênico existe como um *continuum* abrangendo a biomassa parcialmente carbonizada, carvão (resíduos sólidos), fuligem (voláteis condensados) e grafite (carbono elementar), com diferenças expressivas quanto ao tamanho das partículas, aromaticidade, cristalinidade e reatividade, porém sem limites claramente definidos (Dickens et al. 2004; Leifeld, 2007; Masiello, 2004; Meredith et al., 2012) (ANEXO E).

Em Botucatu-SP, sudeste do Brasil, Miklós (1999) propôs a hipótese de que o horizonte subsuperficial escurecido era um paleo-horizonte superficial previamente enriquecido em carbono pirogênico e posteriormente soterrado pela ação da fauna. Incêndios frequentes teriam ocorrido no Holoceno Médio, produzindo consideráveis quantidades dos fragmentos micrométricos do carbono pirogênico que escureceram o horizonte superficial. Este teria sido sobreposto por materiais autóctones mais claros translocados por macrorganismos, principalmente as formigas e cupins (Miklós, 1999).

Em uma região próxima, Gouveia et al. (2012) mencionaram um perfil com um horizonte subsuperficial escurecido cuja formação poderia estar relacionada à hipótese supracitada.

Outro estudo associou a ocorrência dos horizontes subsuperficiais escurecidos ao carbono pirogênico. Velasco-Molina et al. (2013) apresentaram uma hipótese alternativa para explicar a gênese dos mesmos solos investigados por Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012). Os autores atribuíram o escurecimento à presença dos resíduos dos incêndios ocorridos em paleovegetação campestre, com posterior migração vertical descendente (conclusão discutível). O suposto carbono pirogênico foi estimado por meio de um fracionamento que considerou a oxidação úmida com as soluções do permanganato ou dicromato (entre outras informações), apesar da falta de seletividade para essa finalidade (Knicker et al., 2007; Tirol-Padre e Ladha, 2004).

2.1.3.6 Argissolos Bruno-Acinzentados do extremo sul do Brasil

A gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-Acinzentados do extremo sul do Brasil foi objeto dos estudos de Oenning (2001), Botelho (2011) e Lunardi Neto (2012), sob condições heterogêneas quanto ao material de origem, relevo (altitude, posição na paisagem e declividade), clima e organismos vivos.

Em Sobradinho-RS, Oenning (2001) avaliou um perfil classificado como Alissolo Crômico Argilúvico típico, mas que atualmente seria enquadrado na subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados. O escurecimento da porção superior do horizonte B textural foi atribuído ao processo do acúmulo iluvial dos complexos organometálicos envolvendo o alumínio e ferro (podzolização). Ao nível da micromorfologia, a presença dos revestimentos da argila e matéria orgânica foi constatada na zona de transição entre o horizonte subsuperficial escurecido e o horizonte sobrejacente mais claro. A ocorrência de um horizonte A soterrado foi descartada, com base na uniformidade da distribuição do TiO_2 ao longo do perfil (Oenning, 2001).

Em áreas do Batólito Pelotas, Botelho (2011) não identificou um processo comum entre os sete perfis avaliados. A ocorrência de um horizonte A soterrado foi descartada em todos os casos. A análise dos isótopos estáveis do carbono não mostrou indícios de uma sucessão da vegetação. Ao nível da macromorfologia, alguns perfis apresentaram evidências da migração da matéria orgânica (Botelho, 2011).

Em Alfredo Wagner-SC, Lunardi Neto (2012) avaliou um perfil dos Argissolos Bruno-Acinzentados e constatou a ocorrência de um horizonte A soterrado (retrabalhamento), respaldado por indícios como a continuidade lateral limitada do horizonte escurecido, distribuição desuniformidade da areia e mineralogia da argila discrepante ao longo do perfil. A hipótese da migração da matéria orgânica foi descartada, porém foi constatada a presença dos revestimentos escuros não coincidentes com o horizonte subsuperficial escurecido, ao nível da macromorfologia. A análise dos isótopos estáveis do carbono não mostrou indícios de uma sucessão da vegetação (Lunardi Neto, 2012).

No extremo sul do Brasil, a ocorrência dos Argissolos Bruno-Acinzentados e outros solos (Argissolos, Luvissolos e Neossolos) com horizonte subsuperficial escurecido é relativamente comum, tanto em terras altas quanto em terras baixas (Botelho, 2011; Almeida et al., 2009; Lunardi Neto, 2012; Oenning, 2001; Oliveira, 2012; Oliveira et al., 1992; Olmos e Camargo, 1982; SNLCS, 1980a e 1980b).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS

2.2.1 Classificação norte-americana de solos de 1938

Um trecho da classificação de solos proposta por Baldwin et al. (1938) está apresentado no Anexo F, com destaque para o grande grupo *Gray-Brown Podzolic*.

As séries, tipos e fases eram as categorias utilizadas na classificação em campo.

As séries agrupavam os solos desenvolvidos dos materiais de origem e climas similares, e que apresentavam características sem variações significativas, como o arranjo dos horizontes, estrutura, cor, granulometria (exceto do horizonte A), teores dos sais e matéria orgânica, pH do solo etc.

Os tipos indicavam as alterações na granulometria do horizonte A entre os solos de uma mesma série, enquanto as fases separavam os solos de um mesmo tipo, principalmente em função dos aspectos da paisagem (declividade, pedregosidade e grau da erosão).

As séries de solos eram reunidas em categorias superiores de acordo com as suas características, apesar de algumas inconsistências apontadas pelos próprios autores.

As famílias abrangiam as séries intimamente relacionadas.

Os grandes grupos incluíam centenas de séries que diferiam umas das outras de maneira importante quanto ao material de origem, relevo e idade, todavia, com atributos similares ao nível do perfil.

Os grandes grupos estavam inseridos em diversas subordens, e estas nas ordens zonal, intrazonal e azonal.

A ordem zonal englobava os solos bem desenvolvidos que ocorriam em áreas extensas (ou zonas) limitadas por características geográficas, cujas propriedades refletiam predominantemente a influência do clima e organismos vivos (por exemplo, os grandes grupos *Podzol* e *Gray-Brown Podzolic*). A ordem intrazonal englobava os solos menos desenvolvidos e influenciados mais fortemente por fatores como o relevo e material de origem (por exemplo, os grandes grupos *Planosol* e *Solonetz*). A ordem azonal englobava os solos pouco desenvolvidos, tanto em razão da juventude (material de origem recém-exposto) quanto da reduzida taxa da pedogênese

condicionada pelo relevo e material de origem (por exemplo, os grandes grupos *Lithosols* e *Sands*).

Baldwin et al. (1938) descreveram a podzolização como uma miscelânea dos processos da podzolização e lessivagem, enquanto a laterização incorporava a laterização e latolização. A podzolização resultaria na formação dos *Podzols* (cujo perfil típico se desenvolvia sobre os materiais de origem com granulometria grossa), *Brown Podzolic* (considerado um *Podzol* imaturo) e *Gray-Brown Podzolic* (solos mais argilosos com diferença textural vertical). O *Brown Podzolic* e *Gray-Brown Podzolic* apresentavam algumas similaridades em relação aos *Podzols*, porém com horizontes menos definidos. Os *Red Podzolic* e *Yellow Podzolic* das regiões quentes também eram influenciados pela podzolização em adição a laterização (intensa lixiviação das bases do perfil, mas sem a formação da laterita) (ANEXO G) (Baldwin et al., 1938).

Thorp e Smith (1949) apresentaram algumas sugestões ao sistema de classificação de 1938, aumentando os problemas de sobreposição já existentes. Uma das propostas foi a criação do grande grupo *Gray Wooded* ou *Gray Podzolic*, e a fusão do *Red Podzolic* e *Yellow Podzolic*, resultando no grande grupo *Red-Yellow Podzolic*. Os autores também comentaram sobre a fragilidade do conceito da zonalidade usando como exemplo a ocorrência dos solos similares ao *Gray-Brown Podzolic* em florestas das regiões tropicais úmidas, onde deveria ser encontrado apenas o *Red-Yellow Podzolic* (ANEXO H) (Thorp e Smith, 1949).

Em uma análise crítica, Smith (1983) relatou que a classificação proposta por Baldwin et al. (1938) foi preparada apressadamente para ser incluída no livro *Soils and Men*. Após a publicação, numerosas dificuldades foram constatadas, pois algumas séries não se enquadravam em nenhum grande grupo, outras se enquadravam em mais de um, não existiam definições precisas (sem lacunas ou sobreposições) para os grandes grupos, não havia critérios para diferenciar as famílias, as ordens não podiam ser definidas em termos dos atributos dos solos, entre outras (Smith, 1983). Para exemplificar a impossibilidade de uma classificação inequívoca ao nível dos grandes grupos, Smith (1983) narrou uma situação ocorrida em 1951 durante uma viagem de correlação nos EUA, na qual a série denominada *Chester* de Maryland foi classificada como *Gray-Brown Podzolic* pelo pessoal do sul, e como *Red-Yellow Podzolic* pelo pessoal do nordeste, similarmente ao que ocorreu com a série *Norfolk*, classificada por alguns como *Red-Yellow Podzolic*, apesar de se

assemelhar à série *Miami* (principal representante do *Gray-Brown Podzolic*) (Smith, 1983).

2.2.2 *Gray-Brown Podzolic* e o solo *Miami silt loam*

Olmos e Camargo (1982) conceituaram os Podzólicos Bruno-Acinzentados com base nas referências sobre o *Gray-Brown Podzolic* que foram apresentadas em Cline (1949), Winters e Simonson (1951), e Thorp et al. (1959) (ANEXO I).

Cline (1949) apresentou alguns solos do grande grupo *Gray-Brown Podzolic* que possuíam essencialmente as mesmas características morfológicas descritas por Baldwin et al. (1938) (ANEXO G).

Winters e Simonson (1951) abordaram genericamente alguns aspectos dos grandes grupos *Podzol*, *Brown Podzolic* e *Gray-Brown Podzolic*, com ênfase nos atributos físicos e químicos relacionados ao uso e manejo dos solos. Aparentemente de forma despretensiosa, os autores ilustraram um escurecimento da porção superior do horizonte B em um diagrama que continha um perfil idealizado dos solos Podzólicos (ANEXO J).

Thorp et al. (1959) qualificaram o solo *Miami silt loam* como o protótipo do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*. Os autores cogitaram a hipótese de que alguma matéria orgânica solúvel oriunda da serrapilheira ou atividade biológica estaria contribuindo com a coloração bruno-escura do horizonte B, todavia, sem menção de qualquer escurecimento mais acentuado da porção superior (ANEXO K). Brown e Thorp (1942) também descreveram a morfologia do *Miami silt loam*, bem como de outros solos do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*, todos da família *Miami* (ANEXO L).

2.2.3 Evolução dos Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS

O escurecimento da porção superior do horizonte B sempre foi uma feição exigida para os Podzólicos Bruno-Acinzentados desde que os primeiros perfis foram identificados no sul do Brasil na década de 1980 (ANEXOS I, M, N e O) (Oliveira et al., 1992; Olmos e Camargo, 1982; SNLCS, 1980a e 1980b).

Na primeira edição do SiBCS, os Podzólicos Bruno-Acinzentados estavam dispersos majoritariamente nas ordens dos Alissolos (modalidades alíticas) e Luvissolos (modalidades eutróficas) (CNPS, 1999).

Na segunda edição, com a extinção dos Alissolos, a subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados foi (re)criada, sendo previsto somente o grande grupo dos Alíticos. O critério de enquadramento exigia o predomínio das cores brunadas em subsuperfície e o escurecimento da porção superior do horizonte B em relação aos horizontes subjacentes (ANEXO P) (CNPS, 2006).

Na terceira edição, algumas alterações significativas foram realizadas, como a adição dos grandes grupos dos Alumínicos e Distróficos. O critério exige o predomínio das cores brunadas em subsuperfície e o escurecimento da porção superior do horizonte B, tanto em relação aos horizontes subjacentes (considerando-se o estado úmido) quanto aos sobrejacentes (considerando-se o estado seco) (ANEXO P) (Santos et al., 2013).

2.2.4 Solos com horizonte subsuperficial escurecido identificados na região central da África

Após um estudo exploratório realizado na região central da África pelo Instituto Nacional para Estudos Agronômicos do Congo Belga (*Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge*, I.N.É.A.C.), Kellogg e Davol (1949) reportaram em Ruanda a ocorrência do *Reddish-Brown Latosol* com curiosos horizontes pretos em profundidade, mais escurecidos e com maior teor do carbono orgânico total em relação aos horizontes sobrejacentes.

Posteriormente, Ruhe (1954 e 1956) descreveu com grande riqueza de detalhes a presença dos horizontes escuros de subsolo em *Dark-Horizon Latosols* na região de Nioka-Ituri, Congo Belga (este país foi nomeado de República do Zaire entre os anos de 1971 e 1997, e atualmente de República Democrática do Congo). Na mesma região, Sys (1960 e 1972) também encontrou algumas feições similares em perfis dos solos *Ferralsol*, *Ferrisol* e *Sol Brun Tropical*.

As primeiras definições formais para esses horizontes foram feitas por Sys (1960) — “horizonte iluvial preto, bruno-acinzentado escuro ou bruno-avermelhado escuro, com um acúmulo da matéria orgânica, localizado abaixo do horizonte B em *Kaolisols* de altitude” — e Tavernier e Sys (1965) — “horizonte subsuperficial com 10

cm ou mais, mais escuro (pelo menos 1 unidade em valor) e com mais carbono orgânico em relação ao horizonte sobrejacente”.

Os solos com horizonte subsuperficial escurecido identificados na região central da África estão restritos ao clima frio e úmido dos planaltos e montanhas com altitudes elevadas (Craene e Laruelle, 1955; Eswaran, 1985 e 1988; Eswaran e Tavernier, 1980; Forbes, 1986; Frankart, 1983; Kellogg e Davol, 1949; Mutwewingabo, 1989; Paramanathan e Eswaran, 1980; Riquier, 1966; Ruhe, 1954 e 1956; Sys, 1960 e 1972; Tavernier e Sys, 1965; Wambeke, 1961, 1989 e 1992).

2.2.5 Horizonte sômbrico (*sombric horizon*) e caráter sômbrico

Na edição original da *Soil Taxonomy*, o horizonte diagnóstico subsuperficial sômbrico (*sombric horizon*) foi inserido, sendo mantida a essência da concepção proposta por Sys (1960), porém sem elucidação do processo da migração da matéria orgânica. O horizonte sômbrico também foi introduzido na segunda edição da WRB, mas sem mudança significativa em relação à *Soil Taxonomy* (ANEXO Q) (IUSS Working Group WRB, 2006; Soil Survey Staff, 1975).

As definições que constam nas edições atuais da *Keys to Soil Taxonomy* e WRB são praticamente idênticas em relação ao que foi proposto na década de 1970. Não houve qualquer avanço sobre como ocorre o processo da migração da matéria orgânica (IUSS Working Group WRB, 2015; Soil Survey Staff, 2014).

Atualmente, a *Soil Taxonomy* prevê a ocorrência do horizonte sômbrico apenas para os *Ultisols* (*Sombrihumults* e *Sombric Kandiodults*) e *Oxisols* (*Sombriperox*, *Sombriudox* e *Sombriustox*). Similarmente, a WRB prevê a ocorrência apenas para os *Acrisols* e *Ferralsols*, sempre ao nível dos qualificadores suplementares (IUSS Working Group WRB, 2015; Soil Survey Staff, 2014).

O sistema de classificação de solos do Canadá reconhece as classes dos *Sombric Brunisols* e *Sombric Podzols*, mas com um significado completamente distinto. Nesse caso, os solos apresentam um horizonte superficial A com o sufixo h (Ah), o que denota um maior teor do carbono orgânico e/ou coloração mais escurecida em relação ao horizonte subjacente, além de ser relativamente espesso, ácido e pobre em cátions básicos (Soil Classification Working Group, 1998).

Alguns autores revisaram as definições do horizonte sômbrico e fizeram propostas para aperfeiçoar os critérios de enquadramento tanto da *Soil Taxonomy*

quanto da WRB (Almeida et al., 2009 e 2015; Bockheim, 2012; Botelho, 2011; Eswaran, 1985 e 1988; Eswaran e Tavernier, 1980; Frankart, 1983; Lunardi Neto, 2012; Paramanathan e Eswaran, 1980).

Por exemplo, Eswaran (1985 e 1988) afirmou que a definição do horizonte sômbrico da *Soil Taxonomy* era bastante fraca. O autor descreveu um tipo especial do horizonte sômbrico constituído puramente por línguas dos materiais orgânicos que se estendiam até o saprólito (feição denominada de *sombrovite*). Também enfatizou a peculiaridade do horizonte sômbrico ser facilmente identificável em campo, sendo bastante útil para fins de classificação e levantamento de solos (Eswaran, 1985 e 1988).

Eswaran e Tavernier (1980) ressaltaram que o conhecimento sobre o horizonte sômbrico estava baseado principalmente em aspectos morfológicos observados em campo. Os autores relataram que a evolução do escurecimento podia ser constatada tanto ao longo da paisagem quanto verticalmente ao nível do perfil. Na paisagem, o desenvolvimento inicial era perceptível nas áreas com maior declividade, e o desenvolvimento mais avançado nas áreas menos inclinadas. Ao nível do perfil, a transição entre os horizontes subsuperficiais escurecidos e horizontes sobrejacentes claros ficava gradativamente mais difusa na medida em que o processo do escurecimento evoluía. Complementarmente, Paramanathan e Eswaran (1980) destacaram que a presença dos revestimentos escurecidos predominantemente na superfície dos agregados era uma feição característica de um horizonte sômbrico imaturo, e a impregnação das cores pretas escurecendo toda a matriz ocorreria ao longo do tempo (Eswaran e Tavernier, 1980; Paramanathan e Eswaran, 1980).

Frankart (1983) propôs a ampliação do conceito original para abranger o horizonte sômbrico na forma de manchas (*spot sombric horizon*) — caracterizado por cores heterogêneas, resultantes da impregnação difusa, descontínua ou desigual da matéria orgânica na superfície ou dentro de alguns agregados — e o horizonte sômbrico na forma de poliedros escuros (*horizon with dark polyhedra*) — caracterizado pela presença das unidades estruturais na forma de blocos escuros (Frankart, 1983).

Bockheim (2012) fez uma revisão detalhada, selecionando trinta *pedons* descritos na literatura com um horizonte sômbrico ou com uma feição similar. O autor concluiu que apenas doze atenderam plenamente as exigências da *Soil*

Taxonomy e WRB (conclusão discutível). Também sugeriu que o horizonte sômbrico não atendesse aos critérios de enquadramento do horizonte espódico ou propriedades ândicas (*andic soils properties*) quanto aos teores do alumínio e ferro extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio, e propôs que o teor do alumínio trocável também fosse utilizado para caracterizar a matéria orgânica associada ao alumínio, o que é pertinente, porém considerando-se as ressalvas feitas por Almeida et al. (2015) e Lunardi Neto (2012). Estes autores ponderaram que a distribuição do alumínio trocável em profundidade poderia ser uma consequência, e não uma causa da migração e acúmulo da matéria orgânica nos horizontes subsuperficiais escurecidos (adsorção do alumínio trocável, oriundo do intemperismo dos minerais, em um momento posterior ao processo da migração e acúmulo da matéria orgânica) (Bockheim, 2012).

Recentemente, no SiBCS foi introduzido em fase de validação o caráter sômbrico, sendo ampliadas as definições do horizonte sômbrico da *Soil Taxonomy* e WRB. Uma modificação relevante é a exigência de um escurecimento em profundidade relacionado à acumulação/composição da matéria orgânica do solo, com exceção dos casos que envolvem a podzolização, dispersão pelo sódio trocável e soterramentos (que originaram os horizontes soterrados por retrabalhamento). Curiosamente, na primeira edição do SiBCS existiu o Cambissolo Húmico Alumínico sômbrico, o qual englobava os solos que apresentavam um horizonte mineral subsuperficial de cor mais escura que o horizonte sobrejacente, mas que não reunia as propriedades de um horizonte B espódico (ANEXO R) (CNPS, 1999; Santos et al., 2013).

3 HIPÓTESE

O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados localizados no extremo sul do Brasil.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se o processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em Argissolos Bruno-Acinzentados do extremo sul do Brasil, formados a partir de condições heterogêneas quanto ao material de origem, relevo (altitude, posição na paisagem e declividade), clima e organismos vivos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscar indícios da presença de horizontes soterrados (retrabalhamento) por meio das seguintes avaliações: macro e micromorfologia; fracionamento da areia; razões envolvendo as frações imóveis e inertes; comparação da distribuição dos tamanhos das partículas; índice de Asady-Whiteside; valor de uniformidade; índice I/E; quantidade do cascalho; mineralogia da argila; e teores de alguns elementos químicos na TFSE, areia, silte e argila (especialmente o titânio e zircônio), mensurados por fluorescência de raios X.

Buscar indícios da podzolização por meio das seguintes avaliações: macro e micromorfologia; teores do alumínio e ferro extraídos pela solução do pirofosfato de sódio e solução do oxalato ácido de amônio; teor do ferro extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio; teor do alumínio trocável; pH do solo; densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE); e mineralogia da argila.

Buscar indícios de diferença na composição da matéria orgânica dos horizontes subsuperficiais escurecidos em relação aos horizontes sobrejacentes claros, por meio das seguintes avaliações: macro e micromorfologia; $\delta^{13}\text{C}$; e espectroscopia de infravermelho.

Buscar indícios da migração da matéria orgânica e argilominerais por meio das seguintes avaliações: macro e micromorfologia; teor do carbono orgânico total; proporção da argila; proporção das subfrações argila fina e argila grossa; teor do carbono orgânico total na argila fina e argila grossa; avaliações dos materiais que se estendem dos horizontes subsuperficiais escurecidos, como manchas escuras em

profundidade (mais as áreas adjacentes), revestimentos escurecidos na superfície dos agregados (mais o interior dos agregados) e supostos canais com preenchimentos escuros (mais as áreas adjacentes); mineralogia da argila; e teores de alguns elementos químicos na argila, mensurados por fluorescência de raios X.

Determinar os principais atributos físicos, químicos, mineralógicos, macro e micromorfológicos dos solos.

Buscar subsídios para aperfeiçoar a classificação dos Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 VIAGENS PELOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA

Nos anos de 2013 e 2014, uma triagem foi realizada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina em busca de perfis representativos dos Argissolos Bruno-Acinzentados (**PBAC**), tendo como ponto de partida as informações apresentadas nos trabalhos do SNLCS na década de 1980 (SNLCS, 1980a e 1980b).

No Rio Grande do Sul, as viagens abrangeram as regiões centro-ocidental, centro-oriental, sudoeste, sudeste, nordeste e noroeste. Em Santa Catarina, as viagens abrangeram as regiões nordeste e centro-leste.

5.2 DESCRIÇÃO GERAL DOS SOLOS

Quatro perfis representativos dos PBAC e um Argissolo Amarelo (**PA**) foram selecionados, descritos, amostrados e amplamente caracterizados. Condições heterogêneas quanto ao material de origem, relevo (altitude, posição na paisagem e declividade), clima e organismos vivos (vegetação) foram contempladas.

No ano de 2013, um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto (**PBAC - SJP**) foi escolhido no município de São João do Polêsine (coordenadas geográficas -29,676620°, -53,495700°), região centro-ocidental do Rio Grande do Sul. O perfil está localizado na comunidade Linha da Glória, distrito do Vale Vêneto. O acesso está disponível no lado esquerdo da rodovia RS-149, km 128, no sentido Restinga Seca (RS)-São João do Polêsine, logo depois de uma ponte na divisa entre esses municípios, próxima de uma olaria. O perfil corresponde a um barranco em um corte de estrada (lado esquerdo), em um topo de elevação/início da encosta em um fundo de vale com uma declividade de aproximadamente 5%. A altitude da área é de 103 m. O relevo local e regional são do tipo suave ondulado. Pastagens e lavouras compõem a cobertura vegetal. A Floresta Estacional Decidual é a vegetação primária. O clima da região é do tipo Cfa conforme a classificação do Köppen (Köppen, 1936), e do tipo B4B'3ra' segundo a classificação do Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A litologia é constituída por arenito com intercalação de pelito, da Formação Caturrita (Triássico), do Grupo Rosário do Sul, nas margens da

escarpa da Formação Serra Geral (Cretáceo), do Grupo São Bento. O material de origem corresponde ao produto da alteração da litologia supracitada com uma possível contribuição de um material coluvial arenoso. A drenagem é imperfeita/moderada, e não existem indícios da erosão. O perfil não apresenta pedregosidade nem rochosidade (APÊNDICE A).

No ano de 2013, um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico (**PBAC - RS**) foi escolhido no município de Rosário do Sul (coordenadas geográficas -30,240330°, -54,862730°), região sudoeste do Rio Grande do Sul. O perfil está localizado às margens da rodovia BR-290, km 475, em direção à São Gabriel (RS), a cerca de 1 km depois do trevo de Cacequi (RS). O perfil corresponde a um barranco em um corte de estrada (lado direito), no terço inferior da encosta com uma declividade de aproximadamente 10%. A altitude da área é de 141 m. O relevo local e regional são do tipo ondulado. Gramíneas e capoeira compõem a cobertura vegetal. Campos subtropicais são a vegetação primária. O clima da região é do tipo Cfa conforme a classificação do Köppen (Köppen, 1936), e do tipo B3B'3ra' segundo a classificação do Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A litologia é constituída por arenito fino e folhelho, da Formação Pirambóia (Permiano), do Grupo Passa Dois. O material de origem corresponde ao produto da alteração da litologia supracitada com indícios da contribuição de um material coluvial arenoso. A drenagem é imperfeita/moderada, e não existem indícios da erosão. O perfil não apresenta pedregosidade nem rochosidade (APÊNDICE B).

No ano de 2013, um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abráptico (**PBAC - ARV**) foi escolhido no município de Arvorezinha (coordenadas geográficas -28,880517°, -52,185929°), região nordeste do Rio Grande do Sul. O perfil está localizado às margens da rodovia ERS-332, km 58, em direção à Soledade (RS), a cerca de 2 km depois do trevo de Arvorezinha. O perfil corresponde a um barranco em um corte de estrada (lado direito), em um topo de elevação com uma declividade de aproximadamente 9%. A altitude da área é de 737 m. O relevo local e regional são do tipo ondulado. Um resquício da Floresta de Araucárias compõe a cobertura vegetal. A Floresta de Araucárias é a vegetação primária. O clima da região é do tipo Cfb conforme a classificação do Köppen (Köppen, 1936), e do tipo AB'2ra' segundo a classificação do Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A litologia é constituída por riodacito, da Formação Serra Geral (Cretáceo), Fácies Caxias, do Grupo São Bento. O material de origem corresponde ao produto da alteração da litologia supracitada

com uma possível contribuição de um material similar retrabalhado. A drenagem é excessiva, e não existem indícios da erosão. O perfil não apresenta pedregosidade nem rochosidade (APÊNDICE C).

No ano de 2014, um ARGISSOLO AMARELO Alítico típico (**PA - AUR**) foi escolhido no município de Aurora (coordenadas geográficas -27,275011°, -49,533230°), região centro-leste de Santa Catarina. O perfil está localizado em uma estrada secundária na interseção dos municípios de Aurora, Rio do Sul (SC) e Lontras (SC). O perfil corresponde a um barranco em um corte de estrada (lado esquerdo), em um topo de elevação com uma declividade de aproximadamente 5%. A altitude da área é de 880 m. O relevo local e regional são do tipo suave ondulado. A Floresta de Araucárias compõe a cobertura vegetal, e também é a vegetação primária. O clima da região é do tipo Cfb conforme a classificação do Köppen (Köppen, 1936), e do tipo B4B'3ra' segundo a classificação do Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A litologia é constituída por arenito e siltito, da Formação Rio Bonito (Permiano), do Grupo Guatá, do Super Grupo Tubarão. O material de origem corresponde ao produto da alteração da litologia supracitada com uma possível contribuição de um material coluvial. A drenagem é boa, e não existem indícios da erosão. O perfil não apresenta pedregosidade nem rochosidade (APÊNDICE D).

No ano de 2014, um ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abráptico (**PBAC - AW**) foi escolhido no município de Alfredo Wagner (-27,694997°, -49,314796°), região centro-leste de Santa Catarina. O perfil está localizado às margens da rodovia BR-282, km 102, em direção à Rancho Queimado (SC), aproximadamente a 2 km do acesso à Alfredo Wagner, entrando 50 m à direita em uma estrada secundária. O perfil corresponde a um barranco em um corte de estrada (lado esquerdo), no terço inferior da encosta com uma declividade de aproximadamente 30%. A altitude da área é de 778 m. O relevo local é do tipo forte ondulado, e o relevo regional é forte ondulado/montanhoso. Uma mata secundária compõe a cobertura vegetal. A Floresta de Araucárias é a vegetação primária. O clima da região é do tipo Cfb conforme a classificação do Köppen (Köppen, 1936), e do tipo B4B'3ra' segundo a classificação do Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A litologia é constituída por ritmito com clastos caídos, do Grupo Itararé, Membro Rio do Sul (Carbonífero). O material de origem corresponde ao produto da alteração da litologia supracitada com uma possível contribuição de um material coluvial. A drenagem é boa, e existem indícios da erosão com intensidade moderada (laminar e

por sulcos). O perfil não apresenta pedregosidade, mas é ligeiramente rochoso (APÊNDICE E).

Algumas imagens dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW estão apresentadas nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente. A distribuição espacial dos cinco solos avaliados nesta tese está apresentada na Figura 9.

5.3 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS *IN-SITU* E COLETA DAS AMOSTRAS

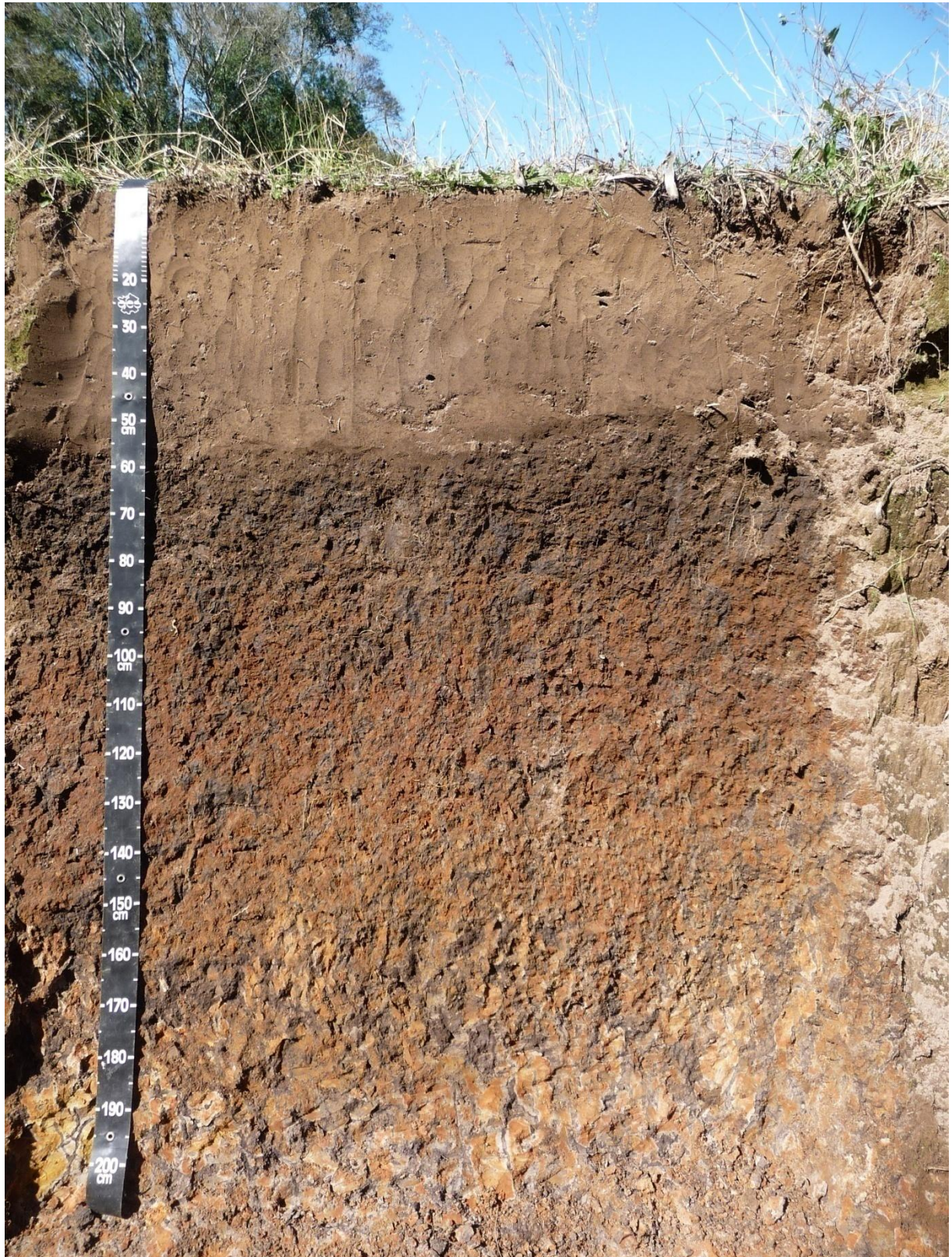
A descrição morfológica foi realizada *in-situ*, conforme as recomendações preconizadas por Santos et al. (2005). Os atributos avaliados foram a espessura, arranjo e transição dos horizontes, cor (solo seco e solo úmido) utilizando a carta de Munsell, granulometria, estrutura (tipo, grau e tamanho), consistência (solo seco, solo úmido e solo molhado), distribuição das raízes e presença de feições especiais (cerosidade, superfícies foscas etc.), além de observações gerais.

A coleta das amostras com estrutura alterada foi realizada para a caracterização física, química e mineralógica. Os diferentes horizontes foram amostrados individualmente após a limpeza e preparo do local (PBAC - SJP: A1, A2, BA, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, 2BA1, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, BA1, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, Be, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, BA, Bt1, Bt2 e C), conforme as recomendações preconizadas por Santos et al. (2005). Nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV, a amostragem dos materiais que se estendem dos horizontes subsuperficiais escurecidos foi realizada, como manchas escuras em profundidade (mais as áreas adjacentes), revestimentos escurecidos na superfície dos agregados (mais o interior dos agregados) e supostos canais com preenchimentos escuros (mais as áreas adjacentes) (Figura 10).

A coleta das amostras orientadas e com a estrutura preservada (monólitos) foi realizada para a caracterização micromorfológica de alguns horizontes dos cinco solos (PBAC - SJP: A1, A2, BA, Bt1 e Bt2; PBAC - RS: A1, A2, 2BA1, 2Bt e 2BC; PBAC - ARV: A2, BA1 e Bt; PA - AUR: AB, BA e Be; PBAC - AW: AB, BA e Bt1), conforme as recomendações preconizadas por Santos et al. (2005). A amostragem foi realizada em caixas com a dimensão de 8 x 6 x 4 cm, confeccionadas com o papel do tipo *Kraft*.

Figura 4 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - SJP.

A





Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

Figura 5 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - RS.

A



B**C****D**

Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

Figura 6 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - ARV.

A





Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

Figura 7 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PA - AUR.

A





Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

Figura 8 — Perfil trabalhado (A) e não trabalhado (aspecto natural) (B), bem como a paisagem de ocorrência (C e D) do PBAC - AW.

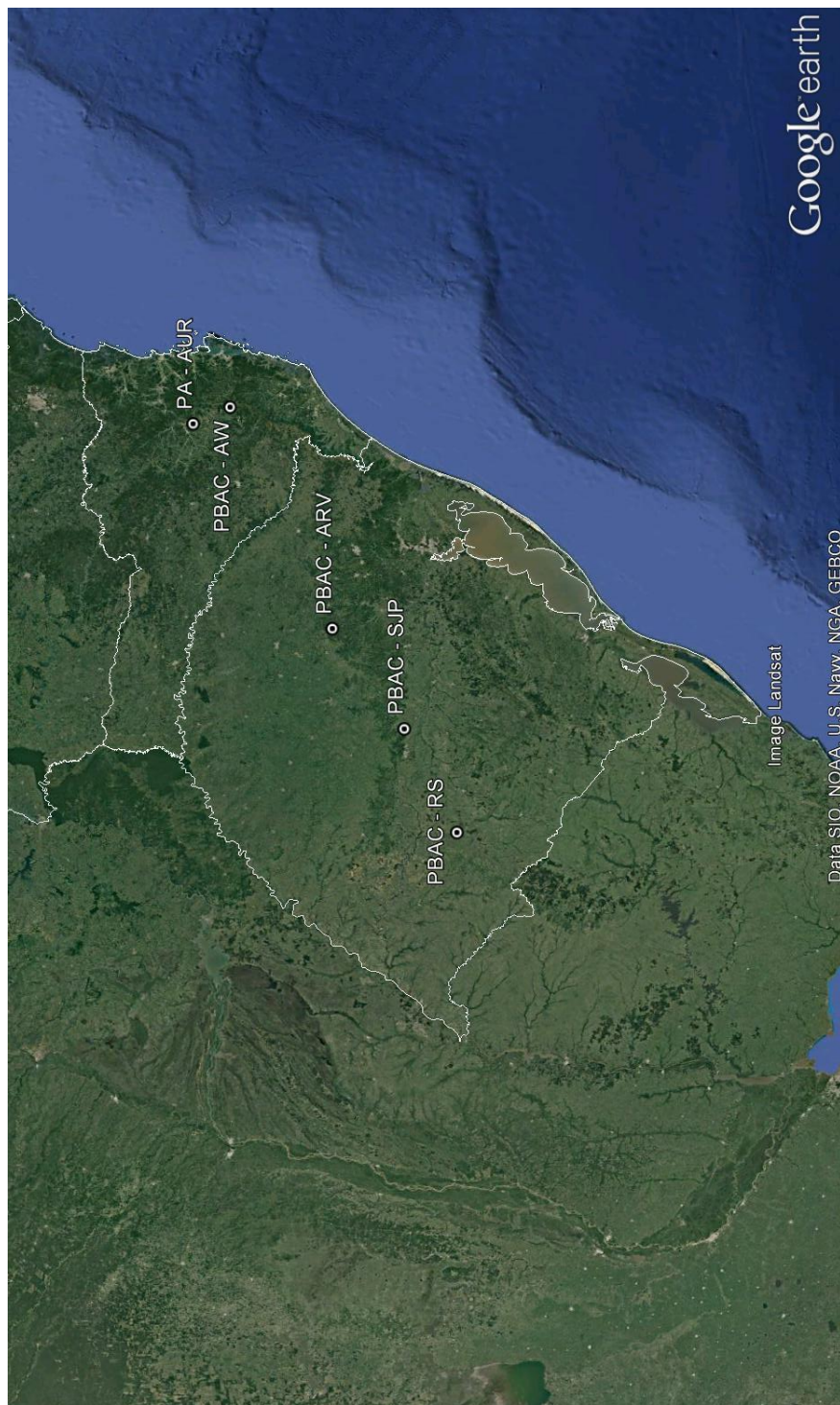
A



B**C****D**

Fonte: elaborada pelo autor, 2017.

Figura 9 — Distribuição espacial dos solos no sul do Brasil. Os perfis PBAC - SJP (São João do Polêsine), PBAC - RS (Rosário do Sul) e PBAC - ARV (Arvorezinha) estão localizados no estado do Rio Grande do Sul, enquanto os perfis PA - AUR (Aurora) e PBAC - AW (Alfredo Wagner) estão localizados no estado de Santa Catarina.



Fonte: elaborada pelo autor (figura criada com o software Google Earth), 2017.

Figura 10 — Amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP (A, B e C) e PBAC - ARV (D, E e F). Descrições detalhadas estão apresentadas abaixo.



A: Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2.

Identificações:

Agreg1: interior dos agregados.

Revest1: revestimentos escurecidos dos agregados.



B: Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2.

Identificações:

Agreg2: interior dos agregados.

Revest2: revestimentos escurecidos dos agregados.



C: Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C.

Identificações:

Adjac: áreas adjacentes aos supostos canais.

Canais: supostos canais com preenchimentos escuros.



D: Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2.

Identificações:

Adjac1: áreas adjacentes à mancha.

Manch1: mancha.



E: Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2.

Identificações:

Adjac2: áreas adjacentes à mancha.

Manch2: mancha.



F: Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC.

Identificações:

Agreg: interior dos agregados.

Revest: revestimentos escurecidos dos agregados.

5.4 PREPARO DAS AMOSTRAS

Inicialmente, as amostras recém-coletadas foram desagregadas manualmente pelos planos de fraqueza, sendo mantidas em estufa para secagem, utilizando-se a temperatura de 60 °C.

Posteriormente, as amostras foram envolvidas em sacos plásticos e trituradas com o uso de martelo e tábua de madeira.

Na sequência, as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm, resultando na terra fina seca em estufa (TFSE).

Após a secagem, amostras brutas (não trituradas nem peneiradas) foram reservadas para a quantificação das frações maiores do que 2 mm.

5.5 ANÁLISES DE LABORATÓRIO (MAIS DETALHES NO APÊNDICE F)

5.5.1 Frações granulométricas maiores do que 2 mm

As frações calhau (dimensão variável entre 200 e 20 mm) e cascalho (dimensão variável entre 20 e 2 mm) são separadas da amostra total (amostra bruta) por meio do peneiramento em via úmida, e as determinações são realizadas por meio da pesagem.

5.5.2 Granulometria (areia, silte e argila)

Inicialmente, a dispersão física e química da TFSE é realizada em via úmida. A areia (dimensão variável entre 2 e 0,053 mm) é separada por meio do peneiramento, e a determinação é realizada por meio da pesagem. A suspensão remanescente é disposta em uma proveta, e após o tempo da sedimentação do silte (dimensão variável entre 0,053 e 0,002 mm), a determinação da argila (dimensão inferior a 0,002 mm) é realizada com o densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962). A proporção do silte é obtida por diferença.

5.5.3 Argila natural ou argila dispersa em água

A argila natural ou argila dispersa em água é aquela obtida sem o uso do dispersante químico (hidróxido de sódio).

5.5.4 Grau de floculação

O grau de floculação representa a proporção da argila floculada em relação à argila total.

5.5.5 Razão silte:argila

Razão entre as proporções do silte e argila.

5.5.6 Fracionamento da areia

Cinco subfrações da areia são separadas por meio do peneiramento em via seca (1, 0,5, 0,25, 0,105 e 0,053 mm).

5.5.7 Fracionamento da argila

Inicialmente, a dispersão física e química da TFSE é realizada em via úmida. A separação das duas subfrações da argila é realizada por meio da centrifugação.

5.5.8 Comparação da distribuição dos tamanhos das partículas (*comparative particle size distribution* - CPSD)

Relação entre as subfrações da areia (Langohr et al., 1976).

5.5.9 Índice de Asady-Whiteside (Asady-Whiteside *index* - AWI)

Relação entre as proporções do silte e areia (Asady e Whiteside, 1982).

5.5.10 Valor de uniformidade (*uniformity value* - UV)

Relação entre as proporções do silte e areia, e a subfração areia muito fina (Cremeens e Mokma, 1986).

5.5.11 Índice I/E

Relação entre a subfração argila fina de um horizonte iluvial em relação ao horizonte eluvial respectivo (Cremeens e Mokma, 1986).

5.5.12 *delta* pH, pH em água e pH em uma solução do KCl

A medição do pH é realizada com um pHmetro digital, sendo utilizada uma suspensão solo:líquido (água destilada ou uma solução do cloreto de potássio) com a proporção de 1:2,5. O *delta* pH (Δ pH) corresponde à diferença entre os valores do pH em uma solução do KCl e o pH em água destilada.

5.5.13 Carbono orgânico total e nitrogênio total

As determinações dos teores do carbono orgânico total e nitrogênio total são realizadas por meio da combustão seca em um analisador elementar.

5.5.14 Carbono orgânico total e nitrogênio total na argila fina e argila grossa

As determinações dos teores do carbono orgânico total e nitrogênio total na argila fina e argila grossa são realizadas por meio da combustão seca em um analisador elementar.

5.5.15 Argila fina e argila grossa, e carbono orgânico total na argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE

Os valores das subfrações argila fina e argila grossa, bem como do carbono orgânico total na argila fina e argila grossa são ponderados pela TFSE.

5.5.16 Matéria orgânica leve em água

Os resíduos orgânicos com dimensão superior a 0,25 mm e menos densos do que a água são separados da TFSE por peneiramento e flotação.

5.5.17 Cátions trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+})

Com base no fenômeno da troca catiônica, o Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} são extraídos da fase sólida do solo pela solução do acetato de amônio (pH 7). Os teores do Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} contidos no extrato são determinados por meio da espectrometria de absorção atômica.

5.5.18 Alumínio trocável (Al^{3+})

Com base no fenômeno da troca catiônica, o Al^{3+} é extraído da fase sólida do solo pela solução do cloreto de potássio. O teor do Al^{3+} contido no extrato é determinado por espectrometria de absorção atômica.

5.5.19 Acidez potencial (H+Al)

A extração da acidez potencial do solo (H+Al) é realizada pela solução do acetato de cálcio (pH 7), seguida da neutralização com o hidróxido de sódio em presença da fenolftaleína como indicador.

5.5.20 Soma de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7, saturação por alumínio, saturação por bases e percentagem do sódio trocável (S, t, T, m, V e PST, respectivamente)

A soma de bases (S) representa o somatório dos cátions trocáveis Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . A CTC efetiva (t) representa o somatório da S e Al^{3+} . A CTC a pH 7 (T) representa o somatório da S e H+Al. A saturação por alumínio (m) representa a proporção do Al^{3+} em relação à t. A saturação por bases (V) representa a proporção da S em relação à T. A percentagem do sódio trocável (PST) representa a proporção do Na trocável em relação à T.

5.5.21 Alumínio e ferro extraídos pela solução do pirofosfato de sódio

A extração do alumínio e ferro complexados pela matéria orgânica do solo é realizada pela solução do pirofosfato de sódio, mantendo-se a integridade das formas associadas aos óxidos e hidróxidos amorfos e cristalinos. Os teores do alumínio e ferro contidos no extrato são determinados por espectrometria de absorção atômica.

5.5.22 Silício, alumínio, ferro e manganês extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio

O silício, alumínio, ferro e manganês contidos em óxidos e hidróxidos amorfos ou de baixa cristalinidade são extraídos após a dissolução com o uso da solução do oxalato ácido de amônio, mantendo-se a integridade das formas associadas aos óxidos e hidróxidos cristalinos. Os teores do silício, alumínio, ferro e manganês contidos no extrato são determinados por espectrometria de absorção atômica.

5.5.23 Relação entre os teores do Al_{ox} e Fe_{ox} ($Al + 0,5Fe$)

Relação entre os teores do Al_{ox} e Fe_{ox} .

5.5.24 Densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE)

A densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE) é a absorbância no comprimento de onda de 430 nm, mensurada no sobrenadante após a agitação com a amostra do solo (Daly, 1982).

5.5.25 Ferro extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio

O ferro contido na goethita e hematita é extraído após a dissolução com o uso da solução do citrato-ditionito (o ditionito é usado como agente redutor, e o citrato é usado como agente complexante). O teor do ferro contido no extrato é determinado por espectrometria de absorção atômica (Holmgren, 1967).

5.5.26 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂ e ZrO₂ na TFSE, areia, silte e argila, mensurados por espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX)

A semi-quantificação das proporções do SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂ e ZrO₂ na TFSE, areia, silte e argila é realizada por meio da espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX).

5.5.27 Índices K_{iFRX} e K_{rFRX} da argila

O índice K_i representa a relação molecular do SiO₂ e Al₂O₃ mensurados na argila por meio da espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX). O índice K_r representa a relação molecular do SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ mensurados na argila por meio da espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX).

5.5.28 Condutividade elétrica

A medição da condutividade elétrica é realizada com um condutivímetro digital, sendo utilizada uma suspensão solo:líquido (água destilada) com a proporção de 1:2,5.

5.5.29 Difratometria de raios X (DRX) - fração argila do solo

A identificação dos minerais em amostras da fração argila orientada é realizada por meio do padrão característico da difração dos raios X após a aplicação de diferentes tratamentos químicos e térmicos (Borchardt, 1989; Dixon, 1989; Dixon e Weed, 1989; Douglas, 1989; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Schulze, 1989).

5.5.30 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) - matéria orgânica do solo

Os espectros da absorção da radiação na região do infravermelho são obtidos em amostras previamente tratadas com o ácido fluorídrico diluído (desmineralização), sendo utilizado o KBr na forma de discos prensados.

5.5.31 *delta* ¹³C ($\delta^{13}\text{C}$)

A determinação do *delta* ¹³C ($\delta^{13}\text{C}$) é realizada por meio da espectrometria de massa de razão isotópica.

5.5.32 Datação por ¹⁴C

O ¹⁴C da amostra é determinado por meio da espectrometria de massa com aceleradores. A idade da matéria orgânica do solo é calculada com base no decaimento radioativo do ¹⁴C (meia-vida de 5730 anos).

5.5.33 Micromorfologia

Inicialmente, a amostra do solo com estrutura preservada é impregnada com uma resina de poliéster. Após o endurecimento, a amostra é cortada e uma lâmina de vidro é colada em uma das faces do bloco. Finalmente, a amostra é lixada e polida até atingir uma espessura final de aproximadamente 30 µm. A descrição é realizada com um microscópio petrográfico.

5.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os cinco solos avaliados nesta tese foram classificados até o quarto nível categórico (subgrupos) do SiBCS conforme Santos et al. (2013). Uma correspondência aproximada em relação à *Soil Taxonomy* e WRB foi realizada (IUSS Working Group WRB, 2015; Soil Survey Staff, 2014).

5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O tratamento estatístico dos dados foi realizado por meio do agrupamento hierárquico aglomerativo (utilizando-se a distância euclidiana e o método de Ward). Oitenta variáveis de alguns horizontes dos cinco solos foram reunidas (PBAC - SJP: A2, BA, Bt1 e Bt2; PBAC - RS: A2, 2BA1, 2BA2 e 2Bt; PBAC - ARV: A2, BA1, BA2 e Bt; PA - AUR: AB, BA, Be e Bi; PBAC - AW: A2, AB, BA e Bt1).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 GÊNESE DO ESCURECIMENTO EM HORIZONTES SUBSUPERFICIAIS: MIGRAÇÃO INDISSOCIADA DA MATÉRIA ORGÂNICA E ARGILOMINERAIS

6.1.1 Morfologia dos solos

6.1.1.1 Macromorfologia

Os perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV foram os únicos que apresentaram os horizontes subsuperficiais escurecidos e as evidências macromorfológicas compatíveis com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente. Considerando-se os cinco solos avaliados nesta tese, o carbono pirogênico não foi detectado pelas observações macromorfológicas *in-situ* (Figuras 11 e 12) (APÊNDICES A, B, C, D e E).

O perfil PBAC - SJP apresentou o predomínio das cores brunadas (matizes 10YR e 7.5YR, com valor e croma ≤ 6) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, bem como uma coloração variegada na porção inferior do solo, com uma participação maior da cor amarela. O topo do horizonte B (BA) apresentou valor e croma inferiores em relação ao horizonte A (A1 e A2), tanto no estado úmido quanto no estado seco. O horizonte subsuperficial escurecido (BA) apresentou uma continuidade lateral em todos os segmentos da paisagem. Os revestimentos escurecidos na superfície dos agregados foram constatados *in-situ* nos horizontes B, BC e C (tornando-se brilhantes no estado úmido), mas com uma abundância maior no topo do horizonte B (BA). Esses revestimentos foram facilmente percebidos e separados em relação aos agregados. Os canais com preenchimentos escuros foram constatados *in-situ* nos horizontes BC e C. Esses preenchimentos também foram facilmente percebidos e separados em relação às áreas adjacentes. A granulometria, estrutura e consistência do horizonte A mudaram abruptamente em relação ao horizonte B (Figura 11) (APÊNDICE A).

O perfil PBAC - RS foi truncado abruptamente a partir da encosta intermediária. O horizonte subsuperficial escurecido (2BA1) apresentou uma espessura muito reduzida, com uma continuidade lateral bastante limitada, restringindo-se à encosta inferior. Uma zona horizontal de cascalhos foi constatada

in-situ especificamente na zona da transição dos horizontes A2 e 2BA1. A maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B apresentou o predomínio das cores brunadas (matizes 10YR e 7.5YR, com valor e croma ≤ 6), enquanto a porção inferior do solo apresentou uma coloração variegada, com uma participação maior da cor vermelha. No estado seco, o topo do horizonte B (2BA1) apresentou valor inferior em relação ao horizonte A (A1 e A2). A granulometria, estrutura e consistência do horizonte A variaram acentuadamente em relação ao horizonte B (APÊNDICE B).

O perfil PBAC - ARV apresentou o predomínio das cores brunadas (matiz 10YR com valor e croma ≤ 6). O topo do horizonte B (BA1) apresentou valor e croma inferiores em relação ao horizonte A (A1 e A2), tanto no estado úmido quanto no estado seco. O horizonte subsuperficial escurecido (BA1) apresentou uma continuidade lateral em todos os segmentos da paisagem. As manchas escuras e revestimentos escurecidos na superfície dos agregados foram constatados *in-situ* nos horizontes B, BC e C, mas com uma abundância maior no topo do horizonte B (BA1). Esses revestimentos e manchas foram facilmente percebidos e separados em relação aos agregados e áreas adjacentes, respectivamente. Algumas feições como a cerosidade e as superfícies foscas foram identificadas *in-situ* no horizonte B (BA1, BA2 e Bt). A granulometria, estrutura e consistência do horizonte A mudaram abruptamente em relação ao horizonte B (Figura 12) (APÊNDICE C).

O perfil PA - AUR foi truncado abruptamente, apresentando uma continuidade lateral bastante limitada. A porção superior do solo apresentou um equilíbrio entre as cores brunadas, brunadas/amareladas e amareladas (matizes 10YR e 7.5YR, com croma e valor ≤ 6), além de uma coloração rosada no horizonte Cr (7.5YR8/2). No estado úmido, a porção intermediária do horizonte B (Be) apresentou valor e croma inferiores em relação ao topo do horizonte B (BA), e croma inferior em relação ao horizonte transicional AB. No estado seco, a porção intermediária do horizonte B (Be) apresentou valor inferior em relação ao horizonte A (A e AB), e também ao topo do horizonte B (BA). Algumas feições como a cerosidade e as superfícies foscas foram identificadas *in-situ* no topo do horizonte B (BA), além das superfícies foscas na porção intermediária do horizonte B (Be). A granulometria, estrutura e consistência do horizonte A variaram gradativamente em relação ao horizonte B (APÊNDICE D).

O perfil PBAC - AW apresentou o predomínio das cores brunadas (matizes 10YR e 7.5YR, com valor e croma ≤ 6) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, com um aumento das colorações avermelhadas em direção ao horizonte C. O topo do horizonte B (BA) apresentou valor e croma inferiores em relação ao horizonte transicional AB, tanto no estado úmido quanto no estado seco. Complementarmente, o topo do horizonte B (BA) apresentou valor e croma inferiores em relação ao sub-horizonte A2 no estado úmido, e valor inferior em relação aos sub-horizontes A1 e A2 no estado seco. O horizonte subsuperficial escurecido (BA) apresentou uma continuidade lateral em todos os segmentos da paisagem. Algumas feições como a cerosidade e as superfícies foscas foram identificadas *in-situ* no topo do horizonte B (BA), além da cerosidade nos sub-horizontes Bt1 e Bt2. A granulometria, estrutura e consistência do horizonte A mudaram abruptamente em relação ao horizonte B (APÊNDICE E).

As feições escurecidas que foram constatadas ao nível da macromorfologia nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV desta tese não são incomuns, sendo similares em relação às feições escurecidas (associadas à migração da matéria orgânica e/ou argila) que foram apresentadas em Almeida et al. (2009), Brewer (1976), Buol e Hole (1959 e 1961), Clayton et al. (1977), Driessen e Deckers (2001), Eswaran (1985 e 1988), Eswaran e Tavernier (1980), Faivre (1990), Frankart (1983), IUSS Working Group WRB (2015), Lapham (1932), Lunardi Neto (2012), Nieschmidt (1934), Nikiforoff (1937), Paramanathan e Eswaran (1980), *Pedon* ID 84FN758003 (*National Cooperative Soil Survey*, NCSS; trata-se do solo que foi apresentado em Wambeke (1992) e Bockheim (2012) com a presença do horizonte sômbrico), Retzer e Simonson (1941), Soil Classification Working Group (1998), entre outros exemplos.

Figura 11 — Feições escurecidas observadas *in-situ* ao nível da macromorfologia no perfil PBAC - SJP.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 12 — Feições escurecidas observadas *in-situ* ao nível da macromorfologia no perfil PBAC - ARV.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.1.1.2 Micromorfologia

Os perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV foram os únicos que apresentaram as evidências micromorfológicas compatíveis com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente, sendo condizentes com o escurecimento observado ao nível da macromorfologia. Considerando-se os cinco solos avaliados nesta tese, o carbono pirogênico não foi detectado pelas observações micromorfológicas em laboratório (Figuras 13 e 14) (APÊNDICES A, B, C, D, E, G e H).

As lâminas delgadas dos horizontes BA, Bt1 e Bt2 do perfil PBAC - SJP, bem como dos horizontes BA1 e Bt do perfil PBAC - ARV apresentaram os revestimentos (um tipo de feição pedológica textural) muito abundantemente, sendo identificados em poróides (principalmente as fissuras entre os agregados), grãos do quartzo (areia) e nódulos. Nos dois solos, a coloração dos revestimentos contrastou

abruptamente em relação ao fundo matricial adjacente (sem e com os polarizadores cruzados), especialmente para o perfil PBAC - SJP que é menos argiloso do que o perfil PBAC - ARV (o contraste torna-se menos nítido na medida em que a proporção da argila do fundo matricial aumenta). Os horizontes sobrejacentes claros não apresentaram esses revestimentos (Figuras 13 e 14) (APÊNDICES G e H) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980).

Os revestimentos apresentaram uma coloração amarelada/alaranjada com diferentes níveis de escurecimento (níveis de limpidez), bem como uma tessitura interna (*internal fabric*) microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (confirmada pela presença das linhas de extinção nítidas ou difusas com os polarizadores cruzados), o que corrobora a ocorrência sequencial das etapas da dispersão, transporte mecânico e deposição da matéria orgânica, argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro indissociadamente. A matéria orgânica é o componente responsável pelos diferentes níveis de escurecimento (níveis de limpidez), os argilominerais são os componentes responsáveis pela tessitura interna peculiar e os óxidos/oxihidróxidos do ferro são os componentes responsáveis pela coloração amarelada/alaranjada (supõe-se que as formas oxidadas do ferro predominavam, sendo pouco expressiva ou desprezível a formação dos complexos organometálicos na solução do solo). A frequência desses revestimentos associados aos poróides do tipo fissura entre os agregados, apresentando uma continuidade excepcional em várias direções foram condizentes com os horizontes subsuperficiais escurecidos e as feições escuras observadas *in-situ* ao nível da macromorfologia. Os preenchimentos (um tipo de feição pedológica textural) incompletos densos com uma coloração amarelada/alaranjada constituídos dos mesmos materiais também foram identificados (Figuras 13 e 14) (APÊNDICES G e H) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Outros atributos micromorfológicos constatados no horizonte BA do perfil PBAC - SJP, e horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV respaldam a ocorrência sequencial das etapas da dispersão, transporte mecânico e deposição. Por exemplo, o grau de pedalidade fortemente desenvolvido, associado a uma microestrutura complexa em três níveis confirmam a conectividade expressiva do sistema poroso e a viabilidade dos fluxos preferenciais da água (neste sentido, destaca-se a presença

impressionante das fissuras entre os agregados, além dos canais transagregados) (Figuras 13, 14 e 15) (APÊNDICES A, C, G e H) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Refutando a hipótese de horizontes soterrados (retrabalhamento), as lâminas delgadas dos perfis PBAC - SJP (horizontes A1, A2, BA, Bt1 e Bt2) e PBAC - ARV (horizontes A2 BA1 e Bt) apresentaram uma homogeneidade do material grosso quanto ao grau de seleção, esfericidade e arredondamento (Figuras 13, 14 e 15) (APÊNDICES A, C, G e H) (Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Os revestimentos constatados nas lâminas delgadas dos horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PA - AUR e PBAC - AW foram incompatíveis com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais. No perfil PA - AUR, a frequência foi inferior no horizonte subsuperficial escurecido (Be) em relação aos demais horizontes (AB e BA). No perfil PBAC - AW, a frequência foi similar no horizonte subsuperficial escurecido (BA) em relação ao horizonte sobrejacente claro (AB). Neste perfil, a frequência dos revestimentos foi mais abundante no sub-horizonte Bt1. As evidências micromorfológicas foram condizentes com o escurecimento observado ao nível da macromorfologia, ou seja, os horizontes subsuperficiais escurecidos apresentaram um fundo matricial homogeneamente escuro, enquanto os horizontes sobrejacentes claros apresentaram um fundo matricial homogeneamente claro. Refutando a hipótese de horizontes soterrados (retrabalhamento), as lâminas delgadas dos perfis PA - AUR (horizontes AB, BA e Be) e PBAC - AW (horizontes AB, BA e Bt1) apresentaram uma homogeneidade do material grosso quanto ao grau de seleção, esfericidade e arredondamento (APÊNDICES D e E) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

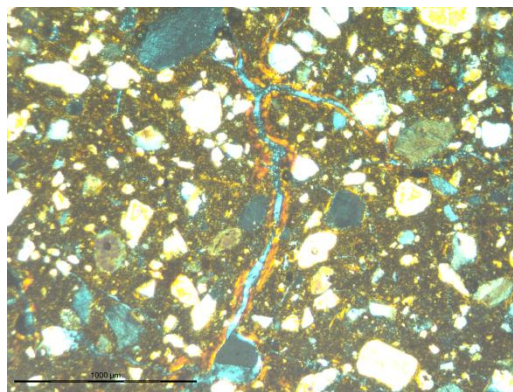
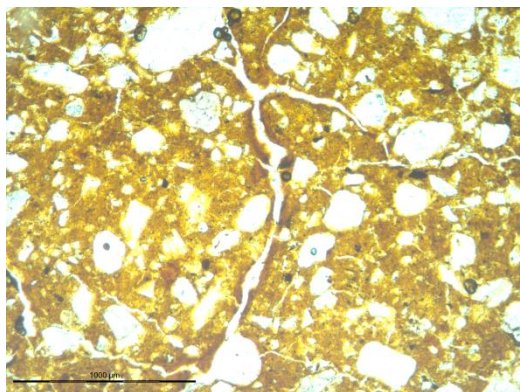
O horizonte subsuperficial escurecido do perfil PBAC - RS não apresentou os revestimentos ao nível da micromorfologia, tampouco as manchas escuras e revestimentos escurecidos na superfície dos agregados ao nível da macromorfologia. Complementarmente, algumas discrepâncias em relação ao material grosso foram identificadas nas lâminas delgadas dos horizontes A1, A2, 2BA1, 2Bt e 2BC, respaldando a hipótese de ser um horizonte soterrado (retrabalhamento). Por exemplo, o grau de seleção, esfericidade e arredondamento

variavam abruptamente nas proximidades do horizonte subsuperficial escurecido (2BA1), além disso, um nódulo pseudomórfico anórtico (plintita com uma tessitura interna diferente em relação ao fundo matricial adjacente) com dimensões relativamente grandes foi encontrado nos horizontes A1 e 2BA1. A natureza alóctone (retrabalhamento) desses nódulos pode ser confirmada pela presença marcante das porções descoloridas no fundo matricial (um tipo de feição pedológica de depleção), adjacientemente aos nódulos impregnativos “pseudomorfizando” o próprio fundo matricial (um tipo de feição pedológica amorfa) (o que indica a ocorrência de um processo contemporâneo da plintitização), abaixo dos horizontes subsuperficiais escurecidos (APÊNDICE B) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

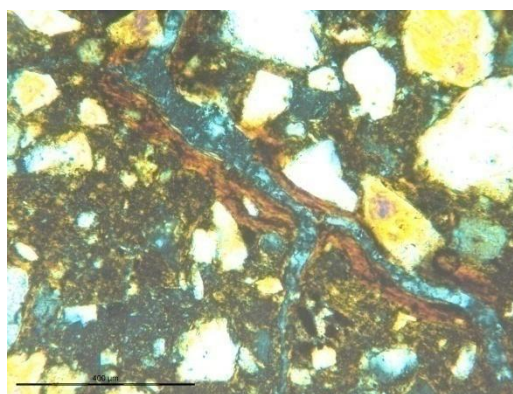
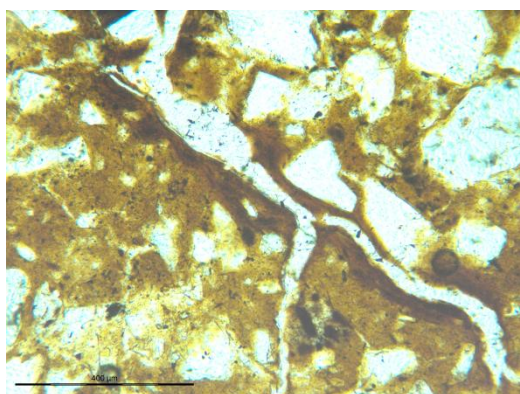
Nos perfis PBAC - ARV e PBAC - AW, a cerosidade e as superfícies foscas observadas ao nível da macromorfologia parecem estar relacionadas aos revestimentos e às tessituras birrefringentes (*birefringence fabrics* ou *b-fabrics*) (argilominerais reorientados no próprio fundo matricial) observados ao nível da micromorfologia. Quanto ao perfil PA - AUR, a cerosidade e as superfícies foscas observadas ao nível da macromorfologia parecem estar relacionadas basicamente às tessituras birrefringentes observadas ao nível da micromorfologia, neste caso, em virtude da pedoturbação (argiloturbação) resultante dos ciclos alternados da contração e expansão (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980).

Figura 13 — Feições escurecidas observadas ao nível da micromorfologia em lâmina delgada do horizonte BA do perfil PBAC - SJP.

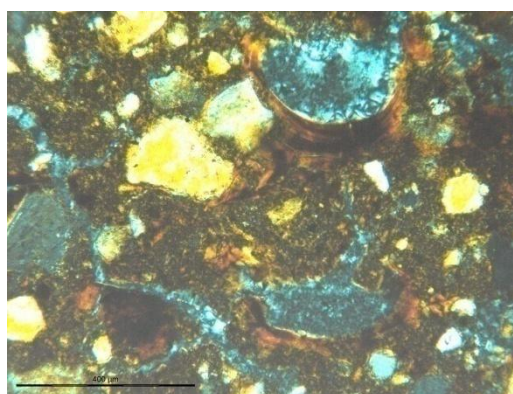
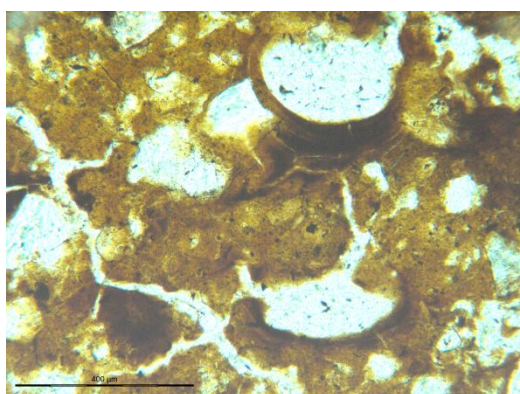
Magnificação de 40x, barra horizontal de 1000 μm



Magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



Magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm

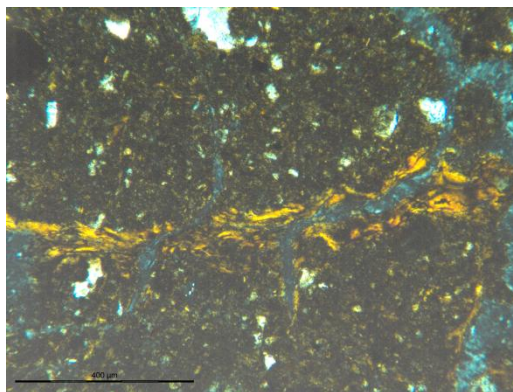
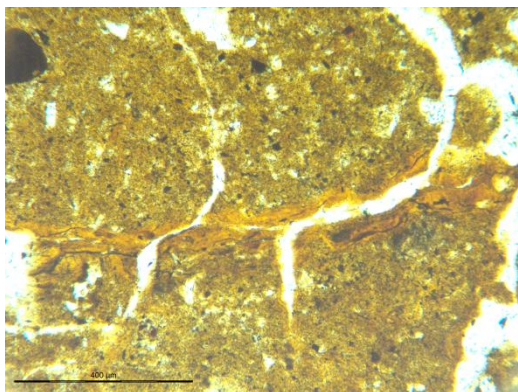


As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

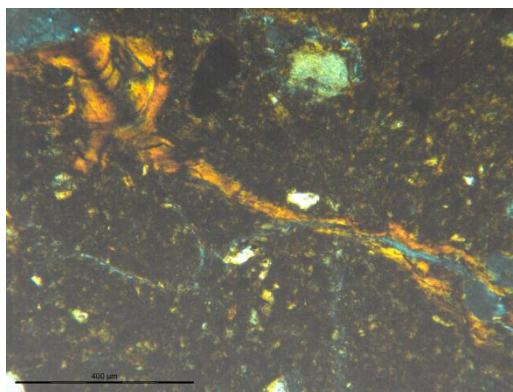
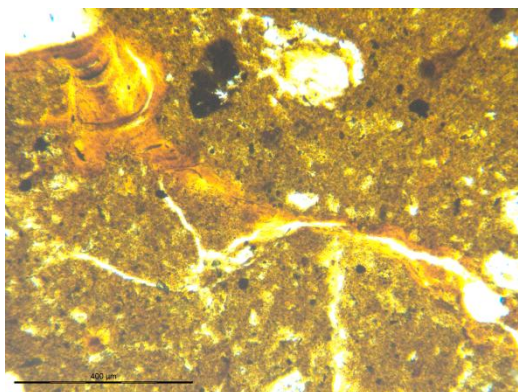
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 14 — Feições escurecidas observadas ao nível da micromorfologia em lâmina delgada do horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV.

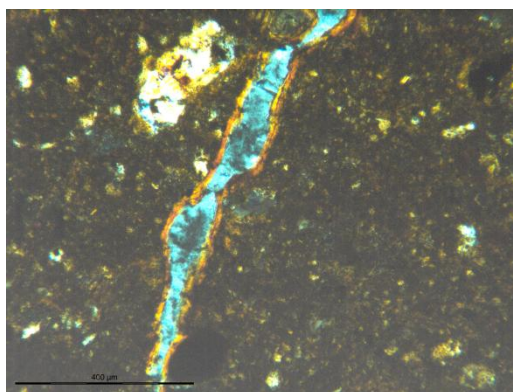
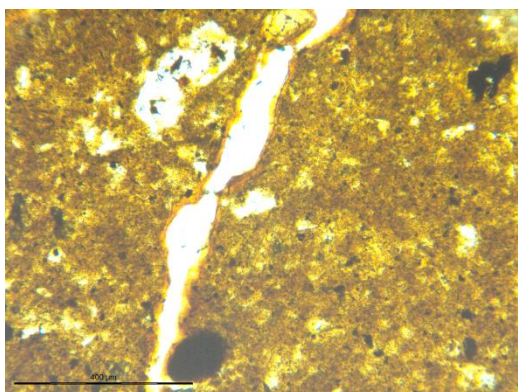
Magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



Magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



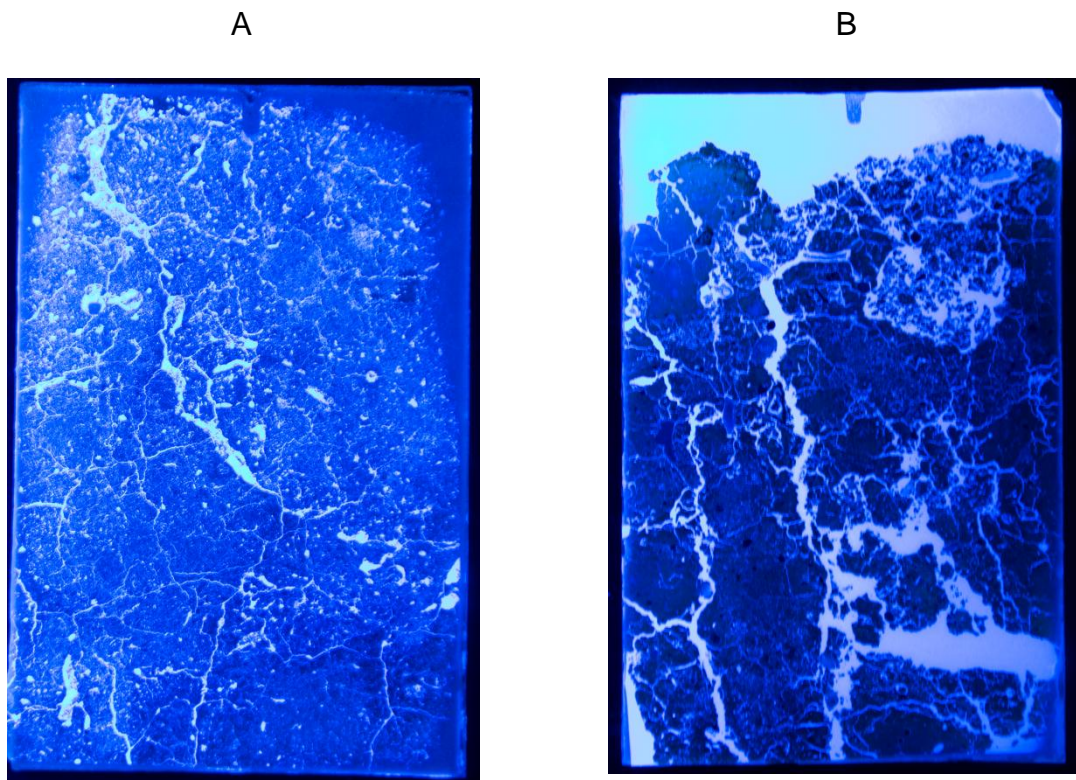
Magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 15 — Fotos abrangendo integralmente as lâminas delgadas do horizonte BA do perfil PBAC - SJP (A), bem como do horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV (B). Cada lâmina de vidro possui as dimensões de 75 X 50 X 1,85 mm. Amostras orientadas e com a estrutura preservada.



Os poróides ficaram destacados em resposta à luz ultravioleta em razão da presença do pigmento fluorescente que foi utilizado na impregnação das amostras.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.1.2 Caracterização básica dos solos

6.1.2.1 Atributos mineralógicos

Os cinco solos avaliados nesta tese apresentaram uma assembléia de argilominerais distribuída uniformemente em profundidade (sem descontinuidade ao longo do perfil). A mineralogia dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV mostrou-se compatível com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente, destacando-se a presença dos argilominerais com as camadas do tipo 2:1 (montmorilonita no caso do perfil PBAC - SJP, e vermiculita no caso do perfil PBAC - ARV), que em virtude da reatividade elevada são mais propensos à formação das associações com a matéria orgânica, e

em razão dos atributos intrínsecos como o tamanho dos cristais reduzido, densidade da carga elétrica negativa, área superficial específica elevada e expansibilidade são mais propensos à formação das dispersões coloidais estáveis. Todavia, a ocorrência sequencial das etapas da dispersão, transporte mecânico e deposição envolvendo a caulinita também é provável (APÊNDICES I, J, K, L e M) (Alperovitch et al., 1985; Bartoli et al., 1992; Buol e Hole, 1959 e 1961; Caillier e Visser, 1988; Chorom et al., 1994; Churchman et al., 1993; Curtin et al., 1994; D’Hoore, 1970; Dixit, 1978 e 1982; Dixit et al., 1975; Dong et al., 1983; Duchaufour, 1982; Durgin e Chaney, 1984; Essington, 2003; Frenkel et al., 1978, 1992a e 1992b; Furukawa et al., 2009; Gibbs, 1983; Goldberg e Forster, 1990; Goldberg et al., 1990; Gombeer e D’Hoore, 1971 e 1973; Gu e Doner, 1993; Gupta et al., 1984; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Kleber et al., 2007, 2010 e 2015; Kosmas e Moustakas, 1990; Kretzschmar et al., 1993 e 1997; Marchuk et al., 2013; Mel’nikova e Kovenya, 1971; Mortland, 1986; Narkis e Rebhun, 1975 e 1997; Nelson e Oades, 1998; Nelson et al., 1999; Nguyen et al., 2013; Oades, 1984; O’Melia, 1989; Oster et al., 1980; Piccolo e Mbagwu, 1989 e 1994; Rowell et al., 1969; Scharpenseel e Kruse, 1972; Schnitzer, 1986; Shainberg e Letey, 1984; Shainberg et al., 1980; Shanmuganathan e Oades, 1983; Souchier e Duchaufour, 1969; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Suarez et al., 1984; Tarchitzky et al., 1993; Tessens, 1984; Theng, 1976, 1979 e 2012; Tombácz et al., 1984, 1998 e 2004; Visser e Caillier, 1988; Wershaw, 1986; Wershaw et al., 1995, 1996a e 1996b; Yuan e Theng, 2012).

Os horizontes A2, BA, Bt1 e Bt2 do perfil PBAC - SJP apresentaram uma mineralogia constituída por algum argilomineral do grupo das esmectitas (reconhecida como a montmorilonita a partir de agora) (confirmada pelos picos nas posições entre 1,60 e 1,50 nm após o tratamento com o magnésio, associados aos picos nas posições entre 1,80 e 1,60 nm após o tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol), montmorilonita mais os polímeros amorfos do alumínio entre camadas (confirmada pela ausência da contração completa dos picos nas posições em torno de 1,00 nm após o tratamento com o potássio a 500 °C, associada a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais baixos), caulinita e caulinita interestratificada com a montmorilonita (confirmada pelos picos nas posições entre 0,75 e 0,73 nm após os tratamentos com o potássio e o magnésio, associados a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais baixos), e illita (confirmada pelos picos nas posições entre 1,04 e 0,99 nm no tratamento com o magnésio, bem como

no tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol) (APÊNDICE I) (Borchardt, 1989; Dixon, 1989; Dixon e Weed, 1989; Douglas, 1989; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Schulze, 1989).

Os horizontes A2, BA1, BA2 e Bt do perfil PBAC - RS, assim como os horizontes AB, BA, Be e Bi do perfil PA - AUR apresentaram uma mineralogia similar em relação ao perfil PBAC - SJP (APÊNDICES I, J e L), enquanto os perfis PBAC - ARV e PBAC - AW apresentaram uma mineralogia um pouco diferente.

Quanto ao perfil PBAC - ARV, os horizontes A2, BA1, BA2 e Bt apresentaram uma mineralogia constituída pela caulinita e caulinita interestratificada com a vermiculita (confirmada pelos picos nas posições entre 0,74 e 0,73 nm após os tratamentos com o potássio e o magnésio, associados a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais baixos), vermiculita (confirmada pelos picos nas posições entre 1,50 e 1,40 nm no tratamento com o magnésio, bem como no tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol), vermiculita com os polímeros amorfos do alumínio entre camadas (confirmada pela ausência da contração completa dos picos nas posições em torno de 1,00 nm após o tratamento com o potássio a 500 °C, associada a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais baixos), e illita (confirmada pelos picos nas posições entre 1,04 e 1,00 nm no tratamento com o magnésio, bem como no tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol) (APÊNDICE K) (Borchardt, 1989; Dixon, 1989; Dixon e Weed, 1989; Douglas, 1989; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Schulze, 1989).

Quanto ao perfil PBAC - AW, os horizontes A2, AB, BA e Bt1 do perfil apresentaram uma mineralogia constituída pela caulinita e caulinita interestratificada com minerais 2:1 (confirmada pelos picos nas posições entre 0,73 e 0,72 nm após os tratamentos com o potássio e o magnésio, associados a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais baixos), illita (confirmada pelos picos nas posições entre 1,06 e 1,01 nm no tratamento com o magnésio, bem como no tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol), illita interestratificada com outros minerais 2:1 (confirmada pelos picos largos no tratamento com o magnésio, bem como no tratamento com o magnésio mais o etileno-glicol), e minerais 2:1 com os polímeros amorfos do alumínio entre camadas (confirmada pela ausência da contração completa dos picos nas posições em torno de 1,00 nm após o tratamento com o potássio a 500 °C, associada a uma forte assimetria em direção aos ângulos mais

baixos) (APÊNDICE M) (Borchardt, 1989; Dixon, 1989; Dixon e Weed, 1989; Douglas, 1989; Fanning et al., 1989; Grim et al., 1937; Schulze, 1989).

6.1.2.2 Atributos físicos

Os horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW foram enquadrados nas classes granulométricas dos tipos argilo-arenosa, franco argilo-arenosa, argilosa, argilosa e argilosa, respectivamente. Quanto ao perfil PBAC - RS, as classes granulométricas apresentaram uma distribuição errática em profundidade, respaldando a hipótese de horizonte soterrado (retrabalhamento) (Quadro 2) (Asady e Whiteside, 1982; Cremeens e Mokma, 1986; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005; Soil Survey Staff, 2014).

Os perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV foram os únicos que apresentaram os atributos físicos compatíveis com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente, sendo condizentes com as evidências mineralógicas, macro e micromorfológicas discutidas previamente. A natureza iluvial dos horizontes subsuperficiais escurecidos foi corroborada pela distribuição em profundidade da proporção da argila (em uma quantidade suficientemente expressiva para caracterizar uma mudança textural abrupta), argila dispersa em água (confirmando a suscetibilidade elevada à dispersão), subfração argila fina, e índices I/E e AF:AG. Complementarmente, nas amostras especiais, os revestimentos escurecidos na superfície dos agregados, manchas escuras e supostos canais com preenchimentos escurecidos apresentaram as proporções mais elevadas da subfração argila fina em relação ao interior dos agregados ou áreas adjacentes (Figuras 16, 17, 18, 19 e 20) (Quadro 3).

Nos perfis PBAC - SJP e PA - AUR, algumas desuniformidades em profundidade foram detectadas por meio do fracionamento da areia, respaldando a hipótese de descontinuidades litológicas e/ou estratificação intrínseca do material de origem, porém abaixo dos horizontes subsuperficiais escurecidos. No perfil PBAC - RS, uma quebra da uniformidade das subfrações da areia foi detectada especificamente na transição do horizonte subsuperficial escurecido e o horizonte sobrejacente claro, respaldando a hipótese de horizonte soterrado (retrabalhamento)

(Figura 18) (Asady e Whiteside, 1982; Cremeens e Mokma, 1986; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

No perfil PBAC - RS, a quantificação em laboratório confirmou a presença de uma zona horizontal de cascalhos especificamente na transição do horizonte subsuperficial escurecido e o horizonte sobrejacente claro, confirmando o que foi constatado *in-situ* ao nível da macromorfologia e na lâmina delgada ao nível da micromorfologia, respaldando a hipótese de horizonte soterrado (retrabalhamento) (Figura 19) (Asady e Whiteside, 1982; Cremeens e Mokma, 1986; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Respaldando a hipótese de descontinuidades litológicas e/ou estratificação intrínseca do material de origem, os índices CPSD, AWI e UV apontaram uma quebra de uniformidade para o perfil PBAC - SJP, e os índices AWI e UV apontaram uma quebra de uniformidade para o perfil PA - AUR. Nos dois casos, na porção inferior do solo, porém abaixo do horizonte subsuperficial escurecido. Respaldando a hipótese de horizonte soterrado (retrabalhamento), o índice AWI apontou uma quebra de uniformidade especificamente na transição do horizonte subsuperficial escurecido e o horizonte sobrejacente claro no perfil PBAC - RS (Figura 20) (Asady e Whiteside, 1982; Cremeens e Mokma, 1986; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Considerando-se os atributos físicos dos cinco solos avaliados nesta tese, a origem da diferença textural vertical não pode ser explicada senão pela hipótese da causalidade múltipla proposta por Phillips (2004) (descontinuidade litológica, estratificação/variabilidade intrínseca do material de origem, ferrólise, erosão seletiva, fragmentação física, transformação química, dissolução e formação *in-situ*, lessivagem, entre outras causas) (Figuras 16, 17, 18, 19 e 20) (Quadro 3) (Buurman et al., 2004; Bishop et al., 1980; Bockheim e Hartemink, 2013; Bockheim, 2015; Brinkman, 1970 e 1977; Chartres, 1987; Chittleborough et al., 1984a, 1984b e 1984c; Elliott e Drohan, 2009; Feijtel et al., 1988; Gunal e Ransom, 2006; Hole e Nielsen, 1970; Karathanasis e Hajek, 1983; Krull et al., 2006; Muszyfaga e Kabala, 2015; Nettleton et al., 1969 e 1975; Oliveira et al., 2008; Phillips, 2001 e 2004; Phillips e Lorz 2008; Rebertus et al., 1986; Rostad et al., 1976; Sauer et al., 2009; Schaetzl, 1998; Smeck et al., 1968; Vliet-Lanoë, 1990; Walker e Chittleborough, 1986; Wambeke, 1992; Weindorf et al., 2015; Wilson, 1999; White e Riecken, 1955).

Phillips (2004) propôs esse modelo para explicar a formação da diferença textural vertical com base na participação combinada de vários processos que ocorrem em solos de uma forma ubíqua, contemporaneamente ou não, conforme segue: $TC_t = TC_0 + (C_{a+} - C_{a-}) + (F_{a-} - F_{a+}) + (F_{b+} - F_{b-}) + (C_{b-} - C_{b+})$, em que TC reflete o grau da diferença textural vertical em um determinado tempo (TC_t), considerando-se um ponto inicial (TC₀), as letras C e F representam os materiais grossos e finos, respectivamente, as letras a e b indicam os horizontes superficiais e subsuperficiais, respectivamente, e os sinais + e – significam os ganhos e perdas, respectivamente. A equação destaca a importância da condição herdada do material de origem (TC₀) sobre a magnitude da diferença textural vertical (Phillips, 2004).

É crucial ressaltar que os solos (especialmente quanto à diferença textural vertical) estão sujeitos às contingências históricas e espaciais, sendo impossível que dois ou mais locais diferentes tenham experimentado as mesmas histórias geológicas, climáticas, hidrológicas, bióticas etc. Em um determinado local, as contingências históricas estão relacionadas aos eventos intrínsecos, enquanto as contingências espaciais estão relacionadas às condições intrínsecas (Phillips, 1993, 1994, 2001 e 2004).

Quadro 2 — Classes granulométricas dos horizontes dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW (Soil Survey Staff, 2014).

Identificações		Classes granulométricas
PBAC - SJP	A1	franco arenosa
	A2	franco arenosa
	BA	argilo-arenosa
	Bt1	argilo-arenosa
	Bt2	franco argilo-arenosa
	BC	franco argilo-arenosa
	C	franco argilo-arenosa
PBAC - RS	A1	franco arenosa
	A2	franco arenosa
	2BA1	franco argilo-arenosa
	2BA2	argilo-arenosa
	2Bt	franco argilo-arenosa
	2BC	franco argilo-arenosa
PBAC - ARV	2C	franco arenosa
	A1	argilosa
	A2	argilosa
	BA1	argilosa
	BA2	argilosa
	Bt	argilosa
	BC	argilosa
PA - AUR	C	argilosa
	A	argilosa
	AB	argilosa
	BA	argilosa
	Be	argilosa
	Bi	argilosa
	BC1	argilosa
PBAC - AW	BC2	argilo-arenosa
	Cr	franco arenosa
	A1	franco argilo-arenosa
	A2	franco argilosa
	AB	argilosa
	BA	argilosa
	Bt1	argilosa
PBAC - AW	Bt2	argilosa
	C	argilosa

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 16 — Proporções da areia, silte, argila e argila dispersa na TFSE, grau de flocculação e razão silte:argila. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.

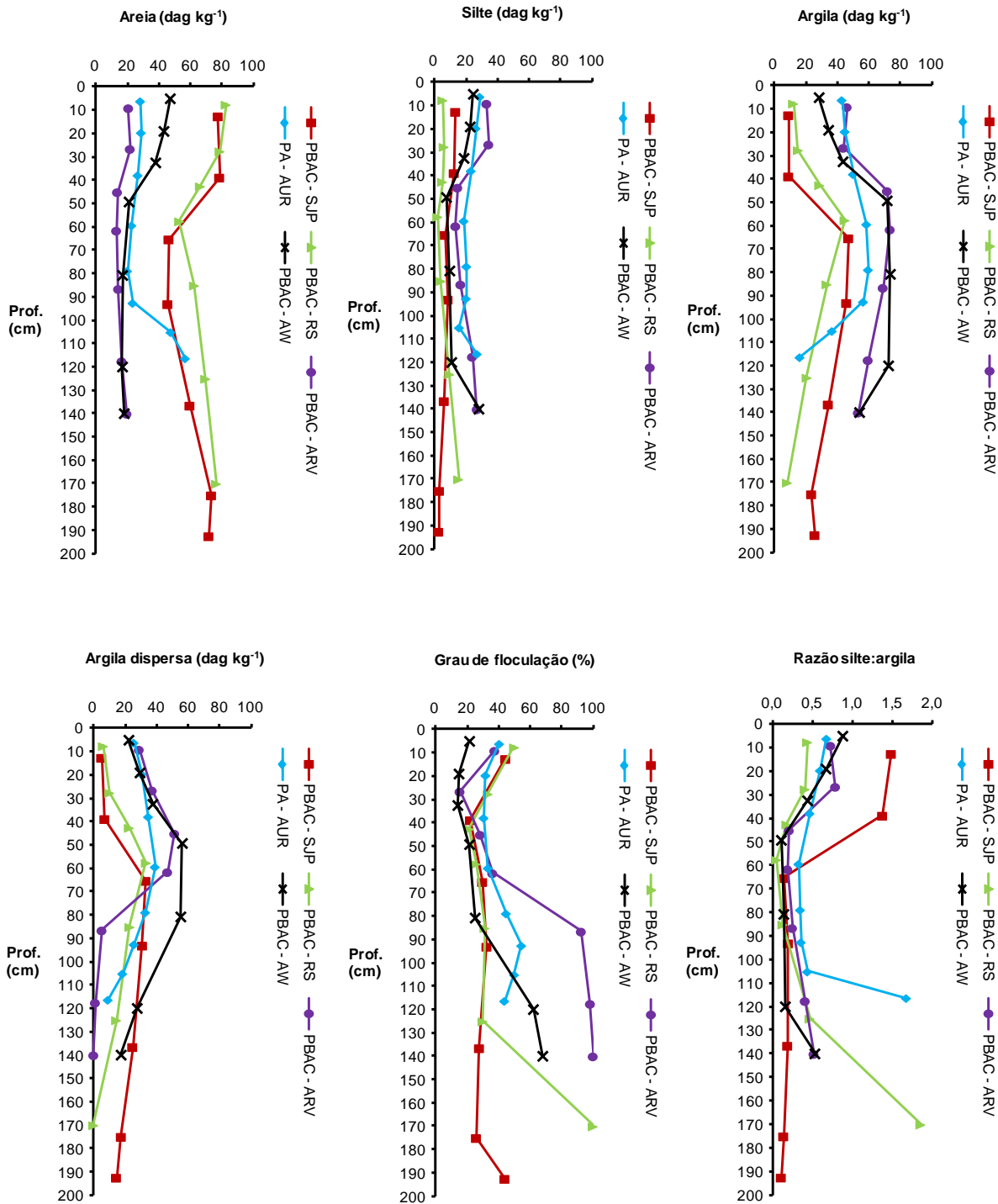
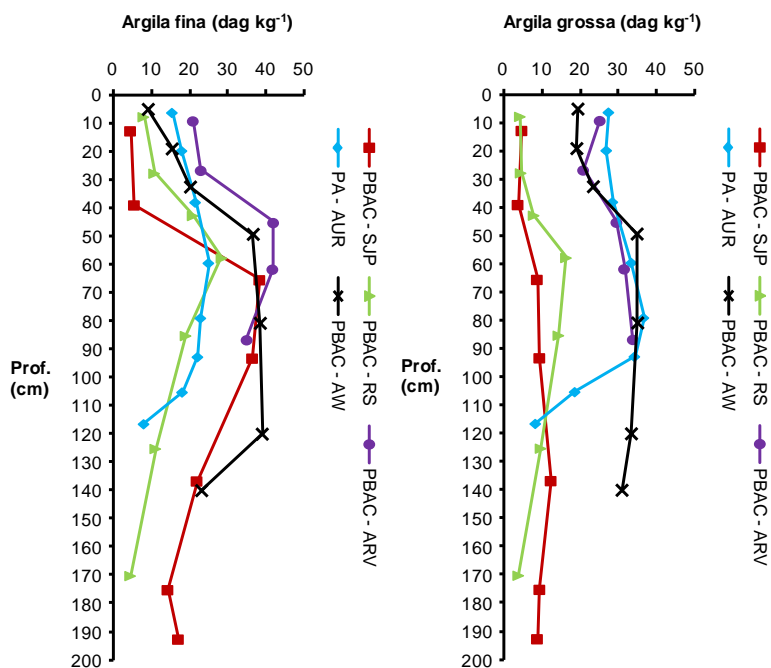


Figura 17 — Proporções das subfrações argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE (os cálculos estão descritos no APÊNDICE F, item 5.5.15). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2 e Bt; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 3 — Proporções das subfrações argila fina (AF) e argila grossa (AG) das amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		AF (%)	AG (%)
PBAC - SJP	Agreg1	70	30
	Revest1	71	29
	Agreg2	60	40
	Revest2	61	39
	Adjac	57	43
	Canais	59	41
PBAC - ARV	Adjac1	55	45
	Manch1	62	38
	Adjac2	54	46
	Manch2	69	31
	Agreg	44	56
	Revest	49	51

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supositos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

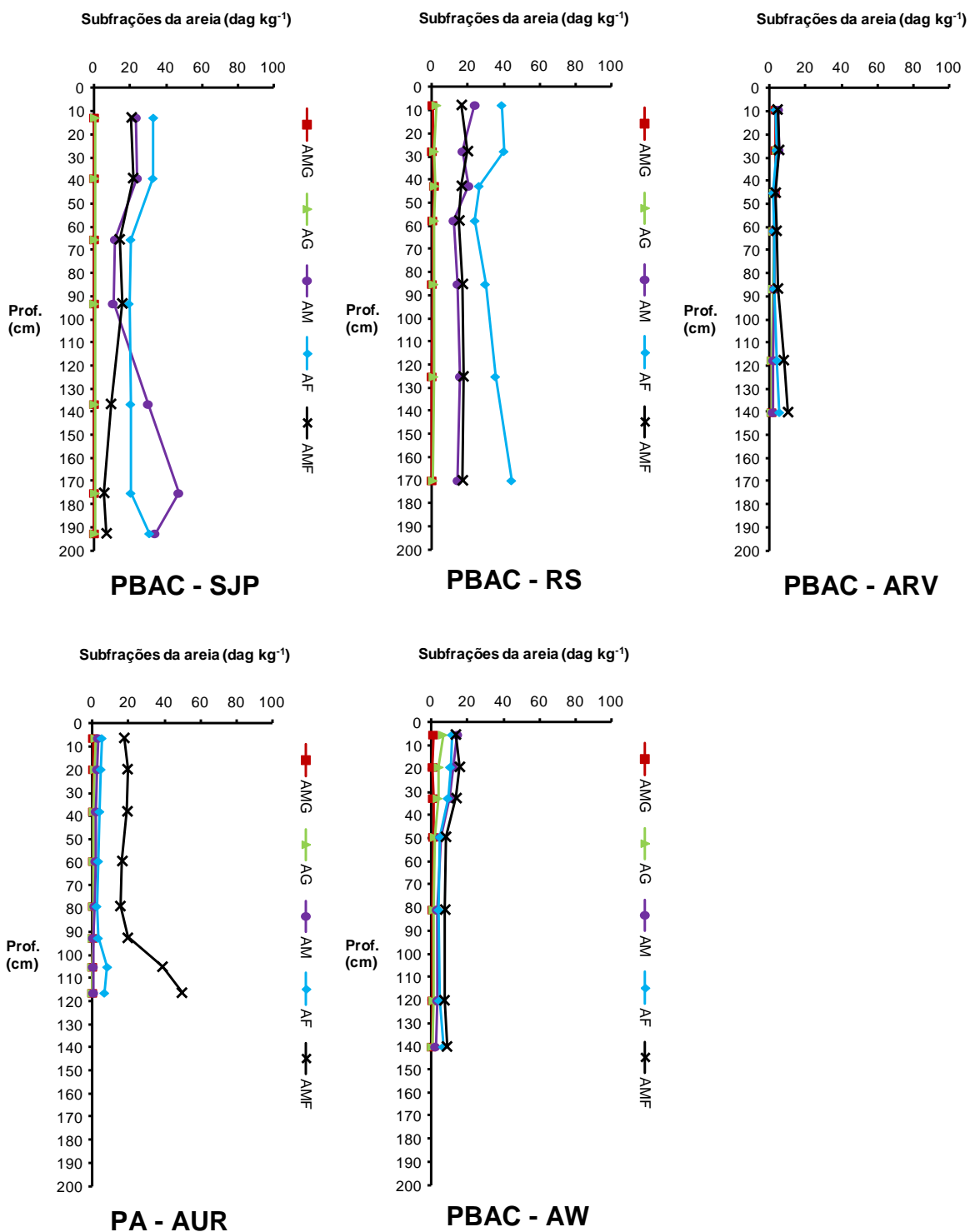
Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

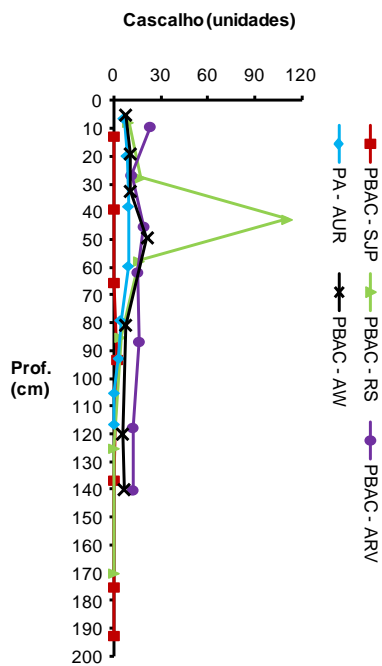
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 18 — Proporções das subfrações areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF) e areia muito fina (AMF) em relação à TFSE. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



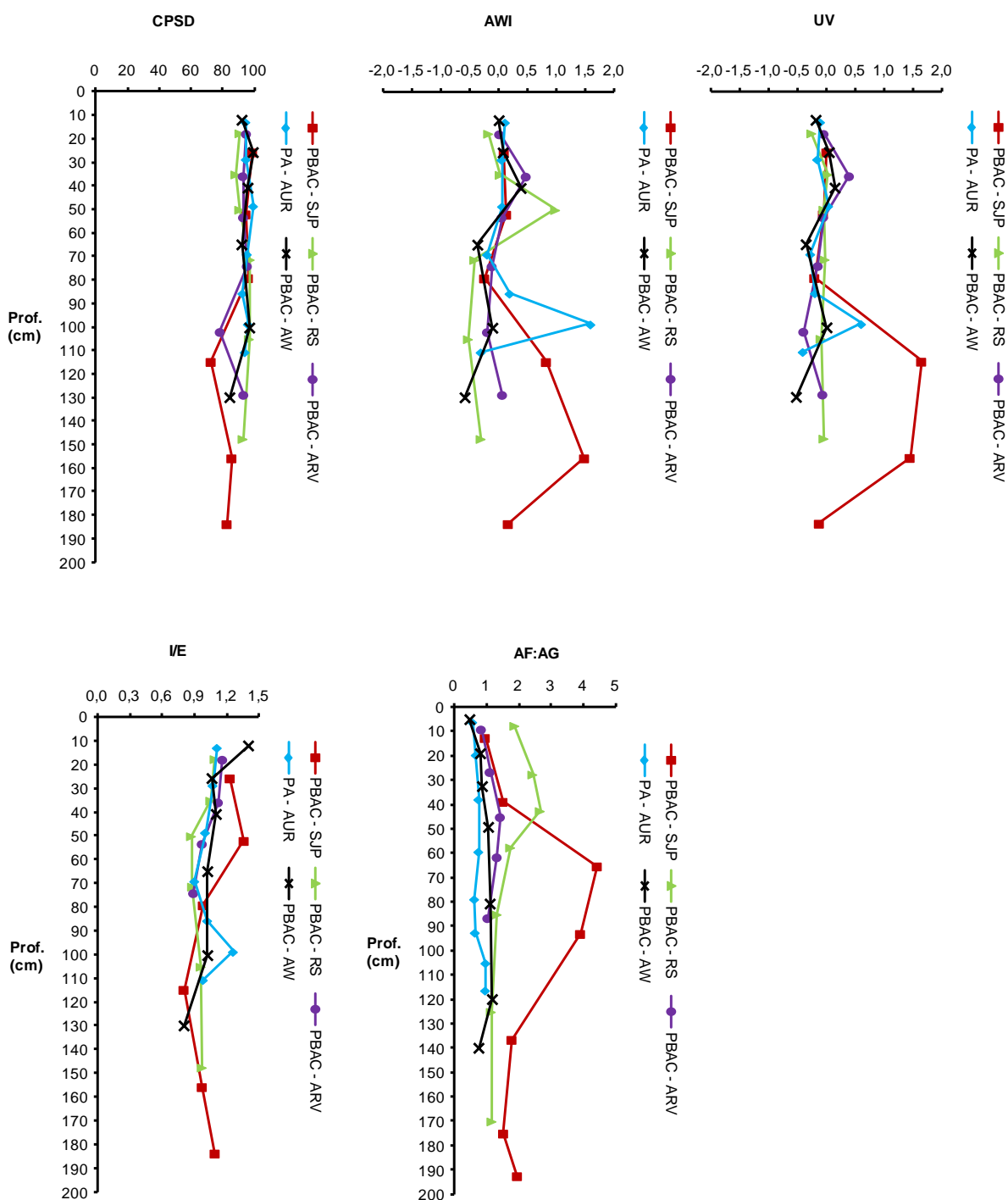
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 19 — Quantidade do cascalho. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 20 — Índices “comparação da distribuição dos tamanhos das partículas” (CPSD), índice de Asady-Whiteside (AWI), valor de uniformidade (UV), índice I/E (I/E) e razão argila fina:argila grossa (AF:AG). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.1.2.3 Atributos químicos

Em geral, as variações das proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 nas diferentes frações dos solos, bem como da razão Ti:Zr parecem estar intimamente relacionadas à diferença textural vertical, cuja natureza pode ser atribuída à causalidade múltipla (descontinuidade litológica, estratificação/variabilidade intrínseca do material de origem, ferrólise, erosão seletiva, fragmentação física, transformação química, dissolução e formação *in-situ*, lessivagem, entre outras causas) (Figuras 21, 22, 23, 24 e 25) (Quadros 2 e 4).

Os índices K_{FRX} e K_{rFRX} , e a CTC a pH 7 relativa à argila mostraram-se coerentes em relação à mineralogia identificada por meio da difratometria de raios X (Figura 26) (APÊNDICES I, J, K, L e M).

Provavelmente, a distribuição em profundidade dos teores do alumínio (extraídos pela solução do pirofosfato de sódio e solução do oxalato ácido de amônio) e ferro (extraídos pela solução do pirofosfato de sódio, solução do oxalato ácido de amônio e solução do citrato-ditionito de sódio) está relacionada à diferença textural vertical e às variações das proporções do Al_2O_3 e Fe_2O_3 nas diferentes frações dos solos, sem uma correlação aparente com algum processo de migração em profundidade, considerando-se que a mesma condição foi constatada nos cinco solos avaliados nesta tese (e não apenas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV) (Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27) (Quadros 2, 4 e 5).

Quanto ao *status* nutricional, todos os horizontes subsuperficiais escurecidos apresentaram os teores e saturação por bases baixos, reação ácida a moderadamente ácida, teores e saturação por alumínio trocável elevados, e CTC efetiva e CTC potencial intermediárias. Provavelmente, a distribuição em profundidade dos teores do alumínio trocável (extraídos pela solução do cloreto de potássio) também está relacionada à diferença textural vertical e às variações das proporções do Al_2O_3 nas diferentes frações dos solos, sem uma correlação aparente com algum processo de migração em profundidade, considerando-se que a mesma condição foi constatada nos cinco solos avaliados nesta tese (e não apenas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV). Em geral, os valores da condutividade elétrica foram relativamente baixos, e os valores do *delta* pH indicam a presença da carga líquida negativa (condição propícia à dispersão das partículas) (Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30) (Quadros 2, 4 e 5).

A distribuição em profundidade dos teores do alumínio e ferro constatada nesta tese foi similar em relação ao que foi observado em Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012), bem como no *Pedon* ID 84FN758003 (National Cooperative Soil Survey, NCSS), provavelmente como uma consequência da diferença textural vertical.

Os perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV foram os únicos que apresentaram os atributos relacionados à matéria orgânica do solo compatíveis com a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente, sendo condizentes com as evidências físicas, mineralógicas, macro e micromorfológicas discutidas previamente. A idade da matéria orgânica do horizonte BA do perfil PBAC - SJP (5170 ± 30 anos antes do presente), bem como do horizonte BA1 do perfil PBAC - ARV (6410 ± 30 anos antes do presente) sugere que os processos estão inativos atualmente (Figuras 31 e 32) (Quadros 6 e 7).

Os horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV apresentaram os teores do carbono orgânico total (TFSE, argila fina e argila grossa) superiores em relação aos horizontes sobrejacentes claros, similarmemente aos revestimentos escurecidos na superfície dos agregados, manchas escuras e supostos canais com preenchimentos escurecidos em relação ao interior dos agregados ou áreas adjacentes (Figuras 31 e 32) (Quadros 6 e 7). Esses resultados corroboram o papel da matéria orgânica do solo sobre a estabilização eletrostática e estérica das dispersões coloidais, bem como a complexação dos cátions polivalentes (impedindo a floculação das partículas), que são pré-requisitos fundamentais para a migração mecânica da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente (Buol e Hole, 1959 e 1961; Churchman et al., 1993; Dixit, 1978 e 1982; Dixit et al., 1975; Dong et al., 1983; Durgin e Chaney, 1984; Frenkel et al., 1992a e 1992b; Furukawa et al., 2009; Gibbs, 1983; Goldberg e Forster, 1990; Goldberg et al., 1990; Gombeer e D'Hoore, 1971; Gu e Doner, 1993; Gupta et al., 1984; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Kretzschmar et al., 1993 e 1997; Mel'nikova e Kovenya, 1971; Narkis e Rebhun, 1975 e 1997; Nguyen et al., 2013; Oades, 1984; O'Melia, 1989; Shanmuganathan e Oades, 1983; Souchier e Duchaufour, 1969; Tombácz et al., 1984, 1998 e 2004; Visser e Caillier, 1988).

Nos cinco solos avaliados nesta tese, especialmente nos horizontes subsuperficiais escurecidos, a importância das interações organominerais na proteção físico-química da matéria orgânica do solo foi corroborada pelos teores

elevados do carbono orgânico total nas subfrações argila fina e argila grossa em relação aos teores na TFSE, bem como pelos valores da razão C:N (≤ 10 na grande maioria dos casos) (Figuras 29, 31 e 32) (Quadros 3, 4, 5, 6 e 7) (Anderson e Paul, 1984; Baldock e Skjemstad, 2000; Christensen, 2001; Dungait et al., 2012; Eusterhues et al., 2003, 2005a e 2005b; Ewing et al., 2006; Kleber et al., 2010; Lehmann e Kleber, 2015; Lützow et al., 2006; Mikutta et al., 2006 e 2009; Müller e Höper, 2004; Rillig et al., 2007; Sparks, 2003; Sollins et al., 2006; Torn et al., 1997 e 2009; Veen e Kuikman, 1990; Wattel-Koekkoek et al., 2001 e 2003).

Quanto à composição da matéria orgânica do solo, os espectros da absorção de radiação na região do infravermelho (FTIR) sofreram muitas interferências de minerais, assim, as informações são pouco esclarecedoras. Contudo, todas as amostras apresentaram determinados picos nos comprimentos de onda de 1590 a 1500 cm^{-1} , o que confirma a presença dos compostos orgânicos nitrogenados, que são importantes na formação das associações entre a matéria orgânica e os argilominerais. A proporção da matéria orgânica leve em água foi expressiva apenas nos horizontes mais superficiais, independentemente do solo avaliado, indicando que os horizontes subsuperficiais escurecidos possuem uma matéria orgânica com um grau de decomposição mais avançado (o que é corroborado pelo estreitamento da razão C:N em profundidade, considerando-se apenas a TFSE). Os valores do $\delta^{13}\text{C}$ indicam um aumento do carbono 13 em profundidade para os perfis PBAC - ARV e PBAC - AW. No caso dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV, os valores do $\delta^{13}\text{C}$ dos horizontes subsuperficiais escurecidos foram condizentes com as feições escuras observadas *in-situ* ao nível da macromorfologia. Contudo, sem as informações do FTIR os resultados são inconclusivos quanto à hipótese de uma feição relíquia induzida por alterações climáticas (Figuras 33 e 34) (Quadro 8) (APÊNDICES N, O, P, Q e R) (ANEXO A).

Não existe qualquer indício de que os horizontes subsuperficiais escurecidos dos cinco solos avaliados nesta tese sofreram a influência do processo da podzolização (Anderson et al., 1982; Bourgault et al., 2015; Breemen e Buurman, 2002; Coninck, 1980; Coninck et al., 1974; Daly et al., 1982; Duchaufour, 1982; Farmer et al., 1980; IUSS Working Group WRB, 2015; Lundström e Öhman, 1990; Lundström et al., 1995, 2000a e 2000b; McKeague et al., 1983; Santos et al., 2013; Soil Survey Staff, 1975 e 2004; Wilson e Righi, 2010).

Contextualizando, nenhum perfil está localizado em uma condição de clima subártico ou alpino (que é um dos pré-requisitos para a formação dos Espodossolos zonais) ou foi formado a partir de um material de origem essencialmente quartzoso (que é um dos pré-requisitos para a formação dos Espodossolos azonais) ou apresentou uma condição de hidromorfismo condicionado pelo relevo (que é um dos pré-requisitos para a formação dos Espodossolos intrazonais). Nenhum perfil apresentou qualquer condição extrema de acidez, *status* nutricional ou frio ao ponto de inibir significativamente a atividade biológica do solo, tampouco algum tipo de vegetação propícia aos processos da acidólise, complexólise e queluviação, como as espécies *Tsuga canadensis*, *Agathis australis*, *Calluna vulgaris*, *Erica* sp. etc.

Quanto à caracterização física, os horizontes subsuperficiais escurecidos apresentaram uma granulometria franca ou mais fina, com mudança textural abrupta ou algum gradiente textural, diferentemente dos horizontes espódicos que apresentam uma granulometria exclusivamente arenosa ou franco arenosa, sem mudança textural abrupta ou algum gradiente textural.

Quanto à caracterização química, os horizontes subsuperficiais escurecidos apresentaram um poder tampão incompatível com o processo da podzolização (especialmente em relação à etapa da queluviação), em razão das proporções relativamente elevadas da argila, bem como dos teores do alumínio e ferro (considerando-se o alumínio extraído pela solução do cloreto de potássio, solução do pirofosfato de sódio e solução do oxalato ácido de amônio, além das proporções do Al_2O_3 na areia, silte e argila; e considerando-se o ferro extraído pela solução do pirofosfato de sódio, solução do oxalato ácido de amônio e solução do citrato-ditionito de sódio, além das proporções do Fe_2O_3 na areia, silte e argila). Diante do exposto, os critérios químicos de enquadramento dos materiais espódicos são problemáticos quando aplicados aos solos desta tese. De qualquer modo, nenhum perfil atendeu os critérios da edição original da *Soil Taxonomy*, tampouco os critérios da edição atual da *Keys to Soil Taxonomy* (estes critérios são idênticos em relação à WRB e SiBCS) (*Soil Taxonomy*: ou razão entre $\text{Fe}_p + \text{Al}_p$ (numerador) e argila (denominador) igual ou superior a 0,2, quando o teor do ferro extraível for igual ou superior a 0,1%; ou razão entre $\text{Al}_p + \text{C}$ (numerador) e argila (denominador) igual ou superior a 0,2, quando o teor do ferro extraível for inferior a 0,1%; *Keys to Soil Taxonomy*: $\text{Al}_{\text{ox}} + 0,5\text{Fe}_{\text{ox}}$ deve ser igual ou superior a 0,5 no horizonte iluvial, sendo no mínimo duas vezes superior em relação ao horizonte eluvial; valor da ODOE de

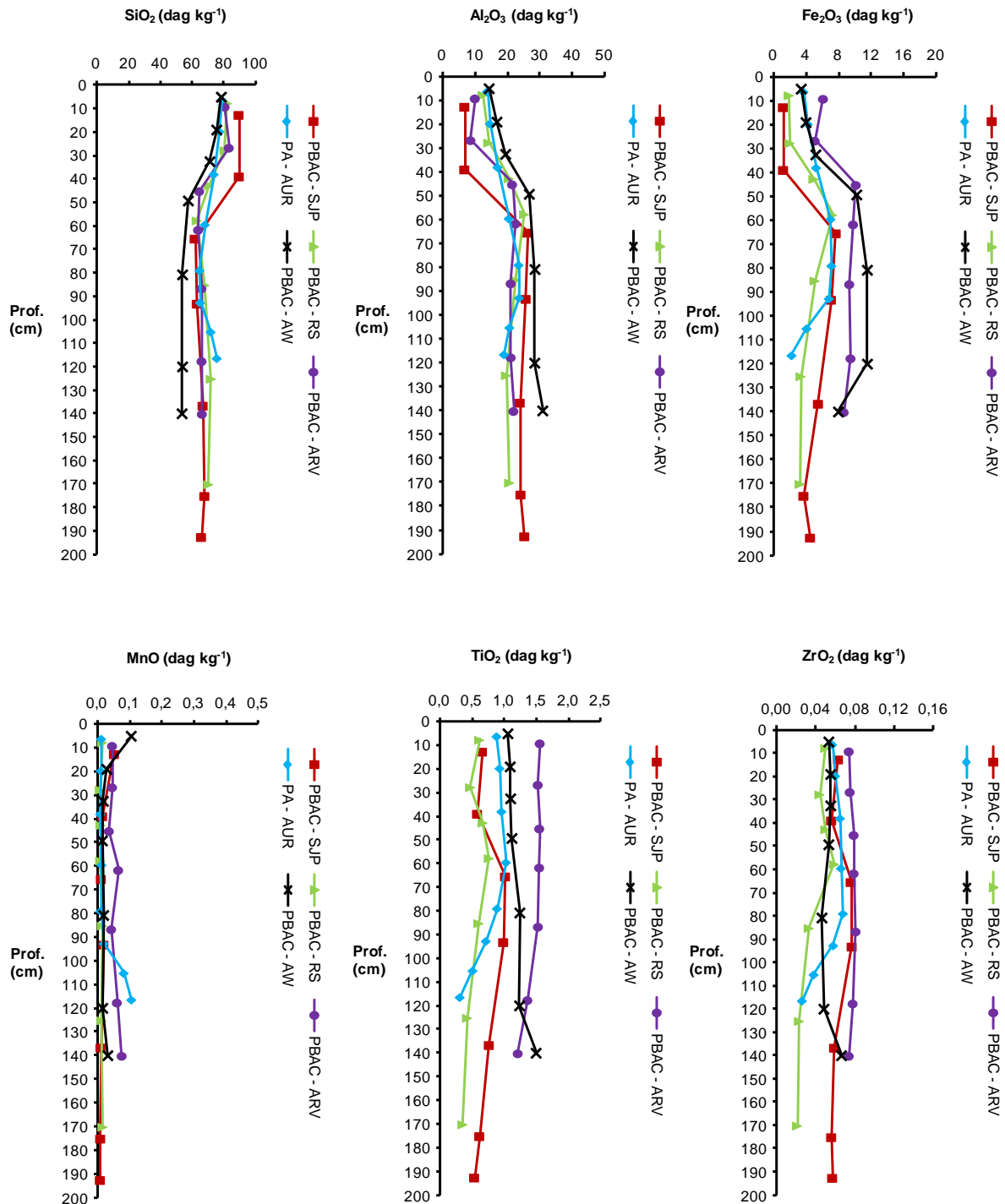
0,25 ou maior, sendo no mínimo duas vezes superior em relação ao horizonte eluvial).

Quanto à caracterização mineralógica da argila, os cinco solos apresentaram a mesma assembléia dos argilominerais, tanto nos horizontes subsuperficiais escurecidos quanto nos horizontes sobrejacentes claros, diferentemente dos Espodossolos que apresentam alguma diferença entre os horizontes espódicos e os horizontes sobrejacentes, geralmente álbicos (o que indica algum processo de destruição dos argilominerais).

Quanto à caracterização macromorfológica, os cinco solos apresentaram os horizontes subsuperficiais escurecidos similares em relação ao horizonte espódico Bh quanto ao valor e croma (baixos), porém nenhum perfil apresentou o horizonte álbico (que seria uma evidência contundente do processo da podzolização).

Quanto à caracterização micromorfológica, os atributos do fundo matricial e as feições pedológicas dos horizontes espódicos são completamente distintas em relação aos horizontes subsuperficiais escurecidos dos cinco solos avaliados nesta tese. Estes horizontes apresentaram o predomínio do material fino em relação ao material grosso, distribuição relacionada do tipo porfírica associada a uma microestrutura pedal (com exceção do horizonte 2BA1 do perfil PBAC - RS que apresentou uma microestrutura apedal massiva, porém não cimentada), matéria orgânica intimamente associada ao material fino mineral e feições pedológicas texturais. Divergentemente, os horizontes espódicos apresentam um predomínio amplo do material grosso em relação ao material fino (este corresponde basicamente à própria matéria orgânica do solo), distribuição relacionada dos tipos gefúrica ou quitônica (minoritariamente, enáulica nos casos em que está presente a matéria orgânica polimórfica, ou porfírica nos casos dos horizontes *ortstein* ou plácico em que está presente a matéria orgânica monomórfica), microestrutura apedal (massiva cimentada, grãos simples com pontes do material fino (distribuição relacionada gefúrica) ou grãos simples com películas do material fino (distribuição relacionada quitônica)), matéria orgânica polimórfica (na forma dos agregados entre o material grosso) ou monomórfica (na forma dos revestimentos sobre o material grosso) e feições pedológicas amorfas (formação da matéria orgânica monomórfica em razão da precipitação dos complexos organometálicos a partir de um estado de gel).

Figura 21 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 na TFSE, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 22 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 na areia, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.

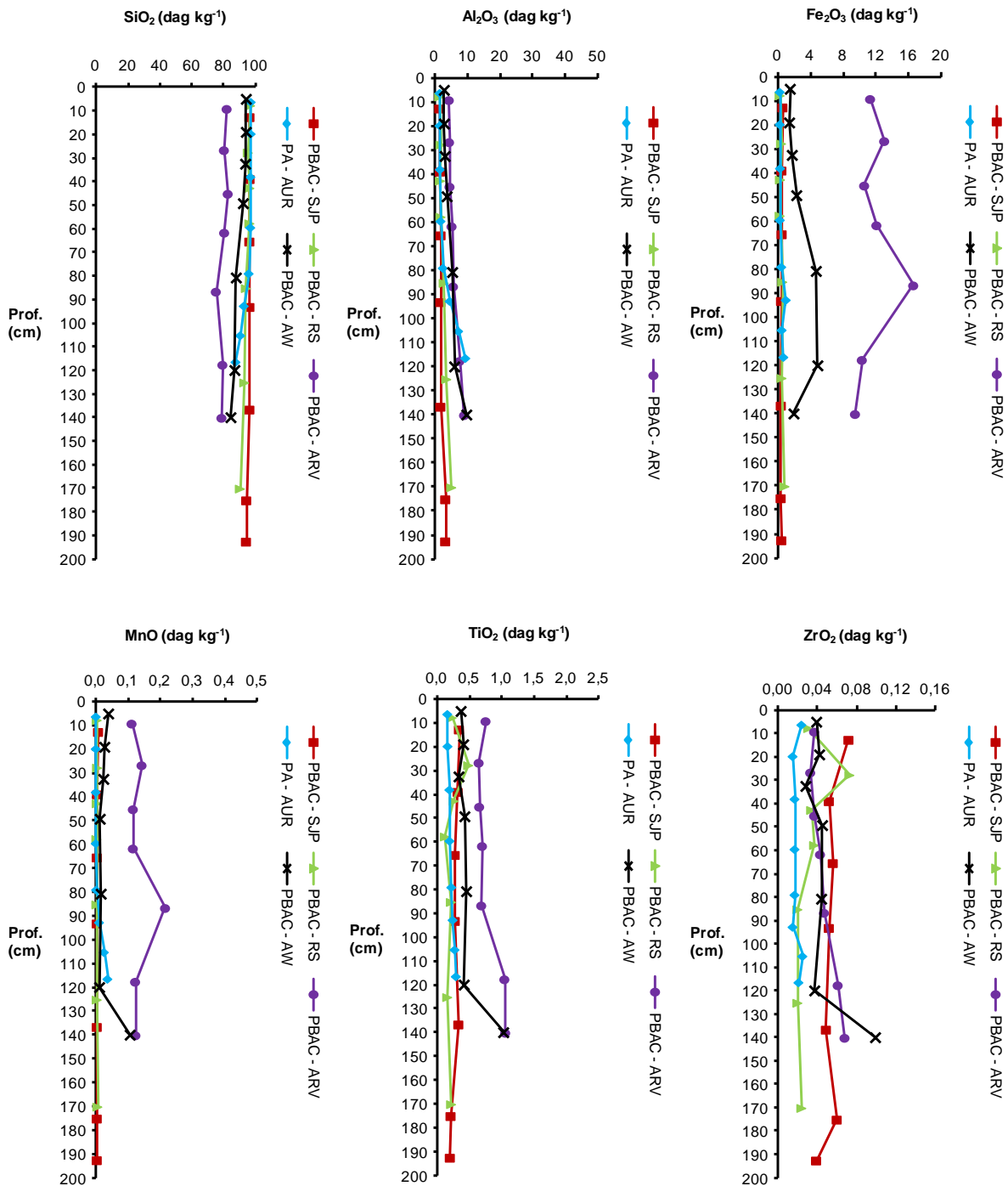
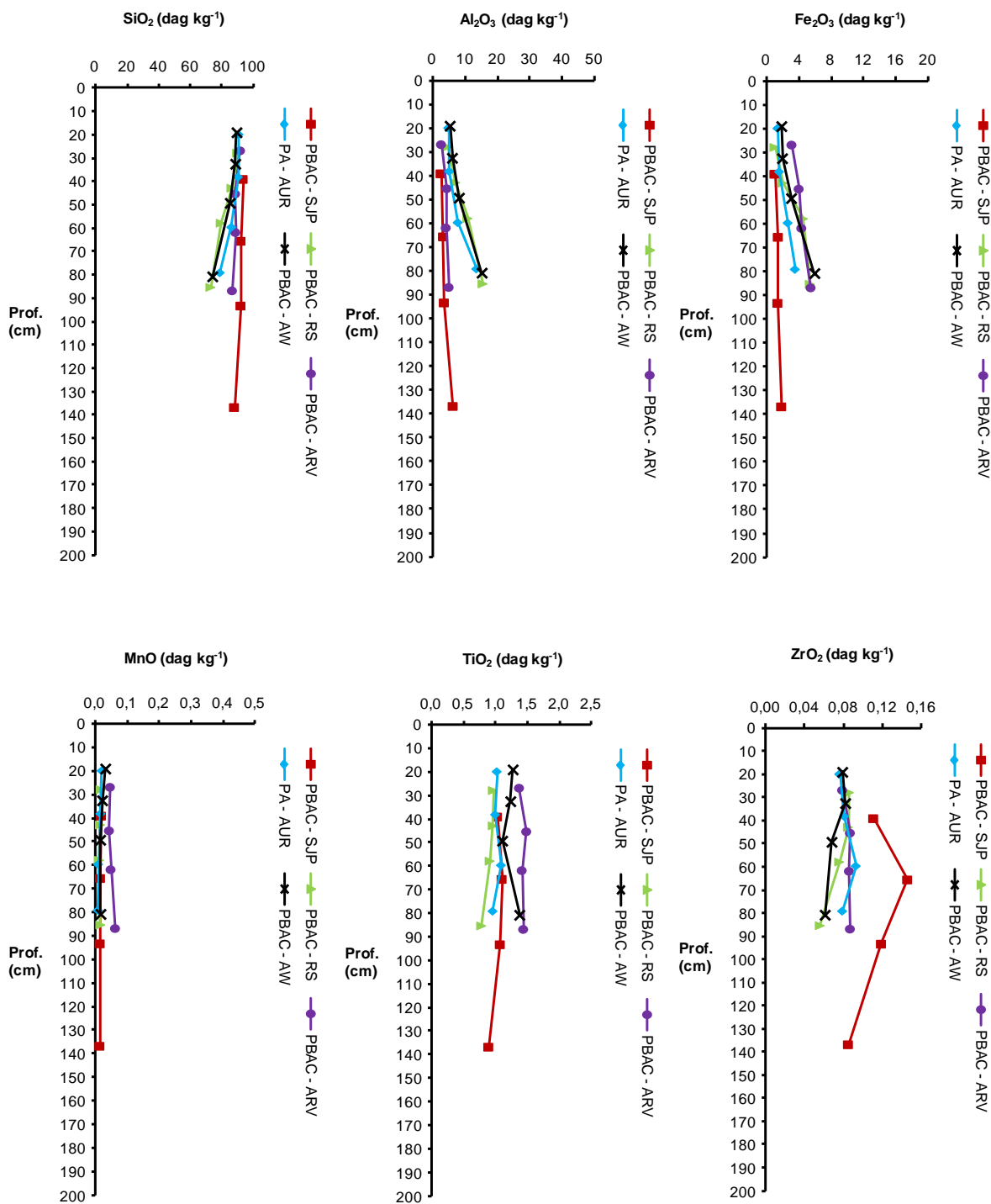
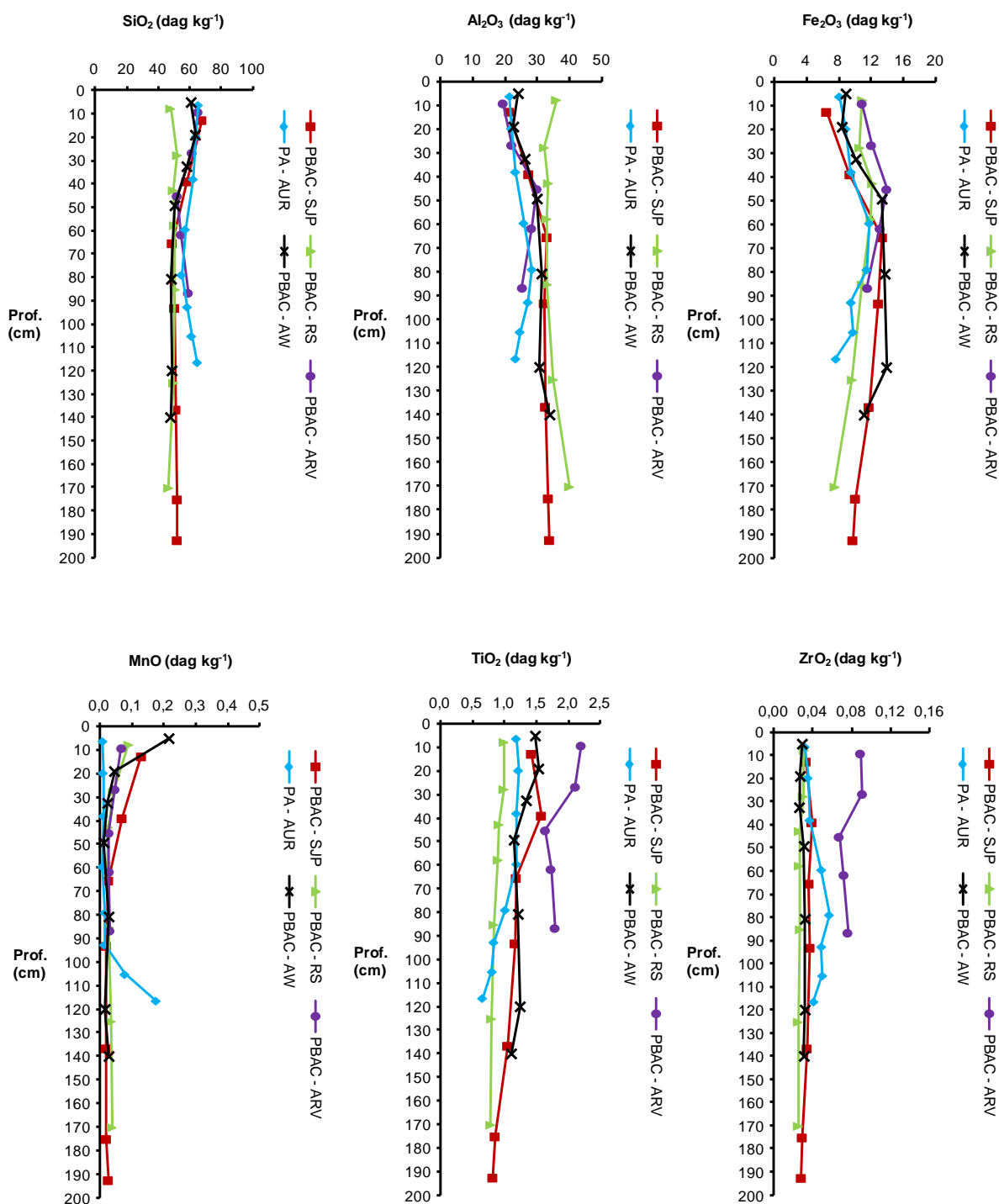


Figura 23 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 no silte, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



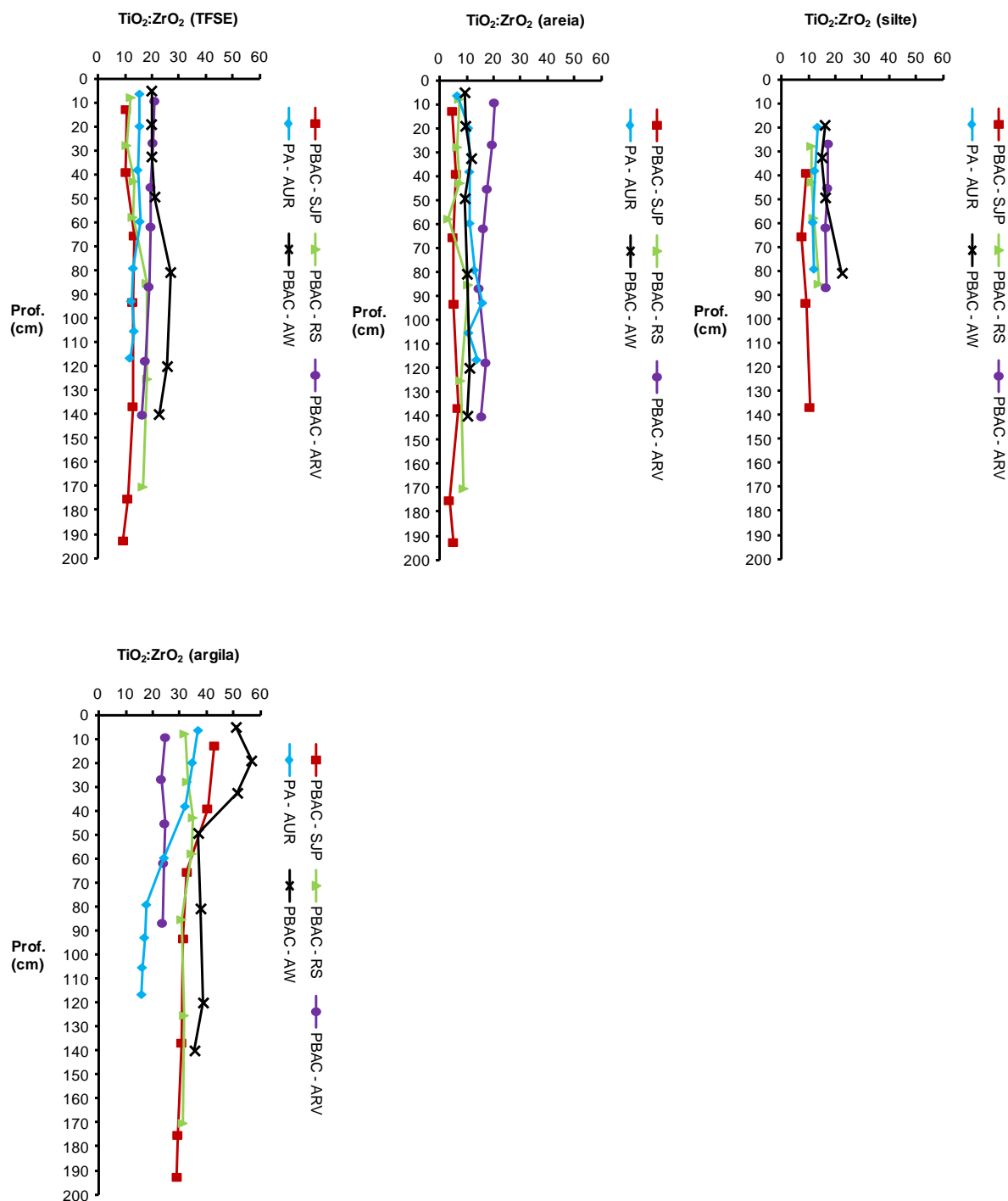
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 24 — Proporções do SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 e ZrO_2 na argila, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 25 — Razão $\text{TiO}_2:\text{ZrO}_2$ na TFSE, areia, silte e argila, mensurados por fluorescência de raios X. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 4 — Proporções do SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂ e ZrO₂ na TFSE, mensurados por fluorescência de raios X nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	ZrO ₂ (%)
PBAC - SJP	Agreg1	67,5	23,6	5,5	0,0	0,8	0,1
	Revest1	66,2	24,7	5,6	0,0	0,9	0,1
	Agreg2	69,9	22,6	4,1	0,0	0,6	0,0
	Revest2	69,9	23,0	3,7	0,0	0,6	0,0
	Adjac	71,1	22,4	3,0	0,0	0,3	0,0
	Canais	70,0	23,7	2,5	0,0	0,5	0,0
PBAC - ARV	Adjac1	67,1	20,5	9,1	0,0	1,5	0,1
	Manch1	61,5	24,8	10,2	0,0	1,4	0,1
	Adjac2	67,9	20,2	8,7	0,1	1,4	0,1
	Manch2	57,4	27,8	11,2	0,0	1,4	0,1
	Agreg	66,9	21,1	9,0	0,0	1,3	0,1
	Revest	67,1	21,3	8,6	0,0	1,4	0,1

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

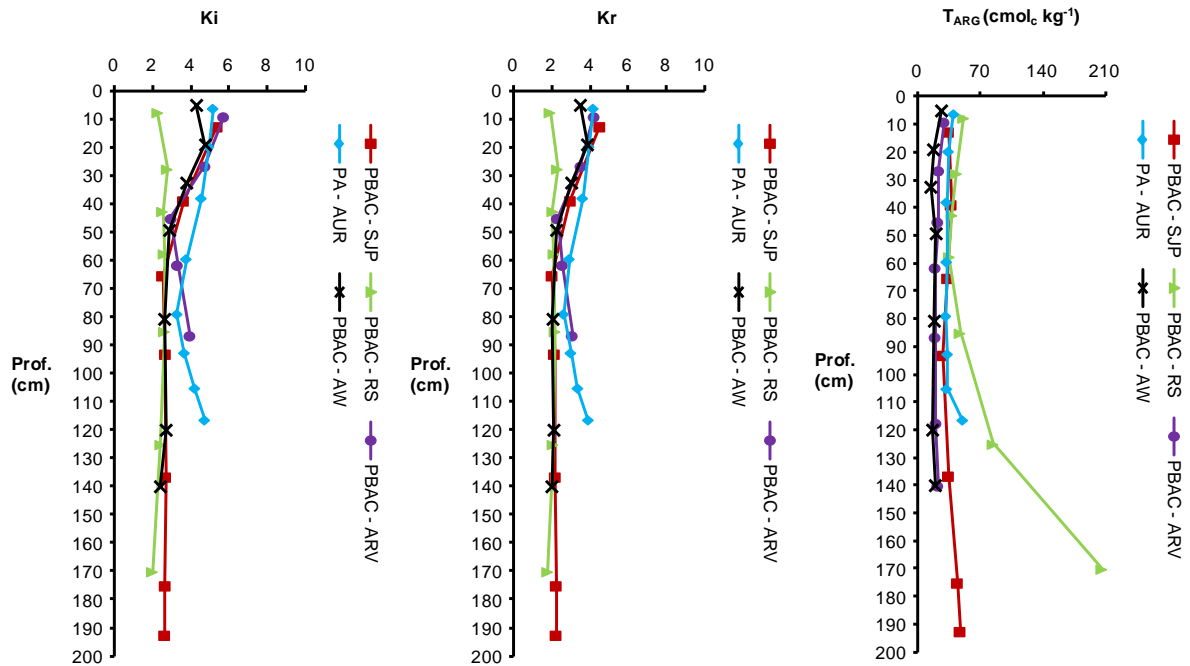
Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

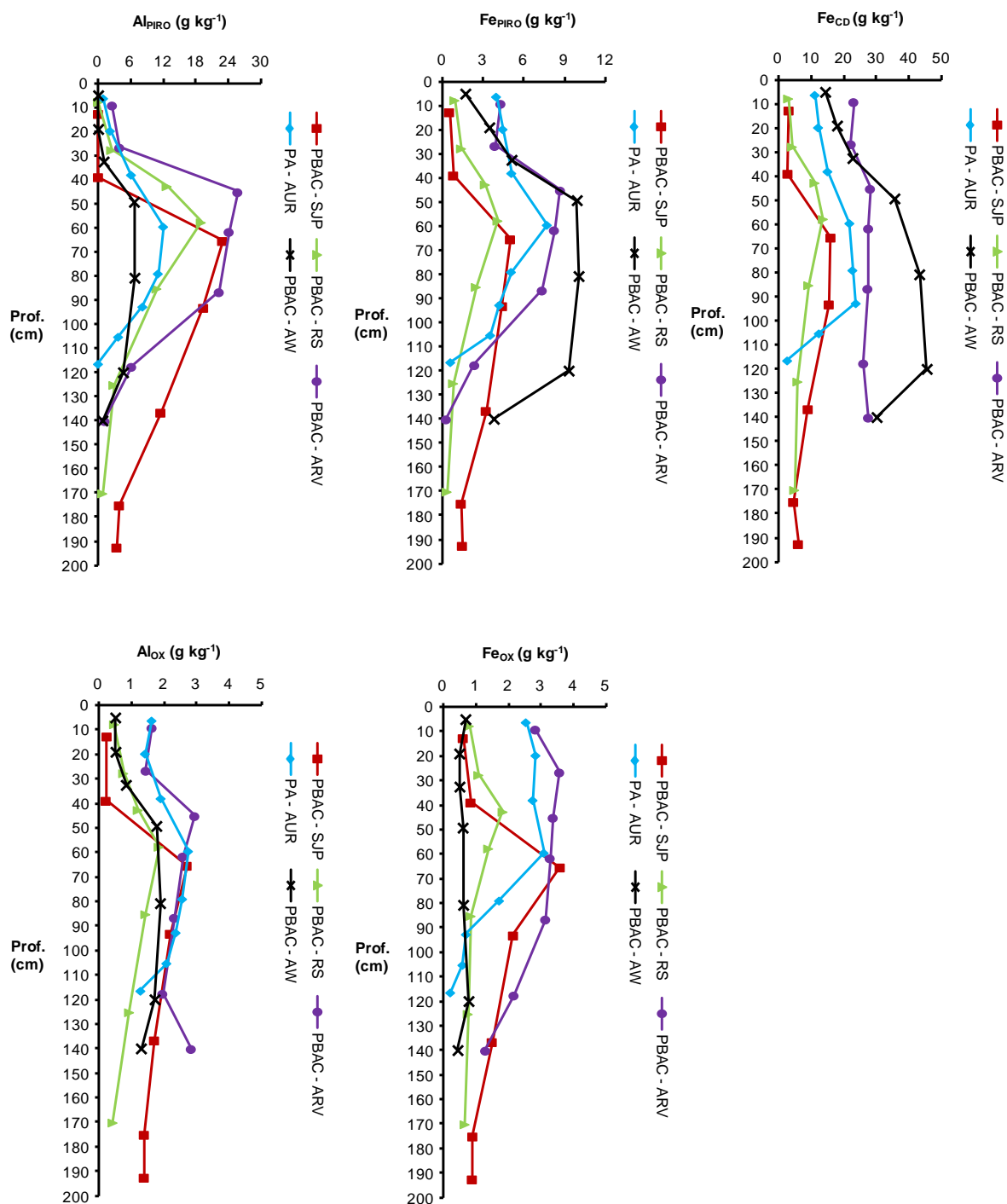
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 26 — Índices K_{iFRX} e K_{rFRX} , bem como a capacidade de troca de cátions a pH 7 relativa à argila (T_{ARG}). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 27 — Teores do alumínio (Al_{PIRO}) e ferro (Fe_{PIRO}) extraídos pela solução do pirofosfato de sódio, ferro (Fe_{CD}) extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio, e alumínio (Al_{OX}) e ferro (Fe_{OX}) extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Quadro 5 — Teores do alumínio (Al_{ox}) e ferro (Fe_{ox}) extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio, relação $\text{Al}+0,5\text{Fe}$ e ODOE nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		Al_{ox} (g kg ⁻¹)	Fe_{ox} (g kg ⁻¹)	$\text{Al}+0,5\text{Fe}$	ODOE
PBAC - SJP	Agreg1	2,0	0,9	0,25	0,07
	Revest1	2,1	0,8	0,25	0,08
	Agreg2	1,8	0,9	0,23	0,07
	Revest2	1,8	0,7	0,22	0,06
	Adjac	1,7	0,9	0,21	0,05
	Canais	1,8	0,5	0,20	0,08
PBAC - ARV	Adjac1	2,4	2,2	0,35	0,12
	Manch1	3,3	2,4	0,45	0,21
	Adjac2	2,3	1,8	0,32	0,11
	Manch2	4,2	1,7	0,51	0,22
	Agreg	2,2	2,1	0,32	0,08
	Revest	2,4	1,8	0,34	0,10

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 28 — pH em uma solução do KCl (pH-KCl), pH em água (pH-H₂O), *delta* pH (Δ pH) e condutividade elétrica (CE). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.

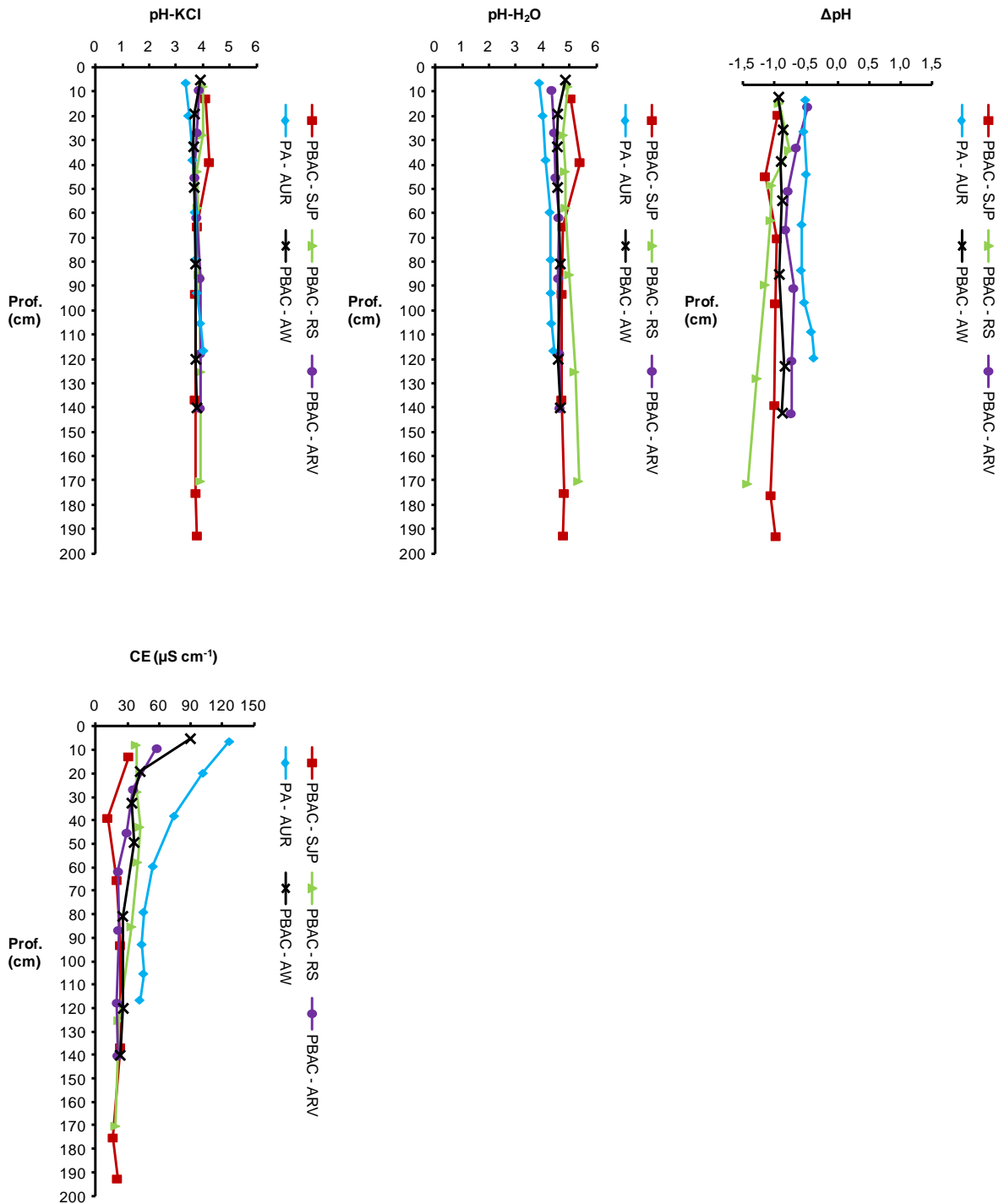
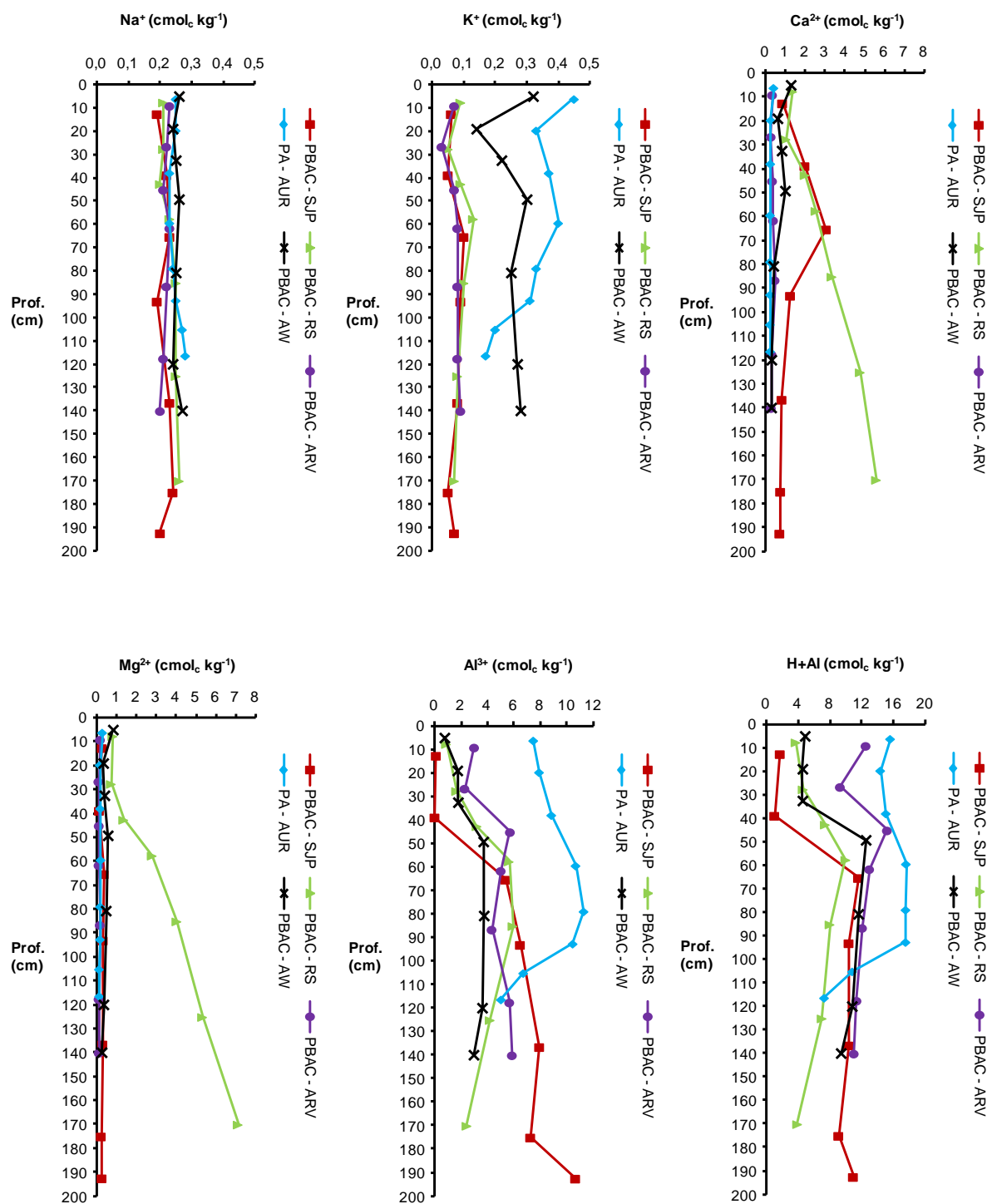


Figura 29 — Complexo sortivo: teores do Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+Al . Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 30 — Complexo sortivo: soma de bases (S), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7 (T), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V) e percentagem do sódio trocável (PST). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.

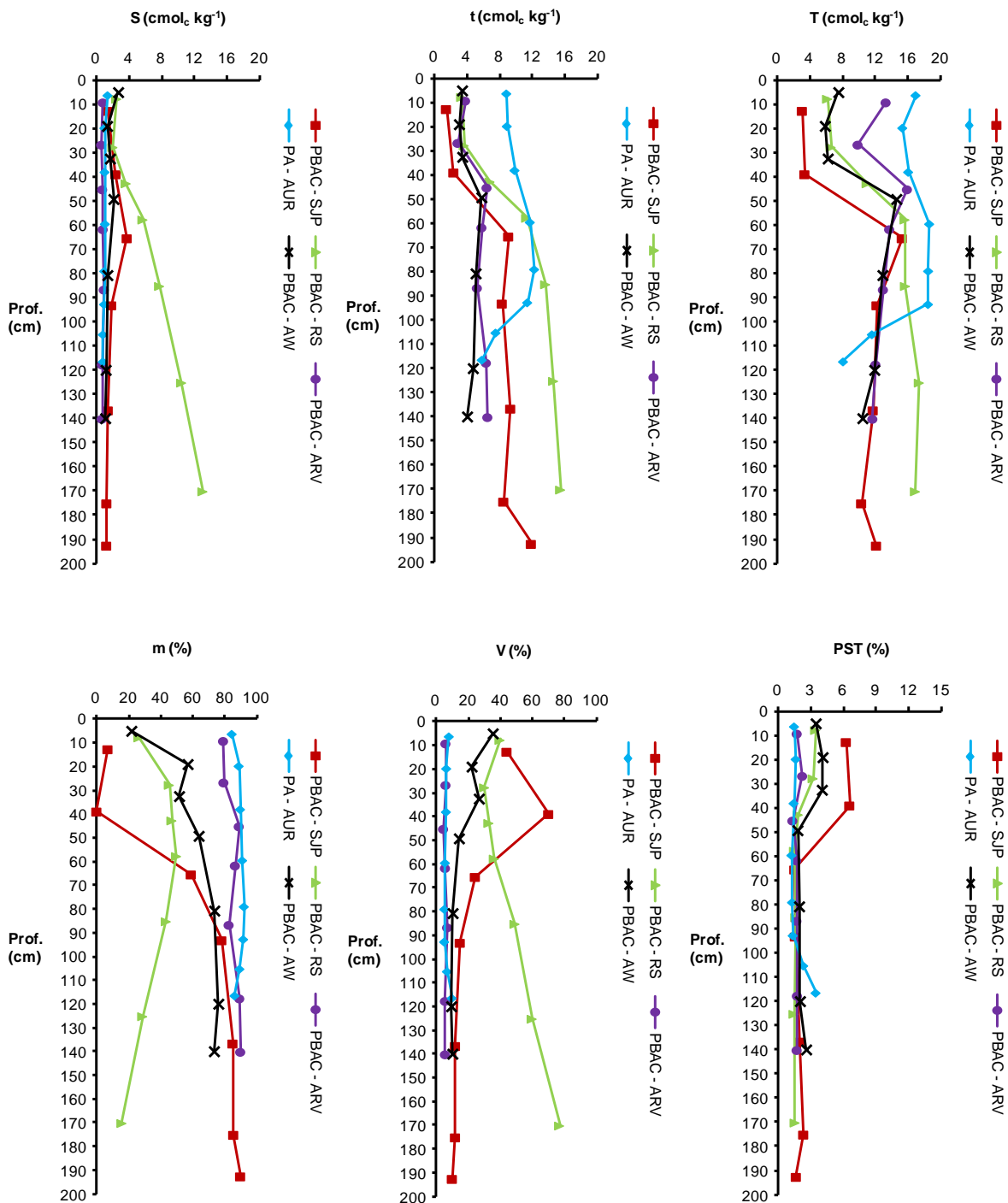
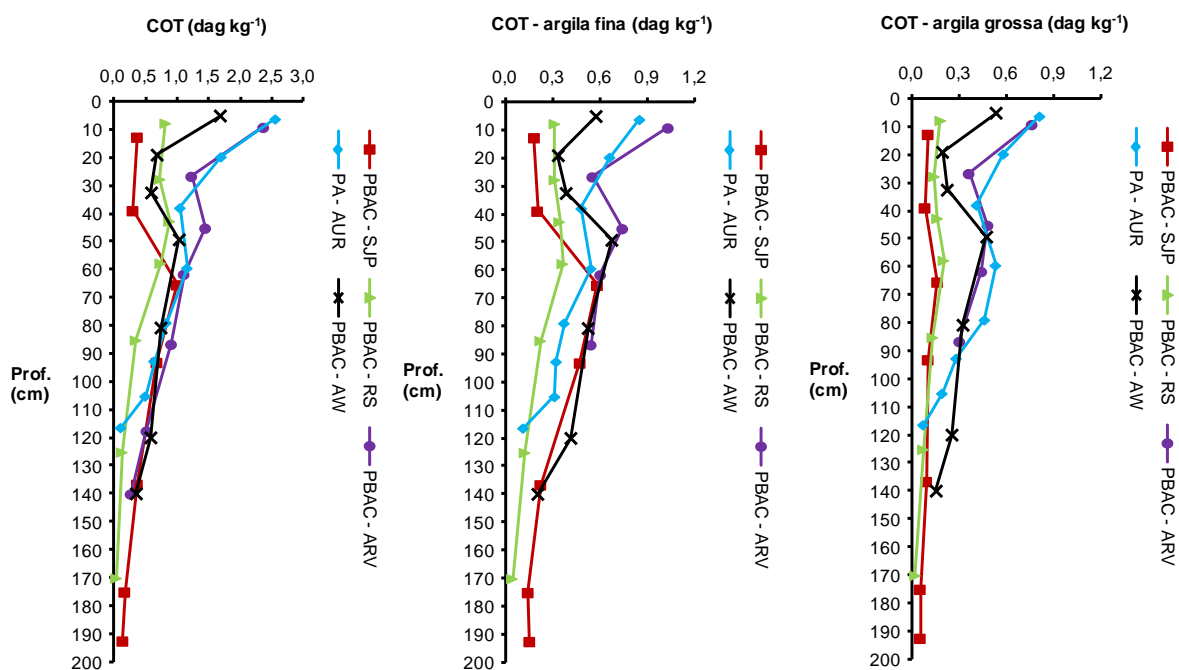


Figura 31 — Teores do carbono orgânico total (COT) na TFSE, e nas subfrações argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE (os cálculos estão descritos no APÊNDICE F, item 5.5.15). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 6 — Teor do carbono orgânico total (COT) na TFSE, e nas subfrações argila fina (COT-AF) e argila grossa (COT-AG) das amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreados acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		COT (%)	COT-AF (%)	COT-AG (%)
PBAC - SJP	Agreg1	0,5	1,2	1,0
	Revest1	0,6	1,2	1,1
	Agreg2	0,3	1,1	0,7
	Revest2	0,4	1,3	0,8
	Adjac	0,1	0,8	0,4
	Canais	0,3	1,3	0,9
PBAC - ARV	Adjac1	0,8	1,4	1,0
	Manch1	1,4	1,8	1,5
	Adjac2	0,7	1,3	0,9
	Manch2	1,8	1,7	1,7
	Agreg	0,6	1,1	0,7
	Revest	0,8	1,3	1,1

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

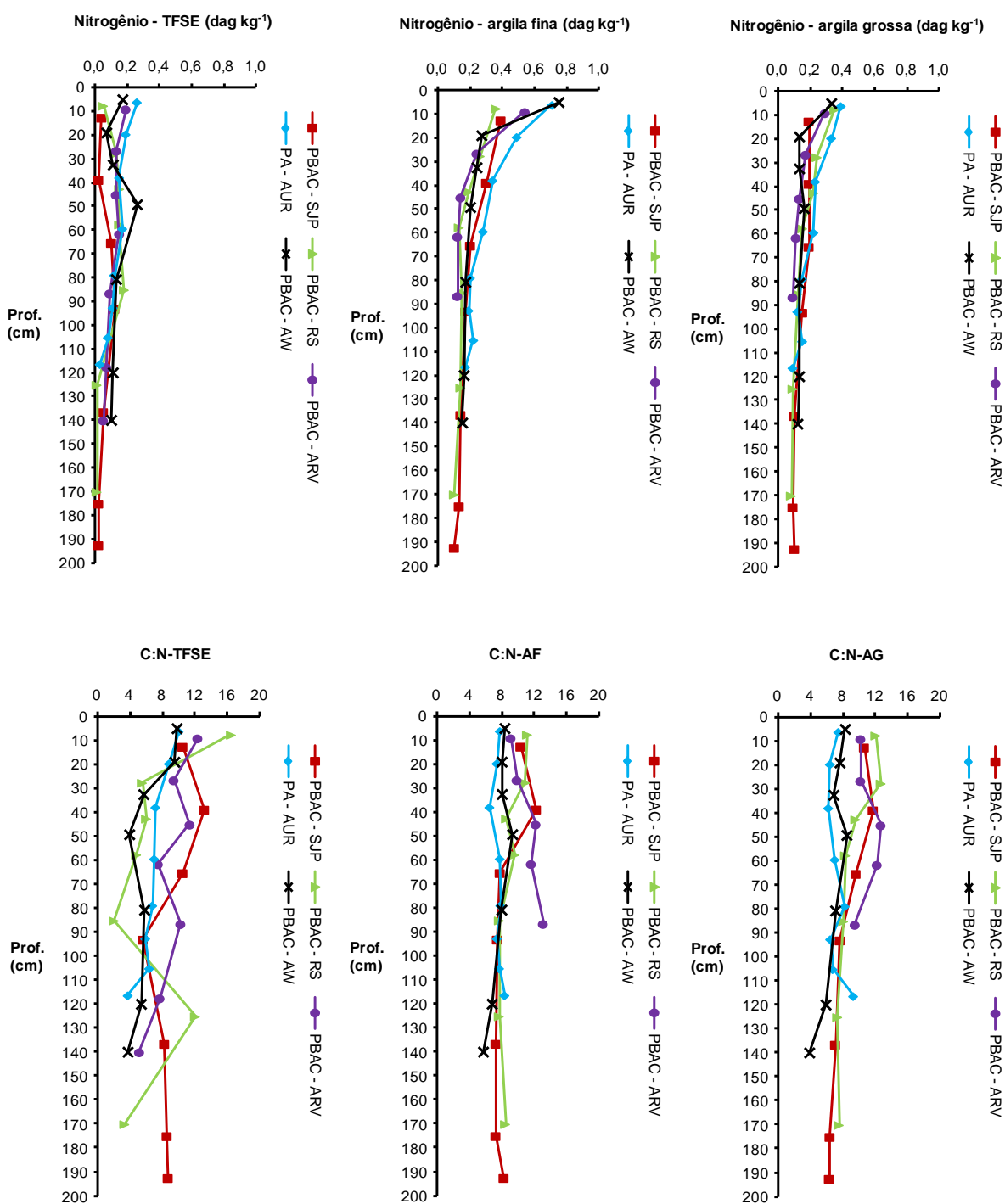
Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 32 — Teores do nitrogênio total na TFSE, subfrações argila fina e argila grossa, e razão C:N na TFSE (C:N-TFSE), subfrações argila fina (C:N-AF) e argila grossa (C:N-AG). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 7 — Teores do nitrogênio total na TFSE (N-TFSE), subfrações argila fina (N-AF) e argila grossa (N-AG), e razão C:N na TFSE (C:N-TFSE), subfrações argila fina (C:N-AF) e argila grossa (C:N-AG) nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		N-TFSE (%)	C:N-TFSE	N-AF (%)	C:N-AF	N-AG (%)	C:N-AG
PBAC - SJP	Agreg1	0,1	6	0,1	9	0,1	8
	Revest1	0,1	7	0,1	9	0,1	8
	Agreg2	0,1	6	0,1	8	0,1	7
	Revest2	0,1	7	0,1	10	0,1	8
	Adjac	0,0	4	0,1	12	0,0	10
	Canais	0,0	7	0,2	9	0,1	8
PBAC - ARV	Adjac1	0,1	9	0,1	10	0,1	9
	Manch1	0,1	10	0,2	12	0,2	10
	Adjac2	0,1	8	0,1	10	0,1	8
	Manch2	0,2	10	0,2	10	0,2	10
	Agreg	0,1	7	0,1	8	0,1	7
	Revest	0,1	8	0,2	9	0,1	9

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

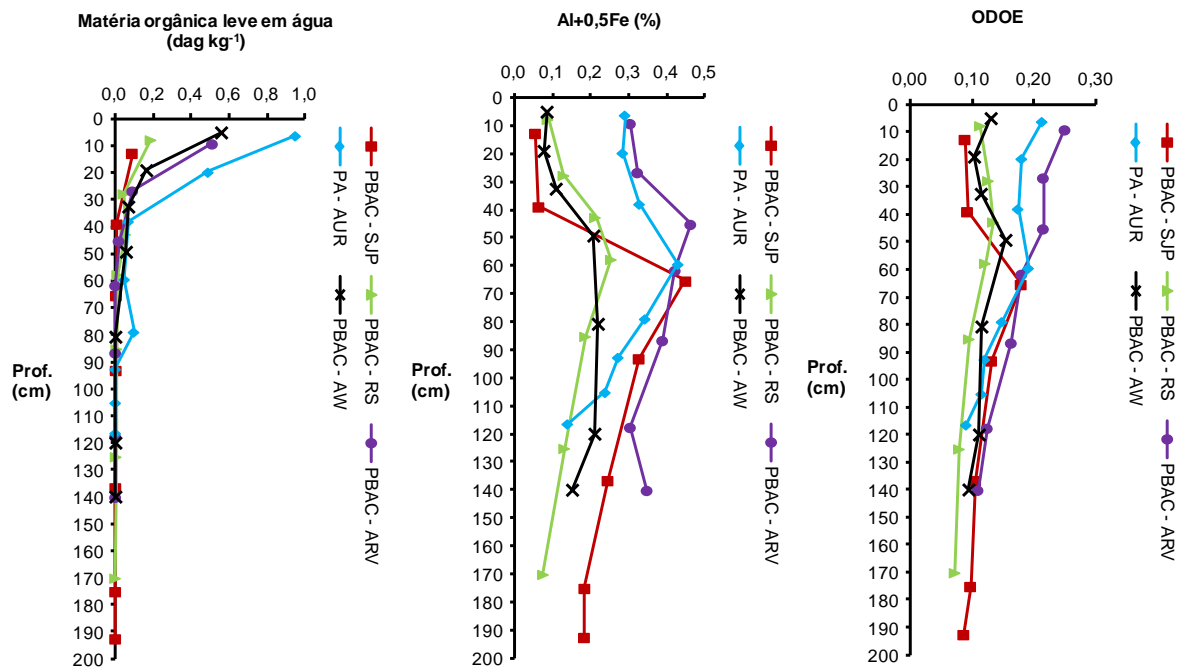
Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

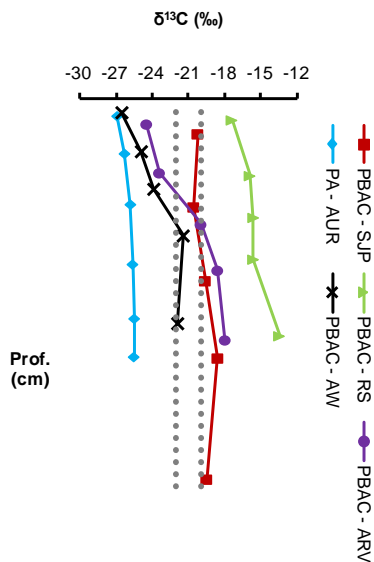
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 33 — Proporção da matéria orgânica leve em água na TFSE, relação $Al+0,5Fe$ e ODOE. Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1, Bt2, BC e C; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2, 2Bt, 2BC e 2C; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2, Bt, BC e C; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi, BC1, BC2 e Cr; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA**, Bt1, Bt2 e C.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 34 — $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$). Identificação dos marcadores com destaque para os horizontes subsuperficiais escurecidos: PBAC - SJP: A1, A2, **BA**, Bt1 e Bt2; PBAC - RS: A1, A2, **2BA1**, 2BA2 e 2Bt; PBAC - ARV: A1, A2, **BA1**, BA2 e Bt; PA - AUR: A, AB, BA, **Be**, Bi e BC1; PBAC - AW: A1, A2, AB, **BA** e Bt1. A linha acinzentada descontinua aos -22‰ indica o limite inferior (aceito como) característico das plantas do ciclo fotossintético C3, enquanto a linha descontinua aos -20‰ indica o limite superior (aceito como) característico das plantas do ciclo fotossintético C4.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 8 — $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) nas amostras especiais coletadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV. Os sombreamentos acinzentados indicam as diferentes feições escurecidas.

Identificações		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
PBAC - SJP	Agreg1	- x -
	Revest1	-18,7
	Agreg2	- x -
	Revest2	-19,9
	Adjac	- x -
PBAC - ARV	Canais	-20,0
	Adjac1	- x -
	Manch1	-20,0
	Adjac2	- x -
	Manch2	-20,7
	Agreg	- x -
	Revest	-18,4

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1-1,2 m, horizontes Bt1/Bt2. Identificações: **Agreg1**: interior dos agregados. **Revest1**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10A**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - SJP: 1,4-1,5 m, horizonte Bt2. Identificações: **Agreg2**: interior dos agregados. **Revest2**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10B**.

Supostos canais com preenchimentos escuros. PBAC - SJP: 1,9-2 m, horizonte C. Identificações: **Adjac**: áreas adjacentes aos supostos canais. **Canais**: supostos canais com preenchimentos escuros. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10C**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 55-70 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac1**: áreas adjacentes à mancha. **Manch1**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10D**.

Mancha escurecida em profundidade. PBAC - ARV: 75-90 cm, horizonte BA2. Identificações: **Adjac2**: áreas adjacentes à mancha. **Manch2**: mancha. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10E**.

Revestimentos escurecidos na superfície dos agregados. PBAC - ARV: 0,9-1,1 m, horizonte BC. Identificações: **Agreg**: interior dos agregados. **Revest**: revestimentos escurecidos dos agregados. Mais detalhes estão disponíveis na **FIGURA 10F**.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.1.3 Recapitulando a gênese de alguns solos com a presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos

A gênese dos solos com horizonte subsuperficial escurecido identificados na região central da África sempre foi explorada superficialmente, tornando difícil uma comparação mais rigorosa. A hipótese da iluviação da matéria orgânica jamais foi respaldada com evidências robustas, tampouco houve um consenso entre os estudiosos (o conhecimento sobre o horizonte sômbrico está limitado aos aspectos morfológicos observados em campo) (Craene e Laruelle, 1955; Eswaran, 1985 e 1988; Eswaran e Tavernier, 1980; Forbes, 1986; Frankart, 1983; Kellogg e Davol, 1949; Mutwewingabo, 1989; Paramanathan e Eswaran, 1980; Riquier, 1966; Ruhe, 1954 e 1956; Sys, 1960 e 1972; Tavernier e Sys, 1965; Wambeke, 1961, 1989 e 1992).

Confirmando a confusão em torno desses solos, no banco de dados do *National Cooperative Soil Survey* (NCSS), existem apenas doze referências sobre os *pedons* com o horizonte sômbrico, sendo que nove foram reclassificados após alguma revisão (ID83FN232003 = *Typic Sombrihumox* > *Humic Troporthod*; ID83FN232004 = *Typic Sombrihumox* > *Umbric Troporthod*; ID83FN232005 = *Typic Sombrihumox* > *Humic Troporthod*; ID83FN232008 = *Typic Sombrihumox* > *Typic Acrohumox*; ID83FN232009 = *Typic Sombrihumox* > *Typic Acrohumox*; ID83FN232010 = *Typic Sombrihumox* > *Typic Acrohumox*; ID84FN758001 = *Oxic Sombrihumult* > *Mollic Hapludalf*; ID84FN758002 = *Typic Sombrihumox* > *Typic Kandiudult*; ID84FN758003 (*Pedon* 15 da revisão do Bockheim (2012)) = *Typic Sombrihumox* > *Typic Paleudult*; ID84FN758011 = *Orthoxic Sombrihumult* (não foi revisado); ID84FN758012 = *Sombriorthox* (não foi revisado); ID84FN758014 = *Humoxic Sombrihumult* (não foi revisado)).

Almeida et al. (2009), Faivre (1990) e Lunardi Neto (2012) propuseram a hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente para explicar a gênese dos horizontes subsuperficiais escurecidos em alguns solos localizados na América do Sul, com base em evidências indiretas (atributos físicos, químicos, mineralógicos e macromorfológicos). Faivre (1990) e Lunardi Neto realizaram a análise micromorfológica, porém de uma forma insatisfatória. Nos três casos, o processo responsável pela formação do escurecimento foi pobremente fundamentado. As únicas evidências convincentes

apresentadas pelos autores foram as feições escurecidas distribuindo-se difusamente em profundidade ao nível da macromorfologia, similarmente em relação às feições escurecidas constatadas nos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV avaliados nesta tese, assim como em alguns horizontes sômbricos identificados na região central da África (especificamente os *sombrovites* que foram descritos por Eswaran (1985 e 1988), Eswaran e Tavernier (1980), e Paramananthan e Eswaran (1980), e o horizonte sômbrico na forma de manchas e o horizonte sômbrico na forma de poliedros escuros que foram descritos por Frankart (1983)).

Com base no conceito obsoleto das substâncias húmicas (frações da matéria orgânica do solo que são preparadas artificialmente, e definidas operacionalmente), Almeida et al. (2009) e Lunardi Neto (2012) ainda evocaram a hipótese de uma podzolização incipiente, o que é contraditório em relação aos atributos físicos, químicos, mineralógicos e macromorfológicos apresentados pelos próprios autores. Similarmente, Oenning (2001) atribuiu ao processo da podzolização a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais em dois solos argilosos com diferença textural vertical. Assim, o autor classificou equivocadamente um Cambissolo como um Espodossolo, e um Alissolo (Argissolo) como um Alissolo (Argissolo) intermediário com um Espodossolo.

Nesse sentido, Almeida et al. (2009 e 2015), Lunardi Neto (2012) e Oenning (2001) utilizaram distorcidamente o conceito dos *organs*. O termo *organs* (sinônimo dos *organans*) refere-se exclusivamente aos revestimentos sobre os grãos individuais do material grosso, sendo constituídos da matéria orgânica monomórfica, que é oriunda da migração e precipitação dos complexos organometálicos. Esse processo pode ocorrer de forma gradativa, resultando em uma evolução da distribuição relacionada entre os tipos gefúrica → quitônica → porfírica. Na distribuição relacionada gefúrica (horizontes não cimentados), os grãos individuais do material grosso estão ligados por pontes constituídas da matéria orgânica monomórfica (material fino). Na distribuição relacionada quitônica (horizontes não cimentados), os grãos individuais do material grosso estão rodeados plenamente pelos revestimentos escurecidos constituídos da matéria orgânica monomórfica (material fino). Na distribuição relacionada porfírica (horizontes cimentados), os grãos individuais do material grosso estão engolfados em um fundo matricial massivo em que a matéria orgânica monomórfica (material fino) preenche completamente os poros intersticiais (poros de empilhamento dos grãos do material

grosso). Os *organs* são opacos sob a luz polarizada em lâminas delgadas (essa condição é compatível com a precipitação dos complexos organometálicos a partir de um estado de gel, resultando na ausência de orientação), ao contrário dos revestimentos constituídos da matéria orgânica, argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro que são anisotrópicos (esta condição é compatível com a orientação da fase dispersa paralelamente às superfícies dos agregados, porém incompatível com a floculação (Bourgault et al., 2015; Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Coninck, 1980; Coninck et al., 1974; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; McKeague et al., 1983; Moody, 2006; Ranst et al., 1980; Wilson e Righi, 2010)).

A gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais dos cinco solos avaliados nesta tese difere cristalinamente em relação aos solos *bisequum* (*bisequal soils*) ou perfis duplicados (*double profiles*) que foram reportados nos EUA e Canadá, em que os processos da lessivagem e podzolização ocorreram separados temporalmente. Nestes casos, os *Podzols* e *Brown Podzolics* representam os solos zonais, enquanto os *Gray-Brown Podzolics* representam os solos intrazonais que estão restritos aos materiais de origem inibidores da podzolização. Considerando-se a perspectiva do modelo da evolução de solos, com base na ocorrência simultânea dos caminhos progressivo e regressivo, a direção da pedogênese foi alterada (formação do segundo *sequum* com o início da podzolização) quando determinados limiares intrínsecos foram excedidos, especificamente a redução da proporção da argila e do teor do carbonato de cálcio (Cann e Whiteside, 1955; Cline, 1949; Frei e Cline, 1949; Gardner e Whiteside, 1952; Holt e McMiller, 1956; Johnson e Watson-Stegner, 1987; McCaleb, 1954; McCaleb e Cline, 1950; Muhs, 1984; Phillips, 1993 e 1994; Schaetzl, 1996; Schaetzl e Anderson, 2005; Stobbe, 1952; Torrent e Nettleton, 1978).

6.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

6.2.1 SiBCS, *Soil Taxonomy* e WRB

Os atributos físicos, químicos, mineralógicos, macro e micromorfológicos discutidos previamente, complementados pela análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (APÊNDICE S), demonstram que a subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados abrange alguns solos relativamente heterogêneos, apesar de compartilharem uma feição similar, que é a presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos (não necessariamente formados a partir de um processo em comum, tampouco com os mesmos atributos).

As informações principais relacionadas à classificação dos cinco solos avaliados nesta tese, bem como dos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais estão sumarizadas nos Quadros 9, 10 e 11.

O perfil PA - AUR foi o único que não atendeu o critério de enquadramento dos Argissolos Bruno-Acinzentados, que exige o predomínio das cores brunadas em subsuperfície e o escurecimento da porção superior do horizonte B, tanto em relação aos horizontes subjacentes (considerando-se o estado úmido) quanto aos sobrejacentes (considerando-se o estado seco). Para um melhor enquadramento do perfil PBAC - RS no SiBCS, sugere-se a adoção do caráter plíntico ao nível dos subgrupos na subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados (analogamente à adoção do subgrupo *plinthic* no grande grupo *Hapludalf* da *Soil Taxonomy*).

Os horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PBAC - SJP, PBAC - ARV e PBAC - AW atenderam os critérios do caráter sômbrico do SiBCS, que reconhece como uma das evidências da acumulação da matéria orgânica os teores mais elevados no horizonte subsuperficial escurecido em relação ao horizonte sobrejacente claro. O horizonte subsuperficial escurecido do perfil PBAC - RS não atendeu os critérios do caráter sômbrico em virtude das evidências robustas que respaldam a hipótese de horizonte soterrado (retrabalhamento). O horizonte subsuperficial escurecido do perfil PBAC - RS não atendeu os critérios do caráter sômbrico em razão da continuidade lateral bastante limitada.

Os horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV foram os únicos que atenderam os critérios do horizonte sômbrico da *Soil Taxonomy*, que reconhece como uma evidência da iluviação a presença da matéria

orgânica depositada na superfície dos agregados em vez de disseminada pela matriz uniformemente.

Os horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PBAC - ARV e PBAC - AW foram os únicos que atenderam os critérios do horizonte sômbrico da WRB, que reconhece como uma das evidências da iluviação o teor da matéria orgânica mais elevado no horizonte subsuperficial escurecido em relação ao horizonte sobrejacente claro, porém exclusivamente para os *Acrisols* e *Ferralsols*. Para um melhor enquadramento do perfil PBAC - SJP na WRB, sugere-se a adoção do qualificador suplementar *sombric* no grupo dos *Alisols*.

Quadro 9 — Classificação dos horizontes diagnósticos superficiais dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014).

Horizonte hístico	todos atenderam ao critério da espessura (≥ 20 cm), mas nenhum atendeu ao critério do teor do carbono orgânico (≥ 80 g kg ⁻¹)
Horizonte A chernozêmico	nenhum atendeu ao critério da estrutura (com grau de desenvolvimento predominantemente moderado ou forte) e V ($\geq 65\%$); apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - SJP não atendeu ao critério do teor do carbono orgânico (≥ 6 g kg ⁻¹); apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - RS atendeu ao critério da cor (croma ≤ 3 com o solo úmido, valor ≤ 3 com o solo úmido, e valor ≤ 5 com o solo seco); todos atenderam ao critério da espessura (≥ 25 cm) e consistência (não é admitida a ocorrência simultânea da estrutura maciça e consistência dura, muito dura ou extremamente dura com o solo seco)
Horizonte A húmico	nenhum atendeu ao critério do teor do carbono orgânico conjugado com a espessura e proporção da argila; apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - AW não atendeu ao critério da cor (valor e croma ≤ 4 com o solo úmido); todos atenderam ao critério da V ($< 65\%$) e espessura (idêntico ao critério do horizonte A chernozêmico)
Horizonte A proeminente	todos atenderam ao critério da consistência e espessura (idêntico ao critério do horizonte A chernozêmico); todos atenderam ao critério da V (idêntico ao critério do horizonte A húmico); todos atenderam ao critério do teor do carbono orgânico conjugado com a espessura e proporção da argila (o horizonte A proeminente não pode satisfazer ao critério do horizonte A húmico); apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - SJP não atendeu ao critério do teor do carbono orgânico (idêntico ao critério do horizonte A chernozêmico); apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - RS atendeu ao critério da cor (idêntico ao critério do horizonte A chernozêmico); nenhum atendeu ao critério da estrutura (idêntico ao critério do horizonte A chernozêmico)
Horizonte A antrópico	nenhum apresentou indícios do uso contínuo pela atividade antrópica
Horizonte A fraco	apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - SJP atendeu ao critério do teor do carbono orgânico (< 6 g kg ⁻¹); apenas o horizonte superficial do perfil PBAC - AW atendeu ao critério da cor (valor ≥ 4 com o solo úmido, e ≥ 6 com o solo seco); todos atenderam ao critério da estrutura (estrutura em grãos simples e/ou com grau de desenvolvimento fraco)
Horizonte A moderado	como os critérios de enquadramento apresentados anteriormente não foram atendidos plenamente, todos foram classificados como A moderado
Soil Taxonomy: os horizontes diagnósticos superficiais (<i>epipedons</i>) dos perfis PBAC - SJP, PBAC - ARV, PBAC - AUR e PBAC - AW foram classificados como ócrico (<i>ochric epipedon</i>). O horizonte diagnóstico superficial do perfil PBAC - RS foi classificado como úmbrico (<i>umbric epipedon</i>).	

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 10 — Classificação dos horizontes diagnósticos subsuperficiais dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014) e WRB (IUSS Working Group WRB, 2015).

PBAC - SJP	Atendeu os critérios do <u>B textural</u> quanto aos itens: a) Ter pelo menos 10% da soma das espessuras dos horizontes sobrejacentes e no mínimo 7,5 cm; b) Ter 15 cm ou mais se os horizontes A e B somarem mais que 150 cm; c) Ter 15 cm ou mais se a textura do horizonte E ou A for areia franca ou areia; g) Grande aumento de argila total do horizonte A para o B, o suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta; h) Incremento de argila total do horizonte A para o B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça a uma das alternativas abaixo: 3) Nos solos com teores de argila no horizonte A menores que 150 g kg ⁻¹ , relação maior que 1,80. * O horizonte BA apresentou o caráter sômbrico.
PBAC - RS	Atendeu os critérios do <u>B textural</u> quanto aos itens: a) Ter pelo menos 10% da soma das espessuras dos horizontes sobrejacentes e no mínimo 7,5 cm; h) Incremento de argila total do horizonte A para o B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça a uma das alternativas abaixo: 3) Nos solos com teores de argila no horizonte A menores que 150 g kg ⁻¹ , relação maior que 1,80.
PBAC - ARV	Atendeu os critérios do <u>B textural</u> quanto aos itens: a) Ter pelo menos 10% da soma das espessuras dos horizontes sobrejacentes e no mínimo 7,5 cm; g) Grande aumento de argila total do horizonte A para o B, o suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta; h) Incremento de argila total do horizonte A para o B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça a uma das alternativas abaixo: 1) Nos solos com teores de argila no horizonte A maiores que 400 g kg ⁻¹ , relação maior que 1,50. * O horizonte BA1 apresentou o caráter sômbrico.
PBAC - AUR	Atendeu os critérios do <u>B textural</u> quanto aos itens: a) Ter pelo menos 10% da soma das espessuras dos horizontes sobrejacentes e no mínimo 7,5 cm; i) Quando o incremento de argila total do horizonte A para o B for inferior ao especificado no item h), o horizonte B textural deve satisfazer a uma das seguintes condições: 3) Solos com horizonte B de textura argilosa ou muito argilosa e com estrutura prismática e/ou em blocos de grau moderado ou forte devem apresentar cerosidade no mínimo comum e fraca ou pouca e moderada (não admitindo, portanto, cerosidade pouca e fraca) em um ou mais sub-horizontes da parte superior do B.
PBAC - AW	Atendeu os critérios do <u>B textural</u> quanto aos itens: a) Ter pelo menos 10% da soma das espessuras dos horizontes sobrejacentes e no mínimo 7,5 cm; b) Ter 15 cm ou mais se os horizontes A e B somarem mais que 150 cm; g) Grande aumento de argila total do horizonte A para o B, o suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta; h) Incremento de argila total do horizonte A para o B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça a uma das alternativas abaixo: 2) Nos solos com teores de argila no horizonte A entre 150 e 400 g kg ⁻¹ , relação maior que 1,70. * O horizonte BA apresentou o caráter sômbrico.
Soil Taxonomy: todos foram enquadrados como horizonte argílico (<i>argillic horizon</i>). WRB: todos foram enquadrados como horizonte árgico (<i>argic horizon</i>).	

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 11 — Classificação dos cinco solos avaliados nesta tese até o quarto nível categórico do SiBCS (Santos et al., 2013). Uma correspondência aproximada foi realizada em relação à *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014) e WRB (IUSS Working Group WRB, 2015).

PBAC - SJP	<p>ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto</p> <p>ARGISSOLO > Outros solos que apresentam horizonte B textural</p> <p>BRUNO-ACINZENTADO > ANEXO P</p> <p>Alítico > Solos com caráter alítico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>abrupto > Solos com mudança textural abrupta</p> <p><u>Soil Taxonomy</u> > <i>Typic Sombrihumult</i></p> <p><u>WRB</u> > <i>Abruptic Alisol (Cutanic)</i></p>
PBAC - RS	<p>ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico</p> <p>ARGISSOLO > Outros solos que apresentam horizonte B textural</p> <p>BRUNO-ACINZENTADO > ANEXO P</p> <p>Alítico > Solos com caráter alítico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>típico > Outros solos que não se enquadram nas classes anteriores</p> <p><u>Soil Taxonomy</u> > <i>Typic Hapludalf</i></p> <p><u>WRB</u> > <i>Plinthic Alisol (Colluvic, Cutanic)</i></p>
PBAC - ARV	<p>ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto</p> <p>ARGISSOLO > Outros solos que apresentam horizonte B textural</p> <p>BRUNO-ACINZENTADO > ANEXO P</p> <p>Alítico > Solos com caráter alítico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>abrupto > Solos com mudança textural abrupta</p> <p><u>Soil Taxonomy</u> > <i>Typic Sombrihumult</i></p> <p><u>WRB</u> > <i>Abruptic Acrisol (Cutanic, Sombric)</i></p>
PBAC - AUR	<p>ARGISSOLO AMARELO Alítico típico</p> <p>ARGISSOLO > Outros solos que apresentam horizonte B textural</p> <p>AMARELO > solos com matiz 7.5 YR ou mais amarelos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>Alítico > Solos com caráter alítico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>típico > Outros solos que não se enquadram nas classes anteriores</p> <p><u>Soil Taxonomy</u> > <i>Typic Haplohumult</i></p> <p><u>WRB</u> > <i>Haplic Alisol (Cutanic)</i></p>
PBAC - AW	<p>ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abrupto</p> <p>ARGISSOLO > Outros solos que apresentam horizonte B textural</p> <p>BRUNO-ACINZENTADO > ANEXO P</p> <p>Distrófico > Solos distróficos (saturação por bases < 50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)</p> <p>abrupto > Solos com mudança textural abrupta</p> <p><u>Soil Taxonomy</u> > <i>Typic Haplohumult</i></p> <p><u>WRB</u> > <i>Abruptic Acrisol (Cutanic, Sombric)</i></p>

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.2.2 Argissolos Bruno-Acinzentados (*Ultisols*) versus *Gray-Brown Podzolic* (*Alfisols*)

Nunca existiu uma correspondência inequívoca do *Gray-Brown Podzolic* em relação aos Argissolos Bruno-Acinzentados.

A própria definição do *Gray-Brown Podzolic* sempre foi vaga. O perfil representativo apresentava uma sequência composta de uma serrapilheira delgada, um horizonte organomineral, um horizonte eluvial bruno-acinzentado e um horizonte iluvial brunado (ANEXO G). Posteriormente, esse grande grupo serviu de base para a criação da ordem dos *Alfisols* na *Soil Taxonomy*. O escurecimento do topo do horizonte B jamais foi um critério de enquadramento do *Gray-Brown Podzolic*, tampouco dos *Alfisols* (Baldwin et al., 1938; Brown e Thorp, 1942; Cann e Whiteside, 1955; Cline, 1949; Frei e Cline, 1949; Gardner e Whiteside, 1952; Holt e McMiller, 1956; McCaleb, 1954; McCaleb e Cline, 1950; Smith, 1983; Soil Survey Staff, 1975 e 2014; Stobbe, 1952; Thorp et al., 1959; Winters e Simonson, 1951).

Os Argissolos Bruno-Acinzentados são mais próximos da ordem dos *Ultisols*. O *Gray-Brown Podzolic* e os Argissolos Bruno-Acinzentados são similares apenas quanto à presença de um horizonte B textural com uma coloração predominantemente brunada. Na maioria dos casos, os Argissolos Bruno-Acinzentados apresentam uma reação ácida a moderadamente ácida, com os teores e saturação do alumínio trocável elevados, enquanto o *Gray-Brown Podzolic* apresentava uma reação ácida a alcalina, com os teores e saturação por bases elevados (Baldwin et al., 1938; Botelho, 2011; Brown e Thorp, 1942; Cann e Whiteside, 1955; Cline, 1949; Frei e Cline, 1949; Gardner e Whiteside, 1952; Holt e McMiller, 1956; Lunardi Neto, 2012; McCaleb, 1954; McCaleb e Cline, 1950; Oenning, 2001; Olmos e Camargo, 1982; Oliveira, 2012; Oliveira et al., 1992; Smith, 1983; SNLCS, 1980a e 1980b; Stobbe, 1952; Thorp e Smith, 1949; Thorp et al., 1959; Winters e Simonson, 1951) (ANEXOS G, H, I, J, K, L, M, N, O e P).

Outro problema é a sobreposição do critério de enquadramento dos Argissolos Bruno-Acinzentados na edição de número 3 do SiBCS em relação ao caráter sômbrico, sendo que este não é uma feição exigida aos Argissolos Bruno-Acinzentados (Santos et al., 2013) (ANEXOS P e R).

O critério de enquadramento dos Argissolos Bruno-Acinzentados é rigoroso quanto à presença de um horizonte subsuperficial com o topo singularmente

escurecido (Santos et al., 2013) (ANEXO P), o que desqualifica os Argissolos que apresentam o horizonte B textural com uma coloração predominantemente brunada, porém sem a porção superior mais escura. Consequentemente, o enquadramento recai na subordem dos Argissolos Amarelos. O perfil PA - AUR avaliado nesta tese é um exemplo. Similarmente, vários solos que foram classificados como Argissolos Bruno-Acinzentados em outros estudos, com base na edição de número 2, não atendem o critério de enquadramento da edição de número 3 (Botelho, 2011; CNPS, 2006; Lunardi Neto, 2012; Oliveira, 2012; Santos et al., 2013) (ANEXO P).

Diante do exposto, uma reformulação da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados é oportuna para aperfeiçoar o SiBCS. Assim, propõe-se um critério de enquadramento que elimina a exigência do escurecimento na porção superior do horizonte B, conforme segue: “solos com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)”. A validação desse critério está apresentada no Quadro 12.

Quadro 12 — Comparação de diferentes critérios quanto ao enquadramento dos solos com o predomínio das cores brunadas no horizonte B. CNPS (2006): critério dos Argissolos Bruno-Acinzentados da edição de número 2 do SiBCS (Anexo L). Santos et al. (2013): critério dos Argissolos Bruno-Acinzentados da edição de número 3 do SiBCS (Anexo L). Baldwin et al. (1938): critério do *Gray-Brown Podzolic* da classificação norte-americana de solos de 1938 (Anexo B). Moraes (2017): critério proposto nesta tese para os Argissolos Bruno-Acinzentados no SiBCS.

Referência	Classificação	ID	CNPS (2006)	Santos et al. (2013)	Baldwin et al. (1938)	Moraes (2017)
Oenning (2001)	Alissolo Crômico Argilúvico	Perfil 2 (P2)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 1 (P1)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 2 (P2)	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 3 (P3)	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 4 (P4)	ATENDE	ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 5 (P5)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 6 (P6)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Botelho (2011)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil 9 (P9)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Lunardi Neto (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	PBACal	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE

Referência	Classificação	ID	CNPS (2006)	Santos et al. (2013)	Baldwin et al. (1938)	Morais (2017)
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P1	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	NÃO ATENDE	ATENDE
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P2	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	NÃO ATENDE	ATENDE
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P3	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P4	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P5	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	NÃO ATENDE	ATENDE
Oliveira (2012)	Argissolo Bruno-Acinzentado	Perfil: P6	ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	NÃO ATENDE	ATENDE
Morais (2017)	Argissolo Bruno-Acinzentado	PBAC - SJP	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Morais (2017)	Argissolo Bruno-Acinzentado	PBAC - RS	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Morais (2017)	Argissolo Bruno-Acinzentado	PBAC - ARV	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Morais (2017)	Argissolo Amarelo	PA - AUR	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE	ATENDE
Morais (2017)	Argissolo Bruno-Acinzentado	PBAC - AW	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE

Referência	Classificação	ID	CNPS (2006)	Santos et al. (2013)	Baldwin et al. (1938)	Morais (2017)
Brown e Thorp (1942)	Gray-Brown Podzolic	<i>Miami silt loam</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Brown e Thorp (1942)	Gray-Brown Podzolic	<i>Wooster silt loam</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Brown e Thorp (1942)	Gray-Brown Podzolic	<i>Hillsdale fine sandy loam</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Brown e Thorp (1942)	Gray-Brown Podzolic	<i>Fox silt loam</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Cline (1949)	Gray-Brown Podzolic	<i>Honeoye series</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Cline (1949)	Gray-Brown Podzolic	<i>Ontario series</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
Thorp et al. (1959)	Gray-Brown Podzolic	<i>Miami silt loam</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE

Referência	Classificação	ID	CNPS (2006)	Santos et al. (2013)	Baldwin et al. (1938)	Morais (2017)
NRCS (1997)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Weller series (Weller silt loam)</i>	ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2006)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Fayette series (Fayette silt loam)</i>	ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2007)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Ontario series (Ontario loam)</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2011a)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Fox series (Fox silt loam)</i>	ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2011b)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Wooster series (Wooster silt loam)</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2014)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Miami series (Miami silt loam)</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE
NRCS (2016)	<i>Alfisol (Gray-Brown Podzolic)</i>	<i>Honeoye series (Honeoye loam)</i>	NÃO ATENDE	DADOS INSUFICIENTES	ATENDE	ATENDE

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

6.2.3 Horizonte sômbrico e caráter sômbrico

A criação do horizonte sômbrico foi baseada em evidências bastante limitadas, obtidas de estudos exploratórios realizados nas regiões frias e úmidas da porção central da África, em planaltos e montanhas com altitudes elevadas. Apenas os horizontes subsuperficiais escurecidos formados pela migração da matéria orgânica podem ser classificados como horizontes sômbricos (Craene e Laruelle, 1955; Eswaran, 1985 e 1988; Eswaran e Tavernier, 1980; Frankart, 1983; IUSS Working Group WRB, 2006 e 2015; Kellog e Davol, 1949; Mutwewingabo, 1989; Paramanathan e Eswaran, 1980; Riquier, 1966; Ruhe, 1954 e 1956; Soil Survey Staff, 1975 e 2014; Sys, 1960 e 1972; Tavernier e Sys, 1965; Wambeke, 1961, 1989 e 1992). Curiosamente, o renomado pedologista Guy Donald Smith narrou a ansiedade dos pesquisadores belgas para que o horizonte sômbrico fosse reconhecido na *Soil Taxonomy*, apesar do pouco conhecimento disponível na época (Forbes, 1986).

Muitas perguntas ainda não foram respondidas. Por exemplo, qual a importância dos diferentes fatores da formação de solos na gênese do horizonte sômbrico? O processo ainda está ativo? Qual a natureza da matéria orgânica e qual a razão da sua mobilidade? A migração ocorreu na forma suspensa ou solúvel? A matéria orgânica foi depositada ou precipitada? Com ou sem a complexação do alumínio e/ou ferro? Com ou sem a participação do sódio trocável? Com ou sem a participação dos argilominerais? Com ou sem a participação dos hidróxidos e/ou óxidos/oxihidróxidos?

Alguns critérios de enquadramento do horizonte sômbrico são completamente infundados, constituindo apenas uma tentativa simplória de diferenciar o horizonte sômbrico do horizonte espódico Bh, horizonte nátrico e alguns horizontes soterrados (retrabalhamento). Por exemplo, o que é o húmus iluvial associado ao alumínio característico do horizonte espódico Bh? O que é o húmus iluvial associado ao sódio trocável característico do horizonte nátrico? Por que a CTC do horizonte sômbrico não pode ser elevada? Por que a saturação por bases deve ser baixa (< 50% NH_4OAc)? Por que não pode estar subjacente a um horizonte álbico (se este pode estar sobrejacente ao horizonte B textural dos Argissolos)?

Bockheim (2012) realizou uma revisão detalhada sobre o horizonte sômbrico, concluindo que apenas doze *pedons* atenderam plenamente as exigências da *Soil*

Taxonomy e WRB. Essa afirmação é discutível em razão da aplicação dos critérios de enquadramento de uma maneira puramente mecânica, além da subutilização das referências disponíveis na literatura. Com um pouco de atenção, verifica-se que os “verdadeiros horizontes sômbricos” apontados pelo autor apresentaram o $\text{pH} < 6$, bem como o predomínio do H^+ e Al^{3+} trocáveis ocupando as cargas negativas, o que desconstrói a argumentação principal da revisão. Nesse sentido, Mutweringabo (1989) constatou que os solos da região central da África que contêm os horizontes subsuperficiais escurecidos são muito ácidos a extremamente ácidos, assim como apresentam teores elevados do alumínio tóxico às plantas, constituindo um problema tanto do ponto de vista do *status* nutricional quanto da classificação dos solos. No banco de dados do *National Cooperative Soil Survey* (NCSS), apenas doze *pedons* com o horizonte sômbrico estão registrados, todos localizados na região central da África sob o clima frio e úmido dos planaltos e montanhas com altitudes elevadas (> 1700 m), porém onze não foram citados na revisão do Bockheim (2012). Seis *pedons* foram identificados no Burundi (ID83FN232003, ID83FN232004, ID83FN232005, ID83FN232008, ID83FN232009 e ID83FN232010), e seis *pedons* foram identificados em Rwanda (ID84FN758001, ID84FN758002, ID84FN758003 (*Pedon* 15 da revisão do Bockheim (2012)), ID84FN758011, ID84FN758012 e ID84FN758014).

A única evidência que corrobora a hipótese da migração da matéria orgânica é a presença das manchas e revestimentos com coloração escurecida na superfície dos agregados ou poros ao nível da macro e micromorfologia, associada ou não ao teor do carbono orgânico total mais elevado no horizonte subsuperficial escurecido em relação ao horizonte sobrejacente claro.

Diante do exposto, uma reformulação dos critérios de enquadramento do horizonte sômbrico e caráter sômbrico é sugerida, conforme segue:

“É uma feição ocorrente em horizontes subsuperficiais transicionais ou principais (AB, BA ou B) de alguns solos minerais, devendo atender a todos os seguintes critérios: a) apresentar valor e croma, nos estados seco e/ou úmido, mais baixos em relação ao horizonte imediatamente sobrejacente (de tal forma que a presença do horizonte subsuperficial escurecido seja claramente evidenciada ao nível da macromorfologia); b) apresentar um teor da matéria orgânica maior em relação ao horizonte imediatamente sobrejacente; e/ou apresentar alguma diferença na composição da matéria orgânica em relação ao horizonte imediatamente

sobrejacente; e/ou apresentar uma matéria orgânica na forma de manchas e/ou revestimentos escurecidos depositados na superfície dos agregados, em vez de uniformemente disseminados pela matriz, tanto ao nível da macromorfologia quanto ao nível da micromorfologia; c) apresentar o horizonte subsuperficial escurecido em continuidade lateral nos vários segmentos da paisagem, indicando uma origem pedogenética e descartando a possibilidade de ser um horizonte soterrado (oriundo de algum retrabalhamento); d) não atender os requisitos do horizonte espódico Bh (que apresenta uma matéria orgânica iluvial oriunda da precipitação de complexos organometálicos em uma condição de acidez); e) não atender os requisitos do horizonte B plânico com o caráter sódico ou caráter solódico (que pode apresentar uma matéria orgânica iluvial dispersa pelo efeito do sódio trocável em uma condição de alcalinidade); f) apresentar 10 cm ou mais de espessura.”

No SiBCS, o problema da sobreposição do caráter sômbrico em relação aos Argissolos Bruno-Acinzentados pode ser plenamente solucionado com a adoção do caráter sômbrico ao nível dos subgrupos, associada ao critério dos Argissolos Bruno-Acinzentados sugerido nesta tese. A validação dessa proposta está apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 — Classificação dos cinco solos avaliados nesta tese, considerando-se os critérios de enquadramento da edição de número 3 do SiBCS e os critérios propostos.

Identificações	Santos et al. (2013)	Morais (2017)
PBAC - SJP	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico abrupto	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico abrupto sombrio
PBAC - RS	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico típico	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico plítico
PBAC - ARV	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico abrupto	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico abrupto sombrio
PA - AUR	ARGISSOLO AMARELO Alítico típico	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Alítico típico
PBAC - AW	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Distrófico abrupto	ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO Distrófico abrupto sombrio

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais dos perfis PBAC - SJP e PBAC - ARV, considerando-se a existência das condições geométricas e físico-químicas favoráveis, sem qualquer contradição quanto ao novo entendimento no qual as substâncias húmicas são supramoléculas em vez de macromoléculas (constituindo um gradiente termodinâmico que varia desde compostos grandes e ricos em energia até aqueles pequenos e pobres em energia (trajetória energética descendente)), bem como ao modelo em que a adsorção da matéria orgânica na superfície dos minerais ocorre em uma sequência de zonas ou camadas múltiplas (correspondendo a diferentes compartimentos) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Buol e Hole, 1959 e 1961; Churchman et al., 1993; Conte e Piccolo, 1999; Dixit, 1978 e 1982; Dixit et al., 1975; Dong et al., 1983; Durgin e Chaney, 1984; Essington, 2003; Fitzpatrick, 1984; Frenkel et al., 1992a e 1992b; Furukawa et al., 2009; Gibbs, 1983; Goldberg e Forster, 1990; Goldberg et al., 1990; Gombeer e D'Hoore, 1971; Gu e Doner, 1993; Gupta et al., 1984; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Lehmann e Kleber, 2015; Nebbioso e Piccolo, 2011 e 2012; Kleber e Johnson, 2010; Kleber et al., 2007, 2010 e 2015; Kretzschmar et al., 1993 e 1997; Kühn et al., 2010; Mel'nikova e Kovenya, 1971; Moody, 2006; Mortland, 1986; Narkis e Rebhun, 1975 e 1997; Nguyen et al., 2013; Oades, 1984; O'Melia, 1989; Piccolo, 2001 e 2002; Piccolo e Spiteller, 2003; Piccolo et al., 1996 e 2000; Ranst et al., 1980; Scharpenseel e Kruse, 1972; Schaumann, 2006; Schnitzer, 1986; Shanmuganathan e Oades, 1983; Simpson et al., 2001 e 2002; Souchier e Duchaufour, 1969; Sparks, 2003; Sposito, 2008; Sutton e Sposito, 2005; Theng, 1976, 1979 e 2012; Tombácz et al., 1984, 1998 e 2004; Visser e Caillier, 1988; Wandruszka, 1998; Wershaw, 1986, 1993, 1994, 1999 e 2004; Wershaw e Pinckney, 1973, 1977 e 1980; Wershaw et al., 1977, 1995, 1996a, 1996b; Yuan e Theng, 2012).

Nesse sentido, o termo *humic-argilluviation* sugerido por Almeida et al. (2015) foi mal fundamentado, devendo ser evitado, pois remete ao conceito obsoleto das substâncias húmicas, que vem sendo questionado desde longa data (Waksman, 1936).

Os atributos físicos, químicos, mineralógicos, macro e micromorfológicos respaldam a ocorrência sequencial das etapas da dispersão, transporte mecânico e deposição da matéria orgânica, argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro indissociadamente. A idade da matéria orgânica sugere que esse processo está inativo nos dias de hoje (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980).

A etapa da dispersão é condizente com a condição climática que existiu na região sul do Brasil entre o Holoceno Tardio e o Pleistoceno Final (mais frio e seco em relação ao clima vigente), em que a ação mecânica da explosão do ar devido aos ciclos alternados da secagem e umedecimento deve ter sido mais frequente. Essa condição também é a ideal para a formação e manutenção dos poros fissurais entre os agregados, que são bastante persistentes ao longo do tempo (Bauermann et al., 2008; Behling, 1995, 1998 e 2002; Behling et al., 2001, 2004 e 2005; Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Evaldt et al., 2014; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980).

A etapa do transporte mecânico é plenamente viável, com o movimento da água funcionando como o vetor do transporte (tanto a água gravitacional em um fluxo saturado quanto a água capilar em um fluxo não saturado), considerando-se a conectividade expressiva do sistema poroso dos horizontes subsuperficiais escurecidos, mais a presença ubíqua da matéria orgânica associada aos argilominerais, capaz de proporcionar a estabilização eletrostática e estérica das dispersões coloidais, bem como a complexação dos cátions polivalentes (impedindo a floculação das partículas) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Buol e Hole, 1959 e 1961; Churchman et al., 1993; Dixit, 1978 e 1982; Dixit et al., 1975; Dong et al., 1983; Durgin e Chaney, 1984; Fitzpatrick, 1984; Frenkel et al., 1992a e 1992b; Furukawa et al., 2009; Gibbs, 1983; Goldberg e Forster, 1990; Goldberg et al., 1990; Gombeer e D'Hoore, 1971; Gu e Doner, 1993; Gupta et al., 1984; Heil e Sposito, 1993a e 1993b; Kretzschmar et al., 1993 e 1997; Kühn et al., 2010; Mel'nikova e Kovenya, 1971; Moody, 2006; Narkis e Rebhun, 1975 e 1997; Nguyen et al., 2013; Oades, 1984; O'Melia, 1989; Ranst et al., 1980; Shanmuganathan e Oades, 1983; Souchier e Duchaufour, 1969; Tombácz et al., 1984, 1998 e 2004; Visser e Caillier, 1988).

A etapa da deposição é corroborada pelo padrão micromorfológico dos revestimentos, que apresentaram uma tessitura interna microlaminada do tipo

paralela com uma orientação boa ou parcial (confirmada pela presença das linhas de extinção nítidas ou difusas com os polarizadores cruzados), evidentemente relacionada a eventos repetidos de sedimentação lenta da fase dispersa (matéria orgânica, argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro) por meio da filtração em poros relativamente pequenos, ou evaporação sobre os grãos individuais (quartzo e nódulos) (Breemen e Buurman, 2002; Brewer, 1976; Bullock et al., 1985; Fitzpatrick, 1984; Kühn et al., 2010; Moody, 2006; Ranst et al., 1980).

Seguramente, o processo da migração indissociada da matéria orgânica, argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro é um processo retroalimentado em que o limiar excedido (extrínseco e/ou intrínseco) permanece desconhecido (considerando-se a perspectiva do modelo da evolução de solos, com base na ocorrência simultânea dos caminhos progressivo e regressivo, a direção da pedogênese é alterada quando determinados limiares são excedidos) (Johnson e Watson-Stegner, 1987; Muhs, 1984; Phillips, 1993 e 1994; Schaetzl e Anderson, 2005; Torrent e Nettleton, 1978).

A formação dos horizontes subsuperficiais escurecidos dos perfis PA - AUR e PBAC - AW não foi plenamente elucidada, embora seja segura a refutação da hipótese da migração da matéria orgânica e argilominerais, bem como da podzolização. Não existem evidências inequívocas para ser aceita ou rejeitada a hipótese de horizontes soterrados (retrabalhamento), tampouco a hipótese de uma feição relíquia induzida por alterações climáticas (o que é compatível com a dinâmica das alterações climáticas ocorridas no Quaternário Tardio nas terras altas do sul do Brasil), considerando-se as similaridades em relação ao grande grupo *Degraded Chernozem* da classificação norte-americana de 1938 (ordem: zonal; subordem: solos da transição floresta-campo) (Asady e Whiteside, 1982; Baldwin et al., 1938; Bauermann et al., 2008; Behling, 1995, 1998 e 2002; Behling et al., 2001, 2004 e 2005; Caner et al., 2003 e 2007; Cromeens e Mokma, 1986; Evaldt et al., 2014; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005; Wambeke, 1992).

O horizonte subsuperficial escurecido do perfil PBAC - RS parece ser um horizonte soterrado (retrabalhamento) com resquícios de um pavimento desértico (acúmulo residual das frações grossas, oriundo de um clima semiárido do passado, o que é condizente com a dinâmica das alterações climáticas ocorridas no Quaternário Tardio nas terras baixas do Rio Grande do Sul), considerando-se

algumas evidências robustas como o solo truncado a partir da encosta intermediária, um horizonte subsuperficial escurecido com uma espessura delgada associada a uma continuidade lateral limitada (ocorrência restrita à encosta inferior), a presença de uma zona horizontal de cascalhos especificamente na transição do horizonte subsuperficial escurecido e o horizonte sobrejacente claro (constatada *in-situ* ao nível da macromorfologia, na lâmina delgada ao nível da micromorfologia e na quantificação em laboratório), entre outras (Asady e Whiteside, 1982; Bauermann et al., 2008; Behling, 1995, 1998 e 2002; Behling et al., 2001, 2004 e 2005; Cremeens e Mokma, 1986; Evaldt et al., 2014; Langohr et al., 1976; Schaetzl, 1998; Schaetzl e Anderson, 2005).

Não existe qualquer indício de que os horizontes subsuperficiais escurecidos dos cinco solos avaliados nesta tese sofreram a influência do processo da podzolização (Anderson et al., 1982; Bourgault et al., 2015; Breemen e Buurman, 2002; Coninck, 1980; Coninck et al., 1974; Daly et al., 1982; Duchaufour, 1982; Farmer et al., 1980; IUSS Working Group WRB, 2015; Lundström e Öhman, 1990; Lundström et al., 1995, 2000a e 2000b; McKeague et al., 1983; Santos et al., 2013; Soil Survey Staff, 1975 e 2004; Wilson e Righi, 2010).

Não existe qualquer indício de que o escurecimento dos horizontes subsuperficiais escurecidos dos cinco solos avaliados nesta tese está relacionado à presença do carbono pirogênico, considerando-se as observações macromorfológicas *in-situ* e as observações micromorfológicas em laboratório.

Quanto à classificação no SiBCS, uma reformulação da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados é oportuna, assim, propõe-se um critério de enquadramento que elimina a exigência do escurecimento na porção superior do horizonte B, conforme segue: “solos com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)”. Complementarmente, a presença dos horizontes subsuperficiais escurecidos em Argissolos Bruno-Acinzentados pode ser contemplada pela adoção do caráter sômbrico ao nível dos subgrupos.

8 CONCLUSÕES

Considerando-se a ampla caracterização dos atributos físicos, químicos, mineralógicos, macro e micromorfológicos dos cinco solos avaliados nesta tese, as evidências disponíveis respaldam as seguintes conclusões:

O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais dos perfis ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto de São João do Polêsine-RS (PBAC - SJP) e ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto de Arvorezinha-RS (PBAC - ARV).

O processo da migração indissociada da matéria orgânica e argilominerais na direção vertical e sentido descendente não explica a gênese do escurecimento dos horizontes subsuperficiais dos perfis ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico de Rosário do Sul (PBAC - RS), ARGISSOLO AMARELO Alítico típico de Aurora (PA - AUR) e ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abrupto de Alfredo Wagner (PBAC - AW).

REFERÊNCIAS

AKAMIGBO, F. O. R.; DALRYMPLE, J. B. Experimental simulation of the results of clay translocation in the B horizons of soils; the formation of intrapedal cutans. **Journal of Soil Science**, v. 36, p. 401-409, 1985.

ALMEIDA, J. A.; CARARO, D. C.; UBERTI, A. A. A. Genesis of the sombric horizon in ultisols (red argisols) in southern Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 405-416, 2009.

ALMEIDA, J. A.; LUNARDI NETO, A.; VIDAL-TORRADO, P. Sombric horizon: five decades without evolution. **Scientia Agricola**, v. 72, p. 87-95, 2015.

ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I.; KEREN, R. Effect of clay mineralogy and aluminum and iron oxides on the hydraulic conductivity of clay-sand mixtures. **Clay and Clay Minerals**, v. 33, p. 443-450, 1985.

ANDERSON, D. W.; JONG, E.; McDONALD, D. S. The pedogenetic origin and characteristics of organic matter of solod soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 59, p. 357-362, 1979.

ANDERSON, D. W.; PAUL, E. A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 298-301, 1984.

ANDERSON, H. A.; BERROW, M. L.; FARMER, V. C.; HEPBURN, A.; RUSSEL, J. D.; WALKER, A. D. A reassessment of podzol formation process. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 125-136, 1982.

ASADY, G. H.; WHITESIDE, E. P. Composition of a Conover-Brookston map unit in southeastern Michigan. **Science Society of America Journal**, v. 46, p. 1043-1047, 1982.

BALCKE, G. U.; KULIKOVA, N. A.; HESSE, S.; KOPINKE, F. D.; PERMINOVA, I. V. Adsorption of humic substances onto kaolin clay related to their structural features. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1805-1812, 2002.

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil organic matter. SUMMER, M. E. (ed.) **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. B25-B84 p.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697-710, 2000.

BALDWIN, M.; KELLOGG, C. E.; THORP, J. Soil classification. *In*: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Soils and men**: yearbook of agriculture 1938. Washington: USDA, 1938. p. 979-1001.

BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUERIF, J. Influence of organic matter on aggregation in oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, v. 54, p. 259-274, 1992.

BASCOMB, C. L. Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. **Journal of Soil Science**, v. 19, p. 251-268, 1968.

BAUERMANN, S. G.; MACEDO, R. B.; BEHLING, H.; PILLAR, V.; NEVES, P. C. P. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no Quaternário Tardio do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Palinologia**, v. 11, p. 87-96, 2008.

BEHLING, H. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 4, p. 127-152, 1995.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, p. 143-156, 1998.

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19-27, 2002.

BEHLING, H.; BAUERMANN, S. G.; NEVES, P. C. P. Holocene environment changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 631-639, 2001.

BEHLING, H.; PILLAR, V. P.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary grassland (campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p.235-248, 2005.

BEHLING, H.; PILLAR, V. P.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary *Araucaria* forest, grassland (campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, p. 277-297, 2004.

BISHOP, P. M.; MITCHELL, P. B. PATON, T. R. The formation of duplex soils on hillslopes in the Sydney basin, Australia. **Geoderma**, v. 23, p. 175-189, 1980.

BOCKHEIM, J. G. Genesis of bisequal soils on acidic drift in the upper great lakes region, USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, 612-619, 2003.

BOCKHEIM, J. G. Revisiting the definitions of the sombric horizon in soil taxonomy and world reference base for soil resources. **Geoderma**, v. 170, p. 127-135, 2012.

BOCKHEIM, J. G. Properties and genesis of argialbolls in the USA. **Geoderma**, v. 255-256, p. 73-80, 2015.

BOCKHEIM, J. G.; HARTEMINK, A. E. Distribution and classification of soils with clay-enriched horizons in the USA. **Geoderma**, v. 209-210, p. 153-160, 2013.

BOND, W. J. Illuvial band formation in a laboratory column of sand. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, 265-267, 1986.

BORCHARDT, G. Smectites. *In*: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.) **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 675-727.

BOTELHO, M. R. **Gênese de horizontes subsuperficiais escuros de solos em área do Batólito Pelotas, RS**. 2011. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

BOURGAULT, R. R.; ROSS, D. S.; BAILEY, S. W. Chemical and morphological distinctions between vertical and lateral podzolization at Hubbard Brook. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, 428-439, 2015.

BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, v. 54, p. 464-465, 1962.

BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404 p.

BREWER, R. Cutans: their definition, recognition, and interpretation. **Journal of Soil Science**, v. 11, p. 280-294, 1960.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. Huntington: Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. 482 p.

BREWER, R.; HALDANE, A. D. Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils. **Soil Science**, v. 84, p. 301-310, 1957.

BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, v. 3, p. 199-206, 1970.

BRINKMAN, R. Surface-water gley soils in Bangladesh: genesis. **Geoderma**, v. 17, p. 111-144, 1977.

BROWN, I. C.; THORP, J. **Morphology and composition of some soils of the Miami family and the Miami catena**. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1942. 55 p.

BULLOCK, P et al. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985. 152 p.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D. Some characteristics of clay skins on peds in the B horizon of a gray-brown podzolic soil. **Soil science society of America proceedings**, v. 23, p. 239-241, 1959.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D. Clay skin genesis in Wisconsin soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 25, p. 377-379, 1961.

BURKE, I. C. et al. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, 800-805, 1989.

BUURMAN, P.; RODEJA, E. G.; CORTIZAS, A. M.; DOESBURG, J. D. J. Stratification of parent material in European volcanic and related soils studied by laser-diffraction grain-sizing and chemical analysis. **Catena**, v. 56, p. 127-144, 2004.

BUURMAN, P.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINS, V. M. The podzol hydrosequence of Itaguapé (São Paulo, Brazil). 1. Geomorphology and interpretation of profile morphology. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 1294-1306, 2013.

CAILLIER, M.; VISSER, S. A. Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances, II. short-term effects of humus-rich peat water on clay aggregation. **Geoderma**, v. 43, p. 1-9, 1988.

CANER, L.; SEEN, D. L.; GUNNELL, Y.; RAMESH, B. R. BOURGEON, G. Spatial heterogeneity of land cover response to climatic change in the Nilgiri highlands (southern India) since the last glacial maximum. **HAL**, v. 17, p. 195-205, 2007.

CANER, L.; TOUTAIN, F.; BOURGEON, G.; HERBILLON, A. J. Occurrence of sombric-like subsurface A horizons in some andic soils of the Nilgiri Hills (southern India) and their palaeoecological significance. **Geoderma**, v. 117, p. 251-265, 2003.

CANN, D. B.; WHITESIDE, E. P. A study of the genesis of a podzol-gray brown podzolic intergrade soil profile in Michigan. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 19, p. 497-501, 1955.

CARIA, G. et al. Black carbon estimation in French calcareous soils using chemo-thermal oxidation method. **Soil Use and Management**, v. 27, 333-339, 2011.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (CNPS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1999. 412 p.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (CNPS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2006. 306 p.

CHARTRES, C. J. The composition and formation of grainy void cutans in some soils with textural contrast in southeastern Australia. **Geoderma**, v. 39, p. 209-233, 1987.

CHESWORTH, W. (ed.) **Encyclopedia of soil science**. Berlin: Springer, 2008. 902 p.

CHITTLEBOROUGH, D. J.; WALKER, P. H.; OADES, J. M. Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia, I. descriptions, chemical properties and micromorphologies of soils. **Geoderma**, v. 32, p. 181-202, 1984a.

CHITTLEBOROUGH, D. J.; WALKER, P. H.; OADES, J. M. Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia, II. Evidence from particle-size distributions. **Geoderma**, v. 32, p. 203-226, 1984b.

CHITTLEBOROUGH, D. J.; WALKER, P. H.; OADES, J. M. Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia, III. Evidence from elemental chemistry. **Geoderma**, v. 32, p. 227-248, 1984c.

CHOROM, M.; RENGASAMY, P.; MURRAY, R. S. Clay dispersion as influenced by pH and net particle charge of sodic soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, p. 1243-1252, 1994.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 345-353, 2001.

CHURCHMAN, G. J.; LOWE, D. J. Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils. *In*: HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMMER, M. E. (ed.) **Handbook of soil sciences: properties and process**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. p. 20.1-20.72.

CHURCHMAN, G. J.; SKJEMSTAD, J. O.; OADES, J. M. Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 31, p. 779-800, 1993.

CLINE, M. Profile studies of normal soils of New York: I. soil profile sequences involving brown forest, gray-brown podzolic, and brown podzolic soils. **Soil Science**, v. 68, p. 259-272, 1949.

CLAYTON, J. S.; EHRLICH, W. A.; CANN, D. B.; DAY, J. H.; MARSHALL, I. B. **Soils of Canada**. Ottawa: Canada Department of Agriculture, 1977. 243 p.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. RothC-26.3 - a model for the turnover of carbon in soil. *In*: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin: Springer, 1996. p. 237-246.

CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, v. 24, p. 101-128, 1980.

CONINCK, F.; RIGHI, D.; MAUCORPS, J.; ROBIN, A. M. Origin and micromorphological nomenclature of organic matter in sandy spodosols. *In*: RUTHERFORD, G. K. (ed.) **Soil microscopy**. Kingston: The Limestone Press, 1974. p. 263-279.

CONTE, P.; PICCOLO, A. Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on associations of humic molecules. **Environmental Science and Technology**, v. 33, p. 1682-1690, 1999.

CRAENE, A.; LARUELLE, J. Genèse et altération des latosols équatoriaux et tropicaux humides: les observations sur le terrain en relation avec les observations microscopiques. **Bulletin Agricole du Congo Belge**, v. 46, p. 1113-1243, 1955.

CREMEENS, D. L.; MOKMA, D. L. Argillic horizon expression and classification in the soils of two Michigan hydrosequences. **Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1002-1007, 1986.

CREUTZBERG, D.; SOMBROEK, W. G. Micromorphological characteristics of nitisols. In: RÉUNION INTERNATIONALE DE MICROMORPHOLOGIE DES SOLS, 7., Paris, 1987. **Actes...** Paris: ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ETUDE DU SOL, 1987. p. 151-155.

CURRIE, L. A. et al. A critical evaluation of interlaboratory data on total, elemental, and isotopic carbon in the carbonaceous particle reference material, NIST SRM 1649a. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v. 107, p. 279-298, 2002.

CURTIN, D.; STEPPUHN, H.; SELLES, F. Clay dispersion in relation to sodicity, electrolyte concentration, and mechanical effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 955-962, 1994.

CURTIN, D.; TROLOVE, S. Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. **Soil Research**, v. 51, p. 494-502, 2013.

DALY, B. K. Identification of podzols and podzolised soils in New Zealand by relative absorbance of oxalate extracts of A and B horizons. **Geoderma**, v. 28, p. 29-38, 1982.

DERJAGUIN, B. V.; CHURAEV, N. V.; MULLER, V. M. **Surface forces**. Tradução de KISIN, V. I. e KITCHENER, J. A. Berlin: Springer, 1987. 440 p.

DICKENS, A. F.; GÉLINAS, Y.; HEDGES, J. I. Physical separation of combustion and rock sources of graphitic black carbon in sediments. **Marine Chemistry**, v. 92, p. 215-223, 2004.

DIJKERMAN, J. C. Pedology as a science: the role of data, models and theories in the study of natural soil systems. **Geoderma**, v. 11, p. 73-93, 1974.

DIXIT, S. P. Measurement of the mobility of soil colloids. **Journal of Soil Science**, v. 29, p. 557-566, 1978.

DIXIT, S. P. Influences of pH on electrophoretic mobility of some soil colloids. **Soil Science**, v. 133, p. 144-149, 1982.

DIXIT, S. P.; GOMBEER, R.; D'HOORE, J. The electrophoretic mobility of natural clays and their potential mobility within the pedon. **Geoderma**, v. 13, p. 325-330, 1975.

DIXON, J. B. Kaolin and serpentine group minerals. *In*: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 466-525.

DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.) **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil science society of America, 1989. 1244 p.

DOERR, S. H.; SHAKESBY, R. A.; WALSH, R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. **Earth-Sciences Reviews**, v. 51, p. 33-65, 2000.

DONG, A.; CHESTERS, G.; SIMSIMAN, G. V. Soil dispersibility. **Soil Science**, v. 136, p. 208-212, 1983.

DOUGLAS, L. A. Vermiculites. *In*: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.) **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 635-674.

DRIESSEN, P.; DECKERS, J. **Lectures notes on the major soils of the world**. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2001. 334 p.

DUCHAUFOUR, P. **Pedology**: pedogenesis and classification. Tradução de PATON, T. R. London: George Allen and Unwin, 1982. 448 p.

DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S.; WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, v. 18, p. 1781-1796, 2012.

DURGIN, P. B.; CHANEY, J. G. Dispersion of kaolinite by dissolved organic matter from Douglas-fir roots. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 64, p. 445-455, 1984.

D'HOORE, J. Induced migration of clay and other moderately mobile soil constituents. I. general introduction. II. natural clay fractionation. **Pedologie**, v. 20, p. 51-61, 1970.

ELLIOTT, P. E.; DROHAN, P. J. Clay accumulation and argillic-horizon development as influenced by aeolian deposition vs. local parent material on quartzite and limestone-derived alluvial fans. **Geoderma**, v. 151, p. 98-108, 2009.

ELMQUIST, M.; CORNELISSEN, G.; KUKULSKA, Z.; GUSTAFSSON, Ö. Distinct oxidative stabilities of char versus soot black carbon: implications for quantification and environmental recalcitrance. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 20, p. 1-11, 2006.

ESSINGTON, M. E. **Soil and water chemistry**: an integrative approach. Boca Raton: CRC Press, 2003. 534 p.

ESWARAN, H. **Annual report: soil management support services.** Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1985. 116 p.

ESWARAN, H. Taxonomy and management related properties of the 'red soils' of Africa. *In: NYAMAPFENE, K.; HUSSEIN, J.; ASUMADU, K. (ed.) The red soils of east and southern Africa.* Harare: INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE (IDRC), 1988. p. 1-23.

ESWARAN, H.; TAVERNIER, R. Classification and Genesis of oxisols. *In: THENG, B. K. G. (ed.) Soils with variable charge.* Lower Hutt: New Zealand Soil Bureau, DSIR, 1980. p. 427-442.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v. 34, p. 1591-1600, 2003.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Organo-mineral associations in sandy acid forest soils: importance of specific surface area, iron oxides and micropores. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 753-763, 2005a.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1567-1575, 2005b.

EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G.; SOUZA, P. A. Registros polínicos para o Holoceno Tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da savana estépica parque. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 17, p. 183-194, 2014.

EWING, S. A.; SANDERMAN, J.; BAISDEN, W. T.; WANG, Y.; AMUNDSON, R. Role of large-scale soil structure in organic carbon turnover: evidence from California grassland soils. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. 1-9, 2006.

FAIVRE, P. L'horizon sombrique: une ébauche d'horizon organo-argilique. Exemple des sols de la région intradine de Colombie (Amérique du Sud). **Pedologie**, v. 40, p. 273-297, 1990.

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESOKY, M. A. Micas. *In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.) Minerals in soil environments.* 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 551-634.

FARMER, V. C.; RUSSEL, J. D.; BERROW, M. L. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons: evidence for a mobile aluminium silicate complex in podzol formation. **Journal of Soil Science**, v. 31, p. 673-684, 1980.

FEDOROFF, N.; COURTY, M. A.; GUO, Z. Palaeosoils and relict soils. *In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (ed.) Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths.* Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 623-662.

FEIJTEL, T. C.; JONGMANS, A. G.; BREEMEN, N.; MIEDEMA, R. Genesis of two planosols in the Massif Central, France. **Geoderma**, v. 43, p. 249-269, 1988.

FITZPATRICK, E. A. **Micromorphology of soils**. London: Chapman and Hall, 1984. 433 p.

FORBES, T. R. **The Guy Smith interviews**: rationale for concepts in soil taxonomy by Guy D. Smith. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1986. 260 p.

FOSTER, R. C. Mycelial strands of *Pinus radiata* D. Don: ultrastructure and histochemistry. **The New Phytologist**, v. 88, p. 705-712, 1981.

FRANKART, R. The soils with sombric horizons in Rwanda and Burundi. In: PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 4., 1981, Rwanda. **Proceedings...** Brussels: ABOS-AGCD, 1983. p. 48-64.

FRANZMEIER, D. P.; HAJEK, B. F.; SIMONSON, C. H. Use of amorphous material to identify spodic horizon. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 29, p. 737-743, 1965.

FREI, E.; CLINE, M. G. Profile studies of normal soils of New York: II. micromorphological studies of the gray-brown podzolic-brown podzolic soil sequence. **Soil Science**, v. 68, p. 333-344, 1949.

FRENKEL, H.; FEY, M. V.; LEVY, G. J. Organic and inorganic anion effects on reference and soil clay critical flocculation concentration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1762-1766, 1992a.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J. O.; RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 32-39, 1978.

FRENKEL, H.; LEVY, G. J.; FEY, M. V. Clay dispersion and hydraulic conductivity of clay-sand mixtures as affected by the addition of various anions. **Clay and Clay Minerals**, v. 40, p. 515-521, 1992b.

FURUKAWA, Y.; WATKINS, J. L.; KIM, J.; CURRY, K. J.; BENNETT, R. H. Aggregation of montmorillonite and organic matter in aqueous media containing artificial seawater. **Geochemical Transactions**, v. 10:2, p. 1-11, 2009.

GARDNER, D. R.; WHITESIDE, E. P. Zonal soils in the transition region between the podzol and gray-brown podzolic regions in Michigan. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 16, p. 137-141, 1952.

GÉLINAS, Y.; PRENTICE, K. M.; BALDOCK, J. A.; HEDGES, J. I. An improved thermal oxidation method for the quantification of soot/graphitic black carbon in

sediments and soils. **Environmental Science and Technology**, v. 35, p. 3519-3525, 2001.

GIBBS, R. J. Effect of natural organic coatings on the coagulation of particles. **Environmental Science and Technology**, v. 17, p. 237-240, 1983.

GOCKE, M. et al. Introducing an improved multi-proxy approach for paleoenvironmental reconstruction of loess-paleosol archives applied on the Late Pleistocene Nussloch sequence (SW Germany). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 410, p. 300-315, 2014.

GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clays. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 714-718, 1990.

GOLDBERG, S.; KAPOOR, B. S.; RHOADES, J. D. Effect of aluminum and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of arid zone soils. **Soil Science**, v. 150, p. 588-593, 1990.

GOMBEER, R.; D'HOORE, J. Induced migration of clay and other moderately mobile soil constituents. III. Critical soil/water dispersion ratio, colloid stability and electrophoretic mobility. **Pedologie**, v. 21, p. 311-342, 1971.

GOMBEER, R.; D'HOORE, J. Detection of clay in soil solution with methylene-blue paper and the assessment of clay mobility in soils. **Journal of Soil Science**, v. 24, p. 157-161, 1973.

GOUVEIA, S. E. M. et al. 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 and Planetary Change**, v. 33, p. 95-106, 2002.

GREGORY, J.; O'MELIA, C. R. Fundamentals of flocculation. **Critical Reviews in Environmental Control**, v. 19, p. 185-230, 1989.

GRIM, R. E.; BRAY, R. H.; BRADLEY, W. F. The mica in argillaceous sediments. **The American mineralogist**, v. 22, p. 813-829, 1937.

GU, B.; DONER, H. E. Dispersion and aggregation of soils as influenced by organic and inorganic polymers. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 709-716, 1993.

GUGGENBERGER, G.; ELLIOTT, E. T.; FREY, S. D.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 407-419, 1999.

GUGGENHEIM, S. et al. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) nomenclature committee for 2006. **Clay and Clay Minerals**, v. 54, p. 761-772, 2006.

GUNAL, H.; RANSOM, M. D. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. **Catena**, v. 68, p. 59-69, 2006.

GUPTA, R. K.; BHUMBLA, D. K.; ABROL, I. P. Effect of sodicity, pH, organic matter, and calcium carbonate on the dispersion behavior of soils. **Soil Science**, v. 137, p. 245-251, 1984.

GUSTAFSSON, Ö.; HAGHSETA, F.; CHAN, C. Quantification of the dilute sedimentary soot phase: implications for PAH speciation and bioavailability. **Environmental Science and Technology**, v. 31, p. 203-209, 1997.

GUSTAFSSON, Ö. et al. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 881-990, 2001.

HAMMES, K. et al. Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 21, p. 1-18, 2007.

HEIL, D.; SPOSITO, G. Organic matter role in illitic soil colloids flocculation: I. counter ions and pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1241-1246, 1993a.

HEIL, D.; SPOSITO, G. Organic matter role in illitic soil colloids flocculation: II. surface charge. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1246-1253, 1993b.

HIGASHI, T.; CONINCK, F.; GELAUE, F. Characterization of some spodic horizons of the campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. **Geoderma**, v. 25, p. 131-142, 1981.

HOLE, F. D. A classification of pedoturbations and some process and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. **Soil Science**, v. 91, p. 375-377, 1961.

HOLE, F. D.; NIELSEN, G. A. Soil genesis under prairie. PROCEEDINGS OF THE FIRST SYMPOSIUM ON PRAIRIE AND PRAIRIE RESTORATION, 1., 1968, Galesburg. **Proceedings...** Galesburg: KNOX COLLEGE, 1970. p. 28-34.

HOLMGREN, G. G. S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 31, p. 203-210, 1967.

HOLT, R. F.; McMILLER, P. R. Characteristics of some forest soils from the gray-brown podzolic-podzol transition zone in northeastern Minnesota. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 20, p. 84-87, 1956.

HSIEH, Y. P.; BUGNA, G. C. Analysis of black carbon in sediments and soils using multi-element scanning thermal analysis (MESTA). **Organic Geochemistry**, v. 39, p. 1562-1571, 2008.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v. 13, 1975, p. 1-22, 1975.

ISELL, R. F.; NATIONAL COMMITTEE ON SOIL AND TERRAIN (NCST). **The Australian soil classification**. 2. ed. Clayton: COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION PUBLISHING (CSIRO PUBLISHING), 2016, 152 p.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). **Compendium of chemical terminology (gold book)**. Zurich: INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC), 2014. 1622 p.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2006**: a framework for international classification, correlation and communication. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2006. 132 p.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (update 2015). Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2015. 192 p.

JEANROY, E.; GUILLET, B. The occurrence of suspended ferruginous particles in pyrophosphate extracts of some soil horizons. **Geoderma**, v. 26, p. 95-105, 1981.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: Dover Publications, 1941. 320 p.

JOHNSON, D. L. Paleosols are buried soils. **Quaternary International**, v. 51-51, p. 7-7, 1998.

JOHNSON, D. L.; WATSON-STEGNER, D. Evolution model of pedogenesis. **Soil Science**, v. 143, p. 349-366, 1987.

KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of aluminum in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. **Soil Science**, v. 161, p. 452-458, 1996.

KARATHANASIS, A. D.; HAJEK, B. F. Transformation of smectite to kaolinite in naturally acid soil systems: structural and thermodynamic considerations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, 158-163, 1983.

KARATHANASIS, A. D.; MACNEAL, B. R. Evaluation of parent material uniformity criteria in loess-influenced soils of west-central Kentucky. **Geoderma**, v. 64, p. 73-92, 1994.

KELLEY, W. P. The so-called solonetz soils of California and their relation to alkali soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. B15, p. 45-52, 1934.

KELLOGG, C. E.; DAVOL, F. D. **An exploratory study of soil groups in the Belgian Congo**. Brussels: INSTITUT NATIONAL POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE (I.N.É.A.C.), 1949. 79 p.

KERPEN, W.; SCHARPENSEEL, H. W. Movement of ions and colloids in undisturbed soil and parent rock material columns. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST SYMPOSIUM ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES, 1., 1967, Istanbul. **Proceedings...** Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 1967. p. 213-226.

KLEBER, M.; JOHNSON, M. G. Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: implications for interactions in the environment. In: SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy, volume 106**. Amsterdam: Elsevier, 2010, p. 77-142.

KLEBER, M.; SOLLINS, P.; SUTTON, R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. **Biogeochemistry**, v. 85, p. 9-24, 2007.

KLEBER, M. et al. Old and stable soil organic matter is not necessarily chemically recalcitrant: implications for modeling concepts and temperature sensitivity. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1097-1107, 2010.

KLEBER, M. et al. Mineral-organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments. In: SPARKS, D. L. (ed.) **Advances in Agronomy, volume 130**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 1-140.

KNICKER, H.; MÜLLER, P.; HILSCHER, A. How useful is chemical oxidation with dichromate for the determination of "black carbon" in fire-affected soils? **Geoderma**, v. 142, p. 178-196, 2007.

KÖPPEN, W. G. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W. G.; GEIGER, R. M. **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 1936. 44 p.

KOSMAS, C.; MOUSTAKAS, N. Hydraulic conductivity and leaching of an organic saline-sodic soil. **Geoderma**, v. 46, p. 363-370, 1990.

KRASILNIKOV, P.; CALDERÓN, N. E. G. A WRB-based buried paleosol classification. **Quaternary International**, v. 156-157, p. 176-188, 2006.

KRASILNIKOV, P.; MARTÍ, J. J. I.; ARNOLD, R.; SHOBA, S. (ed.) **Soil terminology, correlation and classification**. London: Earthscan, 2009. 440 p.

KRETZSCHMAR, R.; HESTERBERG, D.; STICHER, H. Effects of adsorbed humic acid on surface charge and flocculation of kaolinite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 101-108, 1997.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W. P.; WEED, S. B. Flocculation of kaolinitic soil clays: effects of humic substances and iron oxides. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1277-1283, 1993.

KRULL, E. S.; BESTLAND, E. A.; SKJEMSTAD, J. O.; PARR, J. F. Geochemistry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, ^{13}C NMR) and residence times (^{14}C and OSL) of soil organic matter from red-brown earths of south Australia: implications for soil genesis. **Geoderma**, v. 132, p. 344-360, 2006.

KUHLBUSCH, T. A. J. Method for determining black carbon in residues of vegetation fires. **Environmental Science and Technology**, v. 29, p. 2695-2702, 1995.

KÜHN, P.; AGUILAR, J.; MIEDEMA, R. Textural pedofeatures and related horizons. *In*: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (ed.) **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 217-250.

KUZILA, M. S. Identification of multiple loess units within modern soils of Clay County, Nebraska. **Geoderma**, v. 65, p. 45-57, 1995.

LADEIRA, F. S. B. Solos do passado: origem e identificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1773-1786, 2010.

LANGOHR, R.; SCOPPA, C. O.; WAMBEKE, A. The use of a comparative particle size distribution index for the numerical classification of soil parent materials: application to mollisols of the Argentinian pampa. **Geoderma**, v. 15, p. 305-312, 1976.

LAPHAM, M. H. Genesis and morphology of desert soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. B13, p. 34-52, 1932.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, p. 60-68, 2015.

LEIFELD, J. Thermal stability of black carbon characterised by oxidative differential scanning calorimetry. **Organic Geochemistry**, v. 38, 112-127, 2007.

LUNARDI NETO, A. **Gênese de horizontes subsuperficiais escurecidos em argissolos de Santa Catarina e em luvissoles da campanha gaúcha**. 2012. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

LUNDSTRÖM, U. S.; BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, v. 94, p. 91-107, 2000a.

LUNDSTRÖM, U. S.; BREEMEN, N.; JONGMANS, A. G. Evidence for microbial decomposition of organic acids during podzolization. **European Journal of Soil Science**, v. 46, p. 489-496, 1995.

LUNDSTRÖM, U. S.; ÖHMAN, L. O. Dissolution of feldspars in the presence of natural, organic solutes. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 359-369, 1990.

LUNDSTRÖM, U. S. et al. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic countries. **Geoderma**, v. 94, 335-353, 2000b.

LÜTZOW, M. V. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 426-445, 2006.

MACK, G. H.; JAMES, W. C.; MONGER, H. C. Classification of paleosols. **Geological Society of America Bulletin**, v. 105, p. 129-136, 1993.

MARCHUK, A.; RENGASAMY, P.; McNEIL, A. Influence of organic matter, clay mineralogy, and pH on the effects of CROSS on soil structure in related to the zeta potential of the dispersed clay. **Soil Research**, v. 51, p. 34-40, 2013.

MASIELLO, C. A. New directions in black carbon organic geochemistry. **Marine Chemistry**, v. 92, 201-203, 2004.

MAYER, L. M.; XING, B. Organic matter-surface area relationships in acids soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, 250-258, 2001.

McCALEB, S. B. Profile studies of normal soils of New York: IV. Mineralogical properties of the gray-brown podzolic-brown podzolic soil sequence. **Soil Science**, v. 77, p. 319-334, 1954.

McCALEB, S. B.; CLINE, M. G. Profile studies of normal soils of New York: III. Physical and chemical properties of brown forest and gray-brown podzolic soils. **Soil Science**, v. 70, p. 315-328, 1950.

McKEAGUE, J. A. An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 47, p. 95-99, 1967.

McKEAGUE, J. A.; CONINCK, F.; FRANZMEIER, D. P. Spodosols. *In*: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (ed.) **Pedogenesis and Soil Taxonomy: II. the soil orders**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 217-252.

McKEAGUE, J. A.; SCHUPPLI, P. A. Changes in concentration of iron and aluminum in pyrophosphate extraction of soil and composition of sediment resulting from ultracentrifugation in relation to spodic horizon criteria. **Soil Science**, v. 134, p. 265-270, 1982.

MEL'NIKOVA, M. K.; KOVENYA, S. V. Use of radioactive tracers for simulating the lessivage process. **Soviet Soil Science**, v. 3, p. 611-618, 1971.

MEREDITH, W. et al. Assessment of hydropyrolysis as a method for the quantification of black carbon using standard reference materials. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 97, p. 131-147, 2012.

MIEDEMA, R.; SLAGER, S. Micromorphological quantification of clay illuviation. **Journal of Soil Science**, v. 23, p. 309-314, 1972.

MIKLÓS, A. A. W. Stone-lines and oxic horizons: biogenetic organisations - soil fauna. In: IAG REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 1999, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Paris: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS (IAG), 1999.

MIKUTTA, R.; KLEBER, M.; TORN, M. S.; JAHN, R. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? **Biogeochemistry**, v. 77, p. 25-56, 2006.

MIKUTTA, R. et al. Biogeochemistry of mineral-organic associations across a long-term mineralogical soil gradient (0.3-4100 kyr), Hawaiian Islands. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 73, p. 2034-2060, 2009.

MOODY, L. E. Leaching and illuviation. In: LAL, R (ed.). **Encyclopedia of soil science**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 1022-1025.

MORTLAND, M. M. Mechanisms of adsorption of nonhumic organic species by clays. HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (ed.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 59-76.

MUHS, D. R. Intrinsic thresholds in soils systems. **Physical Geography**, v. 5, p. 99-110, 1984.

MÜLLER, T.; HÖPER, H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 877-888, 2004.

MUSZTYFAGA, E.; KABALA, C. Lithological discontinuity in glossic planosols (albeluvisols) of Lower Silesia (SW Poland). **Soil Science Annual**, v. 66, p. 180-190, 2015.

MUTWEWINGABO, B. Genese, caracteristiques et contraintes d'aménagement des sols acides a horizon sombre de profondeur de la region de haute altitude du Rwanda. In: SOLTROP 89: ACTES DU PREMIER SÉMINAIRE FRANCO-AFRICAIN DE PÉDOLOGIE TROPICALE, 1., 1989, Lomé. **Proceedings...** Paris: OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER (ORSTOM), 1989. p. 353-385.

NAPPER, D. H. Steric stabilization. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 58, p. 390-407, 1977.

NARKIS, N.; REBHUN, M. The mechanism of flocculation process in the presence of humic substances. **Journal - American Water Works Association**, v. 67, p. 101-108, 1975.

NARKIS, N.; REBHUN, M. Flocculation in presence of organic macromolecules of natural water and secondary effluents. **Water Science and Technology**, v. 36, p. 85-91, 1997.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - WELLER Series**, 1997. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/W/WELLER.html>. Acesso em: 21 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - FAYETTE Series**, 2006. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/F/FAYETTE.html>. Acesso em: 16 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - ONTARIO Series**, 2007. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/O/ONTARIO.html>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - FOX Series**, 2011a. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/F/FOX.html>. Acesso em: 16 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - WOOSTER Series**, 2011b. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/W/WOOSTER.html>. Acesso em: 16 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - MIAMI Series**, 2014. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/M/MIAMI.html>. Acesso em: 16 de abril de 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Official series descriptions (OSD) - HONEOYE Series**, 2016. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/H/HONEOYE.html>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

NATIONAL COOPERATIVE SOIL SURVEY (NCSS). **NCSS query page**. Disponível em: <<https://ncsslabdatamart.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

NEBBIOSO, A.; PICCOLO, A. Basis of a humeomics science: chemical fractionation and molecular characterization of humic biosuprastructures. **Biomacromolecules**, v. 12, p. 1187-1199, 2011.

NEBBIOSO, A.; PICCOLO, A. Advances in humeomics: enhanced structural identification of humic molecules after size fractionation of a soil humic acid. **Analytica Chimica Acta**, v. 720, p. 77-90, 2012.

NELSON, P. N.; BALDOCK, J. A.; CLARKE, P.; OADES, J. M.; CHURCHMAN, G. J. Dispersed clay and organic matter in soil: their nature and associations. **Australian Journal of Soil Research**, v. 37, p. 289-315, 1999.

NELSON, P. N.; OADES, J. M. Organic matter, sodicity, and soil structure. *In*: SUMMER, M. E.; NAIDU, R. I. (ed.) **Sodic soils**. Distribution, processes, management and environmental consequences. New York: Oxford University Press, 1998. p. 51-75.

NETTLETON, W. D.; BRASHER, E. C.; BENHAM, E. C.; AHRENS, R. J. A classification system for buried paleosols. **Quaternary international**, v. 51/52, p. 175-183, 1998.

NETTLETON, W. D.; FLACH, K. W.; BRASHER, B. R. Argillic horizons without clay skins. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 121-125, 1969.

NETTLETON, W. D.; OLSON, C. G.; WYSOCKI, D. A. Paleosol classification: problems and solutions. **Catena**, v. 41, p. 61-92, 2000.

NETTLETON, W. D.; WITTY, J. E.; NELSON, R. E.; HAWLEY, J. W. Genesis of argillic horizons in soils of desert areas of the southwestern United States. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 39, p. 919-926, 1975.

NGUYEN, T. H.; BROWN, R. A.; BALL, W. P. An evaluation of thermal resistance as a measure of black carbon content in diesel soot, wood char, and sediment. **Organic Geochemistry**, v. 35, p. 217-234, 2004.

NGUYEN, M. N.; DULTZ, S.; TRAN, T. T. T.; BUI, A. T. K. Effect of anions on dispersion of kaolinitic soil clay: a combined study of dynamic light scattering and test tube experiments. **Geoderma**, v. 209-210, p. 209-213, 2013.

NICHOLS, J. D. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern great plains. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, 1382-1384, 1984.

NIESCHMIDT, E. A. Observation on the morphology of solonetz soils in north central Nebraska. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. B15, p. 70-70, 1934.

NIKIFOROFF, C. C. The solonetz-like soils in southern California. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 29, p. 781-796, 1937.

NIKIFOROFF, C. C. Fundamental formula of soil formation. **American Journal of Science**, v. 240, p. 847-866, 1942.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 35-70, 1988.

OENNING, I. **Gênese e classificação de solos argilosos com horizonte B escurecido do sul do Brasil**. 2001. 107 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

OLIVEIRA, R. B. **Identificação do limite entre solo e saprólito em argissolos bruno-acinzentados derivados de rochas sedimentares**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Micromorfologia e gênese de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2407-2423, 2008.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. Jaboticabal: FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO (FUNEP), 1992. 201 p.

OLMOS, J. I. L.; CAMARGO, M. N. Conceituação preliminar de podzólicos bruno-acinzentados tentativamente identificados no país. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (SNLCS). **Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS**. Rio de Janeiro: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1982. 31 p.

OORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Cation exchange capacities of soil organic fractions in a ferric lixisol with different organic matter inputs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 100, p. 161-171, 2003.

OSTER, J. D.; SHAINBERG, I.; WOOD, J. D. Flocculation value and gel structure of sodium/calcium montmorillonite and illite suspensions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 955-959, 1980.

O'MELIA, C. R. Particle-particle interactions in aquatic systems. **Colloids and Surfaces**, v. 39, p. 255-271, 1989.

PARAMANANTHAN, S. ESWARAN, H. Morphological properties of oxisols. *In*: THENG, B. K. G. (ed.) **Soils with variable charge**. Lower Hutt: New Zealand Soil Bureau, DSIR, 1980. p. 427-442.

PARFITT, R. L.; CHILDS, C. W. Estimation of forms of Fe and Al: a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. **Australian Journal of Soil Research**, v. 26, p. 121-144, 1988.

PARIKH, S. J.; GOYNE, K. W.; MARGENOT, A. J.; MUKOME, F. N. D.; CALDERÓN, F. **Soil chemical insights provided through vibrational spectroscopy**. Lincoln: University of Nebraska-Lincoln (UNL), 2014. 148 p.

PARTON, W. J. The CENTURY model. *In*: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin: Springer, 1996. p. 283-291.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil Science**, v. 166, p. 810-832, 2001.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *In*: SPARKS, D. **Advances in Agronomy, volume 75**. London: Academic Press, 2002. p. 57-134.

PICCOLO, A.; COZZOLINO, A.; CONTE, P.; SPACCINI, R. Polymerization of humic substances by an enzyme-catalyzed oxidative coupling. **Naturwissenschaften**, v. 87, p. 391-394, 2000.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates. **Soil Science**, v. 147, p. 47-54, 1989.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 950-955, 1994.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1801-1810, 1999.

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Macromolecular changes of humic substances induced by interaction with organic acids. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p. 319-328, 1996.

PICCOLO, A.; SPITELLER, M. Electrospray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 377, p. 1047-1059, 2003.

PHILLIPS, J. D. Stability implications of the state factor model of soils as a nonlinear dynamical system. **Geoderma**, v. 58, p. 1-15, 1993.

PHILLIPS, J. D. Deterministic uncertainty in landscapes. **Earth Surface Process and Landforms**, v. 19, p. 389-401, 1994.

PHILLIPS, J. D. Contingency and generalization in pedology, as exemplified by texture-contrast soils. **Geoderma**, v. 102, p. 347-370, 2001.

PHILLIPS, J. D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. **Catena**, v. 58, p. 275-295, 2004.

PHILLIPS, J. D.; LORZ, C. Origins and implications of soil layering. **Earth-Science Reviews**, v. 89, p. 144-155, 2008.

RĂDUCU, D.; GHERGHINA, A.; ANGHEL, A.; EFTENE, M. Micromorphology and evolution of the impure clay coatings in some phaeozems from Romania. **Scientific Papers. Series A. Agronomy**, v. 52, p. 48-53, 2009.

RANST, E.; RIGHI, D.; CONINCK, F.; ROBIN, A. M.; JAMAGNE, M. Morphology, composition and genesis of argillans and organans in soils. **Journal of Microscopy**, v. 120, p. 353-361, 1980.

REBERTUS, R. A.; WEED, S. B.; BUOL, S. W. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 810-819, 1986.

RETZER, J. L.; SIMONSON, R. W. Distribution of carbon in morphological units from the B horizons of solonetz-like soils. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 33, p. 1009-1013, 1941.

RILLIG, M. C.; CALDWELL, B. A.; WÖSTEN, H. A. B.; SOLLINS, P. Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence. **Biogeochemistry**, v. 85, p. 25-44, 2007.

RIQUIER, J. La matière organique dans les sols ferrallitiques. In: LES SOLS FERRALLITIQUES: REUNION ANNUELLE, 4., 1966, Paris. **Proceedings...** Paris: OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER (ORSTOM), 1966. p. 33-37.

RODHE, H. Modeling biogeochemical cycles. In: JACOBSON, M.; CHARLSON, R.; RODHE, H.; ORIAN, GORDON. (ed.) **Earth system science, volume 72: from biogeochemical cycles to global changes**. London: Academic Press, 2000. p. 62-67.

ROSTAD, H. P. W.; SMECK, N. E.; WILDING, L. P. Genesis of argillic horizons in soils derived from coarse-textured calcareous gravels. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, p. 739-744, 1976.

ROWELL, D. L.; PAYNE, D.; AHMAD, N. The effect of the concentration and movement of solutions on the swelling, dispersion, and movement of clay in saline and alkali soils. **Journal of Soil Science**, v. 20, p. 176-188, 1969.

RUHE, R. V. **Geology of the soils of the Nioka-Ituri area, Belgian Congo**. Brussels: INSTITUT NATIONAL POUR E'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE (I.N.É.A.C.), 1954. 32 p.

RUHE, R. V. **Landscape evolution in the Ituri Belgian Congo**. Brussels: INSTITUT NATIONAL POUR E'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE (I.N.É.A.C.), 1956. 109 p.

RUHE, R. V.; DANIELS, R. B. Soils, paleosols, and soil-horizon nomenclature. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 22, p. 66-69, 1958.

RUNGE, E. C. A. Soil development sequences and energy models. **Soil Science**, v. 115, p. 183-193, 1973.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. rev. ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2013. 353 p.

SAUER, D.; SCHÜLLI-MAURER, I.; SPERSTAD, R.; SORENSEN, R.; STAHR, K. Albeluvisol development with time in loamy marine sediments of southern Norway. **Quaternary International**, v. 209, p. 31-43, 2009.

SCHAETZL, R. J. Spodosol-alfisol intergrades: bisequal soils in NE Michigan, USA. **Geoderma**, v. 74, p. 23-47, 1996.

SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection, and application. **Soil Science**, v. 163, p. 570-590, 1998.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils genesis and geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 817 p.

SCHAETZL, R. J.; SORENSON, C. J. The concept of "buried" versus "isolated" paleosols: examples from northeastern Kansas. **Soil Science**, v. 143, p. 426-435, 1987.

SCHARPENSEEL, H. W.; KERPEN, W. Studies on tagged clay migration due to water movement. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST SYMPOSIUM ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES, 1., 1967, Istanbul. **Proceedings...** Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 1967. p. 279-289.

SCHARPENSEEL, H. W.; KRUSE, E. Amino acids in clay-humic acid complex formation. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST SYMPOSIUM ISOTOPES AND RADIATION IN SOIL-PLANT RELATIONSHIPS INCLUDING FORESTRY, 1., 1971, Viena. **Proceedings...** Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 1972. p. 193-210.

SCHAUMANN, G. E. Soil organic matter beyond molecular structure. Part I: macromolecular and supramolecular characteristics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, p. 145-156, 2006.

SCHMIDT, M. W. I.; NOACK, A. G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 14, p. 777-793, 2000.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Comparative analysis of black carbon in soils. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 163-167, 2001.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (ed.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 77-101.

SCHUMM, S. A. Geomorphic thresholds: the concept and its applications. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 4, p. 485-515, 1979.

SCHULZE, D. G. An introduction to soil mineralogy. *In*: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 1-34.

SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (SNLCS). **Estudo expedito de solos do estado de Santa Catarina, para fins de classificação, correlação e legenda preliminar**. Rio de Janeiro: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1980a. 155 p.

SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (SNLCS). **Estudo expedito de solos do estado do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, para fins de classificação, correlação e legenda preliminar**. Rio de Janeiro: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1980b. 262 p.

SHAINBERG, I.; LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, v. 52, p. 1-57, 1984.

SHAINBERG, I.; RHOADES, J. D. PRATHER, R. J. Effects of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. **Science Society of America Journal**, v. 45, p. 273-277, 1980.

SHANMUGANATHAN, R. T.; OADES, J. M. Influence of anions on dispersion and physical properties of the A horizon of a red brown earth. **Geoderma**, v. 29, p. 257-277, 1983.

SHELDON, N. D.; TABOR, N. J. Quantitative paleoenvironmental reconstruction using paleosols. **Earth-Science Reviews**, v. 95, p. 1-52, 2009.

SHISHKOV, T.; KOLEV, N. **The soils of Bulgaria**. Berlin: Springer, 2014. 208 p.

SIMPSON, A. J. et al. Separation of structural components in soil organic matter by diffusion ordered spectroscopy. **Environmental Science and Technology**, v. 35, p. 4421-4425, 2001.

SIMPSON, A. J. et al. Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment. **Naturwissenschaften**, v. 89, p. 84-88, 2002.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 23, p. 152-156, 1959.

SIX, J.; JASTROW, J. D. Organic matter turnover. *In*: LAL, R. (ed.) **Encyclopedia of soil science, volume 2**. 2. ed. New York: Taylor and Francis, 2002. p. 936-942.

SMECK, N. E.; RUNGE, E. C. A.; MACKINTOSH, E. E. Dynamics and genetic modelling of soil systems. *In*: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (ed.) **Pedogenesis and soil taxonomy: I. concepts and interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 51-81.

SMECK, N. E.; WILDING, L. P.; HOLOWAYCHUK, N. Genesis of argillic horizons in Celina and Morley soils of western Ohio. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 32, p. 550-556, 1968.

SMITH, G. D. Historical development of soil taxonomy - background. *In*: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (ed.) **Pedogenesis and soil taxonomy: I. concepts and interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 23-49.

SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP. **The Canadian system of soil classification**. 3. ed. Ottawa: AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA (AAFC), 1998. 187 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1975. 754 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1993.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2014. 360 p.

SOLLINS, P. et al. Organic C and N stabilization in a forest soil: evidence from sequential density fractionation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 3313-3324, 2006.

SOMMER, M.; HALM, D.; WELLER, U.; ZAREI, M.; STAHR, K. Lateral podzolization in a granite landscape. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, 1434-1442, 2000.

SOMMER, M. et al. Lateral podzolization in a sandstone catchment. **Geoderma**, v. 103, p. 231-247, 2001.

SOUCHIER, B.; DUCHAUFOR, P. Sur la stabilité des suspensions argileuses en milieu acide. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série D**, v. 278, p. 1849-1852, 1969.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2. ed. London: Academic Press, 2003. 352 p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2008. 329 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley and Sons, 1982. 443 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1994. 512 p.

STOBBE, P. C. The morphology and genesis of the gray-brown podzolic and related soils of eastern Canada. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 16, p. 81-84, 1952.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C.; SIMPSON, T. W. Soil-landscape relationships in Virginia: I. soil variability and parent material uniformity. **Science Society of America Journal**, v. 57, p. 414-421, 1993a.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C.; SIMPSON, T. W. Soil-landscape relationships in Virginia: II. reconstruction analysis and soil genesis. **Science Society of America Journal**, v. 57, p. 422-428, 1993b.

STOOPS, G. (ed.) Multilingual translation of the terminology used in the "Handbook for soil thin section description". **Pedologie**, v. 36, p. 337-348, 1986.

STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (ed.) **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. 720 p.

SUAREZ, D. L.; RHOADES, J. D.; LAVADO, R.; GRIEVE, C. M. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 50-55, 1984.

SUTTON, R.; SPOSITO, G. Molecular structure in soil humic substances: the new view. **Environmental Science and Technology**, v. 39, p. 9009-9015, 2005.

SYS, C. **Carte des sols et de la vegetation du Congo Belge et du Ruanda-Urundi**. Brussels: INSTITUT NATIONAL POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE (I.N.É.A.C.), 1960. 99 p.

SYS, C. **Caractérisation morphologique et physico-chimique de profils types de l'Afrique centrale**. Brussels: INSTITUT NATIONAL POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE (I.N.É.A.C.), 1972. 498 p.

TADROS, T. F. **Rheology of dispersions: principles and applications**. New York: John Wiley and Sons, 2010. 216 p.

TADROS, T. F. Electrostatic and steric stabilization of colloidal dispersions. OHSHIMA, H. (ed.) **Electrical phenomena at interfaces and biointerfaces: fundamentals and applications in nano-, bio-, and environmental sciences**. New York: John Wiley and Sons, 2012. p. 153-172.

TARCHITZKY, J; CHEN, Y.; BANIN, A. Humic substances and pH effects on sodium- and calcium-montmorillonite flocculation and dispersion. **Science Society of America Journal**, v. 57, p. 367-372, 1993.

TAVERNIER, R.; SYS, C. Classification of the soils of the Republic of Congo (Kinshasa). **Pedologie**, International symposium number 3 - Soil classification, p. 91-136, 1965.

TESSENS, E. Clay migration in upland soils of Malaysia. **Journal of Soil Science**, v. 35, 615-624, 1984.

THENG, B. K. G. Interactions between montmorillonite and fulvic acid. **Geoderma**, v. 15, p. 243-251, 1976.

THENG, B. K. G. **Formation and properties of clay-polymer complexes**. Amsterdam: Elsevier, 1979. 362 p.

THENG, B. K. G. **Formation and properties of clay-polymer complexes**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 511 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORP, J.; CADY, J. G.; GAMBLE, E. E. Genesis of Miami silt loam. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 23, p. 156-161, 1959.

THORP, J.; SMITH, G. D. Higher categories of soil classification: order, suborder, and great soil groups. **Soil Science**, v. 67, p. 117-126, 1949.

THORP, J.; STRONG, L. E.; GAMBLE, E. Experiments in soil genesis - the role of leaching. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 21, p. 99-102, 1957.

TIROL-PADRE, A.; LADHA, J. K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 969-978, 2004.

TISDALL, J. M. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. CARTER, M. R.; STEWART, B. A. **Advances in soil science: structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 57-96.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TOMBÁ CZ, E.; GILDE, M.; SZÁNTÓ, F. The effects of Na-salicylate and Na-fulvate on the stability and rheological properties of Na-montmorillonite suspensions. **Acta Physica et Chemica**, v. 30, p. 165-174, 1984.

TOMBÁ CZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A.; KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, v. 35, p. 257-267, 2004.

TOMBÁ CZ, E.; SZEKERES, M.; BARANYI, L.; MICHÉLI, E. Surface modification of clay minerals by organic polyions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 141, p. 379-384, 1998.

TORN, M. S.; SWANSTON, C. W.; CASTANHA, C.; TRUMBORE, S. E. Storage and turnover of organic matter in soil. *In*: SENESI, N.; XING, B.; HUANG, P. M. **Biophysico-chemical process involving natural nonliving organic matter in environmental systems**. New York: John Wiley and Sons, 2009. p. 219-272.

TORN, M. S.; TRUMBORE, S. E.; CHADWICK, O. A.; VITOUSEK, P. M.; HENDRICKS, D. M. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. **Nature**, v. 389, p. 170-173, 1997.

TORRENT, J.; NETTLETON, W. D. Feedback process in soil genesis. **Geoderma**, v. 20, p. 281-287, 1978.

VEEN, J. A.; KUIKMAN, P. J. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. **Biogeochemistry**, v. 11, p. 213-233, 1990.

VELASCO-MOLINA, M.; KNICKER, H.; MACÍAS, F. The potencial of humic material in sombric-like horizons of two Brazilian soil profiles as an efficient carbon sink within the global C cycle. *In*: XU, J.; WU, J.; HE, Y. (ed.) **Functions of natural organic matter in changing environment**. Berlin: Springer; Hangzhou: Zhejiang University Press, 2013. p. 429-433.

VISSER, S. A.; CAILLIER, M. Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances, I. dispersive effects of humic acids. **Geoderma**, v. 42, p. 331-337, 1988.

VLIET-LANOË, B. The genesis and age of the argillic horizon in Weichselian loess of northwestern Europe. **Quaternary International**, v. 5, p. 49-56, 1990.

WAKSMAN, S. A. **Humus**: origin, chemical composition, and importance in nature. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1936. 494 p.

WALKER, P. H.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Development of particle-size distributions in some alfisols of southeastern Australia. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 394-400, 1986.

WAMBEKE, A. Les sols du Rwanda-Burundi. **Pedologie**, v. 11, p. 289-353, 1961.

WAMBEKE, V. Tropical soils and soil classification updates. *In*: STEWART, B.A. **Advances in Soil Science, volume 10**. Berlin: Springer, 1989. 200 p.

WAMBEKE, V. **Soils of the tropics**: properties and appraisal. New York: McGraw-Hill, 1992. 343 p.

WANDRUSZKA, R. The micellar model of humic acid: evidence from pyrene fluorescence measurements. **Soil Science**, v. 163, p. 921-930, 1998.

WAROSZEWSKI, J. et al. Lithological discontinuities in podzols developed from sandstone cover beds in the Stolowe Mountains (Poland). **Catena**, v. 126, p. 11-19, 2015.

- WATTEL-KOEKKOEK, E. J. W.; BUURMAN, P.; PLICHT, J.; WATTEL, E.; BREEMEN, N. Mean residence time of soil organic matter associates with kaolinite and smectite. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 269-278, 2003.
- WATTEL-KOEKKOEK, E. J. W.; GENUCHTEN, P. P. L.; BUURMAN, P.; LAGEN, B. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. **Geoderma**, v. 99, p. 27-49, 2001.
- WEINDORF, D. C. et al. Lithologic discontinuity assessment in soils via portable X-ray fluorescence spectrometry and visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, p. 1704-1716, 2015.
- WERSHAW, R. L. A new model for humic materials and their interactions with hydrophobic organic chemicals in soil-water or sediment-water systems. **Journal of Contamination Hydrology**, v. 1, p. 29-45, 1986.
- WERSHAW, R. L. Model for humus in soils and sediments. **Environmental Science and Technology**, v. 27, p. 814-816, 1993.
- WERSHAW, R. L. **Membrane-micelle model for humus in soils and sediments and its relation to humification**. Reston: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 1994. 48 p.
- WERSHAW, R. L. Molecular aggregation of humic substances. **Soil Science**, v. 164, p. 803-813, 1999.
- WERSHAW, R. L. **Evaluation of conceptual models of natural organic matter (humus) from a consideration of the chemical and biochemical process of humification**. Reston: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2004. 44 p.
- WERSHAW, R. L.; LLAGUNO, E. C.; LEENHEER, J. A. Mechanism of formation of humus coatings on mineral surfaces 3. Composition of adsorbed organic acids from compost leachate on alumina by solid-state ^{13}C NMR. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 108, 213-223, 1996a.
- WERSHAW, R. L.; LLAGUNO, E. C.; LEENHEER, J. A.; SPERLINE, R. P. SONG, Y. Mechanism of formation of humus coatings on mineral surfaces 2. Attenuated total reflectance spectra of hydrophobic and hydrophilic fractions of organic acids from compost leachate on alumina. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 108, 199-211, 1996b.
- WERSHAW, R. L.; PINCKNEY, D. J. Determination of the association and dissociation of humic acid fractions by small angle X-ray scattering. **Journal of Research of the US Geological Survey**, v. 1, p. 701-707, 1973.
- WERSHAW, R. L.; PINCKNEY, D. J. Chemical structure of humic acids - part 2, the molecular aggregation of some humic acid fractions in N, N-dimethylformamide. **Journal of Research of the US Geological Survey**, v. 5, p. 571-577, 1977.

WERSHAW, R. L.; PINCKNEY, D. J. Isolation and characterization of clay-humic complexes. *In*: BAKER, R. A. (ed.) **Contaminants and sediments, volume 2: analysis, chemistry, biology**. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1980. p. 207-219.

WERSHAW, R. L.; PINCKNEY, D. J.; BOOKER, S. E. Chemical structure of humic acids - part 1, a generalized structural model. **Journal of Research of the US Geological Survey**, v. 5, p. 565-569, 1977.

WERSHAW, R. L. et al. Mechanism of formation of humus coatings on mineral surfaces 1. Evidence for multidentate binding of organic acids from compost leachate on alumina. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 96, 93-104, 1995.

WHITE, E. M.; RIECKEN, F. F. Brunizem-gray brown podzolic soil biosequences. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 19, p. 504-509, 1955.

WILSON, M. J. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. **Clay Minerals**, v. 34, p. 7-25, 1999.

WILSON, M. A.; RIGHI, D. Spodic materials. *In*: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (ed.) **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 251-273.

WINTERS, E.; SIMONSON, R. W. The subsoil. *In*: NORMAN, A. G. (ed.) **Advances in Agronomy, volume 3**. London: Academic Press, p. 1-92, 1951.

WRIGHT, V. P. Paleosol recognition: a guide to early diagenesis in terrestrial settings. *In*: CHILINGARIAN, G. V.; WOLF, K. H. **Diagenesis, III**. Amsterdam: Elsevier, 1992. 673 p.

YUAN, G.; THENG, B. K. G. Clay-organic interactions in soil environments. *In*: HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMMER, M. E. (ed.) **Handbook of soil sciences: resources management and environmental impacts**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. p. 2.1-2.20.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abráptico de São João do Polêsine-RS.

APÊNDICE B — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico de Rosário do Sul-RS.

APÊNDICE C — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abráptico de Arvorezinha-RS.

APÊNDICE D — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO AMARELO Alítico típico de Aurora-SC.

APÊNDICE E — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abráptico de Alfredo Wagner-SC.

APÊNDICE F — Descrições detalhadas das análises de laboratório do item 5.5.

APÊNDICE G — Feições pedológicas em lâminas delgadas dos horizontes BA, Bt1 e Bt2 do perfil PBAC - SJP. As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Magnificação de 40 ou 100x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 1000 ou 400 μm . Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

APÊNDICE H — Feições pedológicas em lâminas delgadas dos horizontes BA1 e Bt do perfil PBAC - ARV. As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Magnificação de 100x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 400 μm . Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

APÊNDICE I — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - SJP. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

APÊNDICE J — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - RS. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

APÊNDICE K — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - ARV. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

APÊNDICE L — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PA - AUR. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

APÊNDICE M — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - AW. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

APÊNDICE N — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - SJP. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

APÊNDICE O — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - RS. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

APÊNDICE P — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - ARV. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

APÊNDICE Q — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PA - AUR. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

APÊNDICE R — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - AW. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

APÊNDICE S — Agrupamento hierárquico aglomerativo, sendo reunidas 80 variáveis de alguns horizontes dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW.

APÊNDICE A — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abráptico de São João do Polêsine-RS.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL — PBAC - SJP.

DATA — 05/08/2013.

CLASSIFICAÇÃO — ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abráptico.

LOCALIZAÇÃO — município de São João do Polêsine, estado do Rio Grande do Sul; coordenadas geográficas -29,676620°, -53,495700°; localizado na comunidade Linha da Glória, distrito do Vale Vêneto; o acesso está localizado no lado esquerdo da rodovia RS-149, km 128, no sentido Restinga Seca (RS)-São João do Polêsine, logo depois de uma ponte na divisa entre esses municípios, próxima de uma olaria; o perfil está no lado esquerdo.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL — barranco em um corte de estrada; topo de elevação/início da encosta em um fundo de vale com uma declividade de aproximadamente 5%; cobertura vegetal formada por pastagens e lavouras.

ALTITUDE — 103 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA — arenito com intercalação de pelito; Grupo Rosário do Sul, Formação Caturrita (Triássico). Nas margens da escarpa da Formação Serra Geral (Cretáceo), Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO — produto da alteração do material supracitado com uma possível contribuição de um material coluvial arenoso.

PEDREGOSIDADE — não pedregoso.

ROCHOSIDADE — não rochoso.

RELEVO LOCAL — suave ondulado.

RELEVO REGIONAL — suave ondulado.

EROSÃO — não aparente.

DRENAGEM — imperfeitamente/moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA — Floresta Estacional Decidual.

USO ATUAL — pastagens e lavouras.

CLIMA — Köppen: Cfa; Thornthwaite: B4B'3ra'.

DESCRITO E COLETADO POR — Jaime Antonio de Almeida, Fernando Perobelli Ferreira, Letícia Sequinatto, Daniel Alexandre Heberle, Tiago Viegas Cereza e Francisco Alexandre de Moraes.

DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

A1	0-25 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado-escuro (10YR3.5/4) + <u>solo seco</u> : bruno (10YR5/3); textura arenosa; estrutura em grãos simples + fraca, pequena/média, granular; consistência solta, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes comuns, fasciculadas, finas.
A2	25-50/55 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro/bruno-acinzentado-escuro (10YR3.5/2) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado (10YR5/2); textura arenosa; estrutura em grãos simples + fraca, média, granular; consistência solta, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta; raízes comuns, fasciculadas, finas.
BA	50/55-78 cm	<u>solo úmido</u> : cinzento muito escuro (10YR3/1) + <u>solo seco</u> : cinzento muito escuro (10YR3/1) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2); textura argilosa; estrutura moderada, média/grande, blocos angulares/blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes comuns, fasciculadas, finas.
Bt1	78-108 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) e bruno-escuro (7.5YR3/4) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) e bruno-amarelado (10YR5/6); textura argilosa; estrutura moderada, média/grande, blocos angulares/blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes poucas, fasciculadas, finas/médias.
Bt2	108-160/170 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2), bruno-avermelhado (5YR4/3), bruno-avermelhado-escuro (5YR3/4) e vermelho-escuro (2.5YR3/6) + <u>solo seco</u> : bruno-escuro (10YR3/3), cinzento-claro (7.5YR7/1), vermelho-amarelado (5YR4/6) e vermelho-amarelado (5YR5/6); textura média; estrutura prismática + moderada, média, blocos angulares/subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual; raízes poucas, fasciculadas, finas/médias.
BC	160/170-185 cm	<u>solo úmido</u> : bruno muito escuro (10YR2/2), bruno (10YR5/3) e bruno forte (7.5YR5/6) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2), cinzento-claro (7.5YR7/1) e bruno forte (7.5YR5/6); textura arenosa; estrutura maciça (aspecto) + fraca, grande, blocos angulares/blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes raras.
C	185-200 cm +	<u>solo úmido</u> : bruno muito escuro (10YR2/2), bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2), vermelho-claro-acinzentado (2.5YR6/2), vermelho (2.5YR4/6) e bruno forte (7.5YR5/6) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2), bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2), cinzento-claro (7.5YR7/1), vermelho-claro (2.5YR6/8) e amarelo-brunado (10YR6/6); textura arenosa; estrutura maciça; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, plástica, ligeiramente pegajosa; raízes ausentes.

OBSERVAÇÕES:

O recobrimento dos agregados por revestimentos de origem orgânica se estende até o horizonte C, com intensidade muito forte nos horizontes BA e Bt1. Os revestimentos se mostraram brilhantes no estado úmido. Nos horizontes Bt2, BC e C, os revestimentos estão acompanhados por zonas de depleção do ferro com cores acinzentadas e/ou amareladas que contrastam com outras avermelhadas no interior da matriz dos agregados. Uma atividade biológica intensa foi evidenciada pela presença de alguns canais de raízes em formas cilíndricas preenchidos por um material ferroso, zonas escuras oriundas das raízes decompostas no interior dos agregados, muitos bioporos etc. Não existe indício de qualquer zona de cascalhos e/ou pedras entre os horizontes A2 e BA.

DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Horizonte A1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = enáulica

Proporções = material grosso: 70%; material fino (< 2 µm): 10%; poróides: 20%

Razão G:F = 7:1

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 98%

Grau de seleção = grãos bem selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 2%

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Outros minerais = presença esporádica de grãos do ortoclásio

Material fino (< 2 µm)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-acinzentado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Tecidos = a ocorrência é numerosa (2-5%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por microagregados entre os grãos do material grosso

Poróides

Empilhamento complexo = 70%

Canais = 30%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Horizonte A2

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = enáulica

Proporções = material grosso: 70%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 10%; poróides: 20%

Razão G:F = 7:1

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 98%

Grau de seleção = grãos bem selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 2%

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Outros minerais = presença esporádica de grãos do ortoclásio

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-acinzentado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Tecidos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por microagregados entre os grãos do material grosso

Poróides

Empilhamento complexo = 80%

Canais = 20%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Horizonte BA

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 25%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 50%; poróides: 25%

Razão G:F = 1:2

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 98%

Grau de seleção = grãos bem selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares;

minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 2%

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-avermelhado escuro; minoritariamente, bruno-avermelhado muito escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é esporádica

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis: a microestrutura primária é composta por blocos subangulares e angulares; estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares; esporadicamente, pedal com microestrutura complexa em três níveis: microestrutura primária composta por blocos subangulares e angulares; microestrutura secundária composta por blocos subangulares e angulares; e microestrutura terciária composta por blocos subangulares

Considerando-se apenas os dois níveis:

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido ou fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 45% (cavidades: 80%; fissuras: 20%)

Interagregados = 50% (fissuras: 70%; câmaras: 15%; cavidades: 15%)

Transagregados = 5% (canais: 40%; câmaras: 30% cavidades: 30%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 50% (fissuras: 50%; câmaras: 20%; cavidades: 20%; canais: 10%)

Interagregados = 50% (fissuras: 50%; câmaras: 25%; cavidades: 25%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula, em cúpula contínua e pendente em grãos do quartzo e nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é muito abundante ($> 20\%$), principalmente em fissuras entre os agregados; o contraste em relação ao fundo matricial adjacente é abrupto

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Preenchimentos descontínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Horizonte Bt1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 30%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 50%; poróides: 20%

Razão G:F = 3:5

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 98%

Grau de seleção = grãos bem selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 2%

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-avermelhado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos subangulares; estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido (minoritariamente, fracamente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada para o grau de pedalidade moderadamente desenvolvido; não acomodada para o grau de pedalidade fracamente desenvolvido

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 35% (cavidades: 80%; fissuras: 20%)

Interagregados = 35% (fissuras: 50%; câmaras: 50%)

Transagregados = 30% (câmaras: 60%; canais: 40%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (fissuras: 30%; cavidades: 30%; câmaras: 25%; canais: 15%)

Interagregados = 40% (fissuras: 40%; câmaras: 40%; cavidades: 20%)

Transagregados = 20% (canais: 100%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula, em cúpula contínua e pendente em grãos do quartzo e nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma

orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é muito abundante ($> 20\%$), principalmente em fissuras entre os agregados; o contraste em relação ao fundo matricial adjacente é abrupto

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Preenchimentos descontínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Horizonte Bt2

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 50%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 30%; poróides: 20%

Razão G:F = 5:3

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 98%

Grau de seleção = grãos bem selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 2%

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor (variegada) = material fino bruno-amarelado muito claro intercalado com vermelho-brunado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura em blocos subangulares

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (cavidades: 85%; fissuras: 15%)

Interagregados = 10% (fissuras: 100%)

Transagregados = 50% (canais: 60%; câmaras: 40%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula, em cúpula contínua e pendente em grãos do quartzo e nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é muito abundante (> 20%), principalmente em fissuras entre os agregados; o contraste em relação ao fundo matricial adjacente é abrupto

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Preenchimentos descontínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Depleção

Porções descoloridas no fundo matricial; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Amorfas

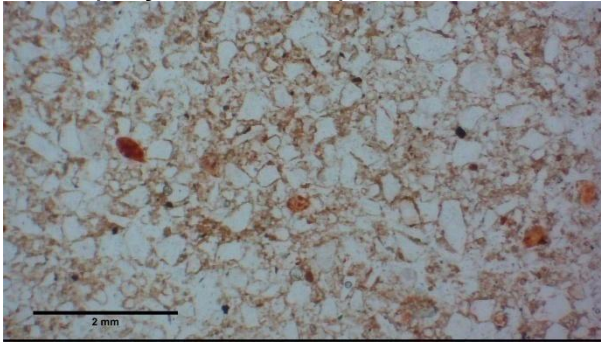
Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados; minoritariamente, pouco esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados

Nódulos impregnativos vermelhos a vermelho-escuros; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Hiporevestimentos de difusão; a ocorrência é ocasional (2-5%)

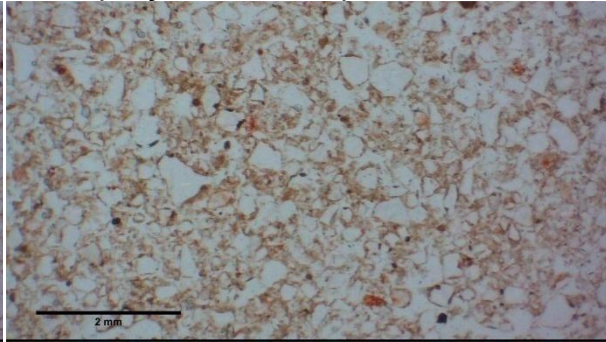
Horizonte A1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



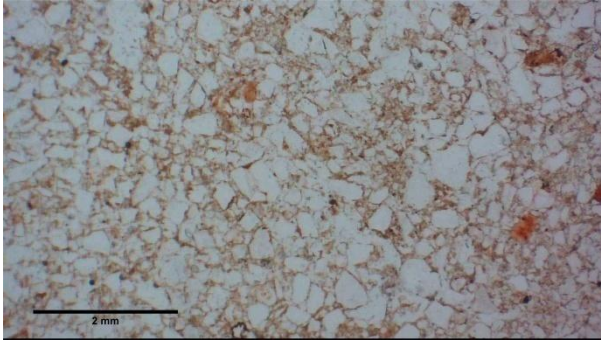
Horizonte A1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



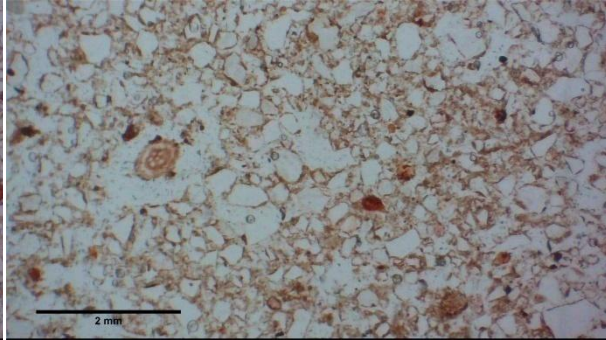
Horizonte A2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



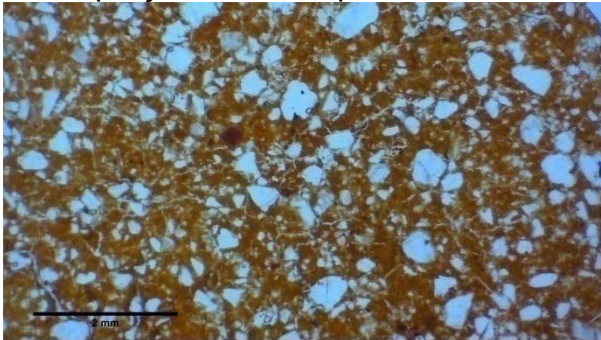
Horizonte A2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



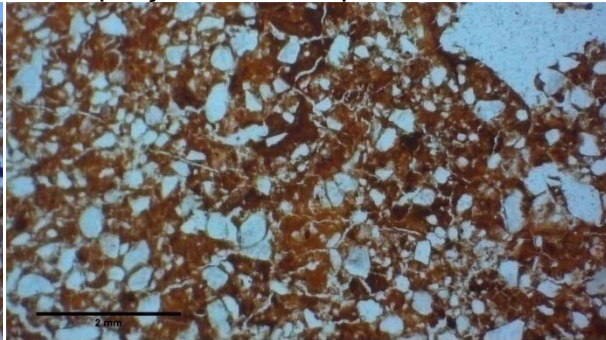
Horizonte BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



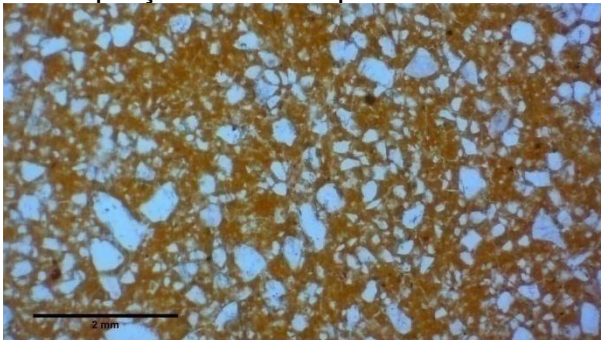
Horizonte BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



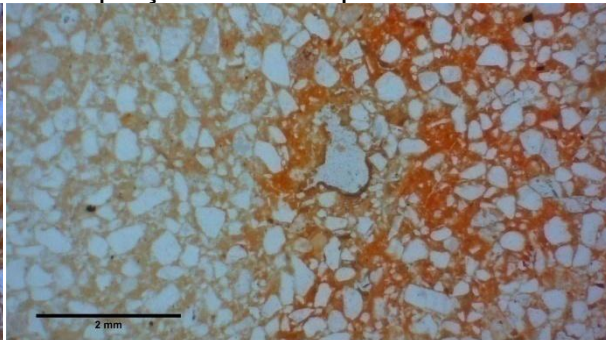
Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte Bt2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



APÊNDICE B — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico de Rosário do Sul-RS.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL — PBAC - RS.

DATA — 06/08/2013.

CLASSIFICAÇÃO — ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico.

LOCALIZAÇÃO — município de Rosário do Sul, estado do Rio Grande do Sul; coordenadas geográficas -30,240330°, -54,862730°; localizado às margens da rodovia BR-290, km 475, em direção à São Gabriel (RS), a cerca de 1 km depois do trevo de Cacequi (RS); o perfil está no lado direito.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL — barranco em um corte de estrada; terço inferior da encosta com uma declividade de aproximadamente 10%; cobertura vegetal formada por gramíneas e capoeira.

ALTITUDE — 141 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA — arenito fino e folhelho; Grupo Passa Dois, Formação Pirambóia (Permiano).

MATERIAL ORIGINÁRIO — produto da alteração do material supracitado com indícios de contribuição de um material coluvial arenoso.

PEDREGOSIDADE — não pedregoso.

ROCHOSIDADE — não rochoso.

RELEVO LOCAL — ondulado.

RELEVO REGIONAL — ondulado.

EROSÃO — não aparente.

DRENAGEM — imperfeitamente/moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA — campos subtropicais.

USO ATUAL — gramíneas e capoeira.

CLIMA — Köppen: Cfa; Thornthwaite: B3B'3ra'.

DESCRITO E COLETADO POR — Jaime Antonio de Almeida, Pablo Grahl dos Santos, Fernando Perobelli Ferreira, Letícia Sequinatto, Daniel Alexandre Heberle, Tiago Viegas Cereza e Francisco Alexandre de Moraes.

DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

A1	0-15 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado (10YR5/2); textura arenosa; estrutura em grãos simples + fraca, pequena, granular; consistência solta/macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
A2	15-40 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado (10YR5/2); textura arenosa; estrutura maciça (aspecto) + fraca, média, blocos angulares/blocos subangulares; consistência solta/macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
2BA1	40-45 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-escuro (7.5YR3/2) e vermelho (2.5YR4/8) + <u>solo seco</u> : bruno-escuro (7.5YR3/3) e vermelho (2.5YR5/8); textura média; estrutura moderada, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
2BA2	45-70 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/4) e vermelho (2.5YR4/8) + <u>solo seco</u> : bruno-forte (7.5YR5/6) e vermelho (2.5YR5/8); textura argilosa; estrutura moderada, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
2Bt	70-100 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/4) e vermelho (2.5YR4/8) + <u>solo seco</u> : bruno-claro (7.5YR6/4) e vermelho (2.5YR5/8); textura argilosa; estrutura moderada, média/grande, blocos angulares/blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
2BC	100-150 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/2) e vermelho-escuro (2.5YR3/6) + <u>solo seco</u> : cinzento-rosado (7.5YR6/2) e vermelho (2.5YR4/8); textura média; estrutura prismática + fraca, média/grande, blocos angulares/blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
2C	150-190 cm +	<u>solo úmido</u> : vermelho (2.5YR4/8) e branco-rosado (2.5YR8/2) + <u>solo seco</u> : vermelho-claro (2.5YR6/6) e branco (2.5YR8/1); textura arenosa; estrutura maciça; consistência ligeiramente dura/dura, friável/muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

Uma atividade biológica intensa foi evidenciada, principalmente dos cupins e formigas. Alguns pedotúbulos com diâmetro de 0,5 a 1 cm estão disseminados, principalmente pelos horizontes 2BA e 2Bt. A presença de manchas de depleção do ferro foi constatada, sendo representadas por áreas acinzentadas intercaladas com núcleos avermelhados (plintita). Estas aumentam em quantidade da base do horizonte 2Bt ao horizonte 2C, possivelmente acompanhando a atividade biológica supracitada (suposição baseada na impregnação da matéria orgânica na superfície externa das manchas acinzentadas). Alguns canais dos cupins com diâmetro de 0,5 a 1 mm foram constatados no interior das manchas acinzentadas. Algum fendilhamento vertical foi observado nos horizontes 2Bt e 2BC com o perfil exposto. O horizonte 2C preserva certo paralelismo das camadas do arenito.

DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Horizonte A1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = enáulica

Proporções = material grosso: 80%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 10%; poróides: 10%

Razão G:F = 8:1

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos discretos = 100%

Quartzo = 100%

Grau de seleção = pobremente selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento

Grãos maiores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados; minoritariamente, subarredondados ou subangulares

Grãos menores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); 1 nódulo pseudomórfico anórtico contendo incrustações de grãos do quartzo; o nódulo pseudomórfico é esférico e subarredondado, sendo muito maior em relação aos nódulos típicos

Outros minerais = presença esporádica de grãos do ortoclásio

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-acinzentado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, monoestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Tecidos = a ocorrência é rara (< 2%)

Material fino (< 2 µm)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por microagregados entre os grãos do material grosso

Poróides

Empilhamento complexo = 80%

Canais = 20%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Amorfos

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Horizonte A2

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = enáulica

Proporções = material grosso: 70%; material fino (< 2 µm): 20%; poróides: 10%

Razão G:F = 7:2

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos discretos = 100%

Quartzo = 100%

Grau de seleção = pobremente selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento

Grãos maiores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados; minoritariamente, subarredondados ou subangulares

Grãos menores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Outros minerais = presença esporádica de grãos do ortoclásio

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-acinzentado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, monoestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Tecidos = a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por microagregados entre os grãos do material grosso

Poróides

Empilhamento complexo = 90%

Canais = 10%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é numerosa (2-5%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Horizonte 2BA1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 25%; material fino (< 2 µm): 50%; poróides: 25%

Razão G:F = 1:2

Componentes básicos minerais

Material grosso (a zona horizontal de cascalhos constatada *in-situ* foi confirmada nesta lâmina delgada)

Grãos discretos = 100%

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = não selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento

Grãos maiores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados; minoritariamente, subarredondados ou subangulares

Grãos menores: majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); 1 nódulo pseudomórfico anórtico contendo incrustações de grãos do quartzo; o nódulo pseudomórfico é moderadamente esférico e subarredondado, sendo muito maior em relação aos nódulos típicos

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor (variegada) = material fino bruno-amarelado claro intercalado com bruno-avermelhado e vermelho-brunado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é esporádica

Tecidos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Apedal com uma microestrutura massiva com poucos poróides

Poróides

Cavidades = 40%

Fissuras = 30%

Canais = 30%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Excrementos

Excrementos intactos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Depleção

Porções descoloridas no fundo matricial; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Nódulos impregnativos vermelhos (esporadicamente, vermelho-escuros); a ocorrência é numerosa (5-10%)

Hiporevestimentos de difusão; a ocorrência é rara (< 2%)

Horizonte 2Bt

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 10%; material fino (< 2 µm): 60%; poróides: 30%

Razão G:F = 1:6

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos discretos = 100%

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = moderadamente a pobremente selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou

subangulares; minoritariamente, não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor (variegada) = material fino bruno-amarelado muito claro intercalado com bruno-avermelhado e vermelho-escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Tecidos = a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por blocos angulares e subangulares

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido ou fracamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada para o grau de pedalidade moderadamente desenvolvido; não acomodada para o grau de pedalidade fracamente desenvolvido

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 35% (cavidades: 50%; fissuras: 50%)

Interagregados = 35% (fissuras: 70; câmaras: 30%)

Transagregados = 30% (canais: 100%)

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula, em cúpula contínua e pendente em grãos do quartzo; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é rara (< 2%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é rara (< 2%)

Depleção

Porções descoloridas no fundo matricial; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Nódulos impregnativos vermelhos ou vermelho-escuros; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Hiporevestimentos de difusão; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Horizonte 2BC

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 30%; material fino (< 2 µm): 50%; poróides: 20%

Razão G:F = 3:5

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos discretos = 100%

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = moderadamente a pobremente selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor (variegada) = material fino bruno-amarelado muito claro intercalado com bruno-avermelhado e vermelho-escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Tecidos = a ocorrência é esporádica

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por blocos subangulares

Agregados

Grau de pedalidade = fracamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = não acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 30% (cavidades: 85%; fissuras: 15%)

Interagregados = 10% (fissuras: 100%)

Transagregados = 60% (canais: 80%; câmaras: 20%)

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula, em cúpula contínua e pendente em grãos do quartzo; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Depleção

Porções descoloridas no fundo matricial; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Amorfas

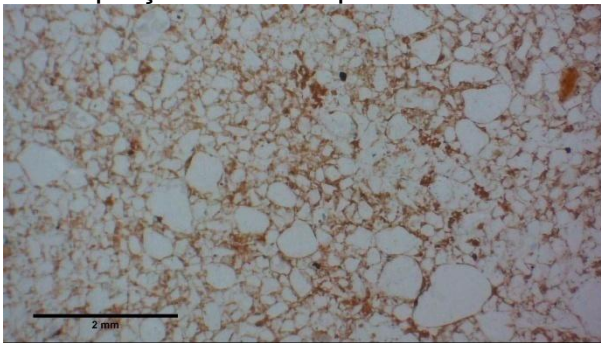
Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Nódulos impregnativos vermelhos ou vermelho-escuros; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Hiporevestimentos de difusão; a ocorrência é numerosa (5-10%)

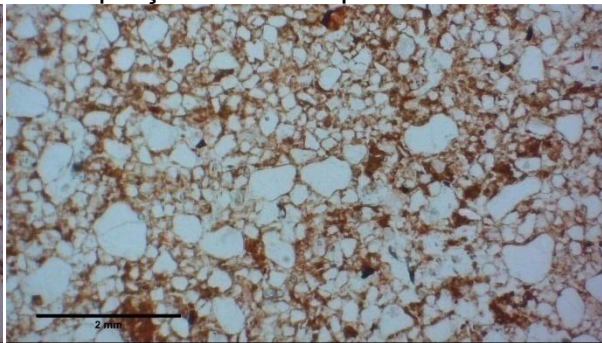
Horizonte A1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



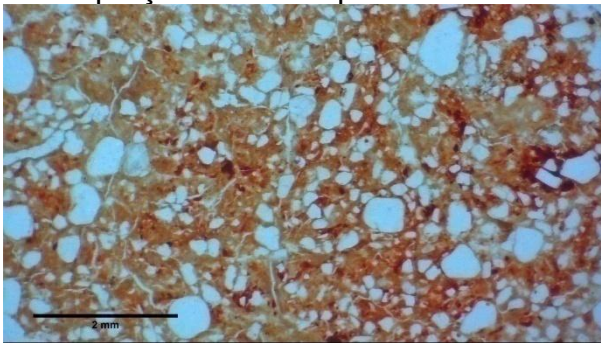
Horizonte A2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



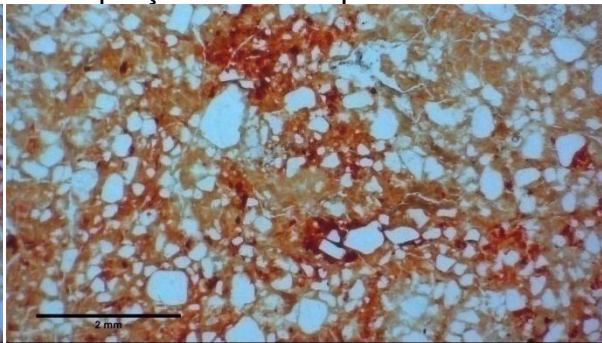
Horizonte 2BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



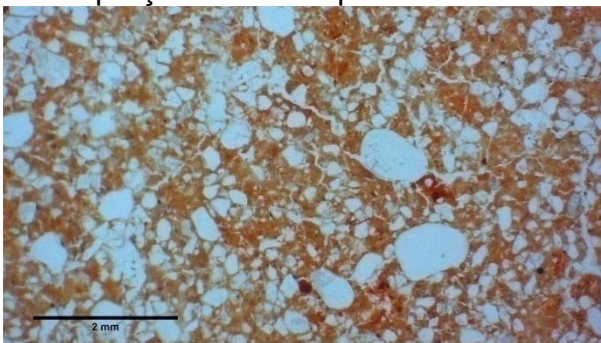
Horizonte 2BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



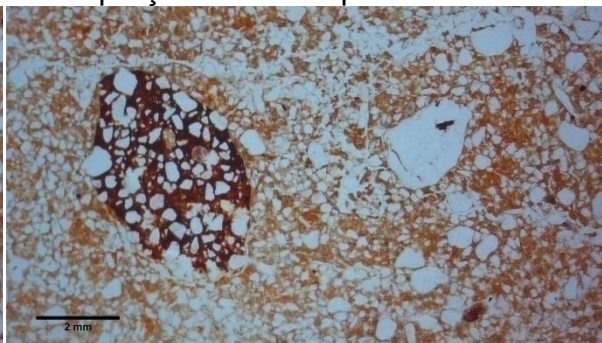
Horizonte 2BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



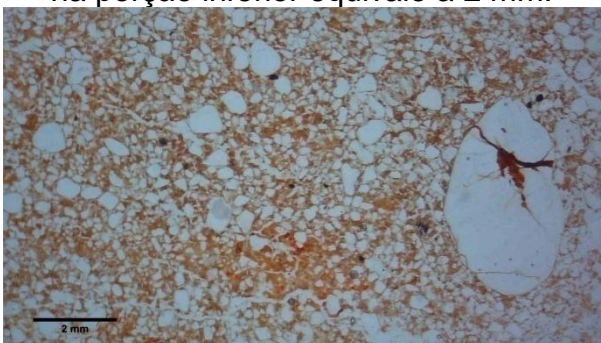
Horizonte 2BA1

Magnificação de 10x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



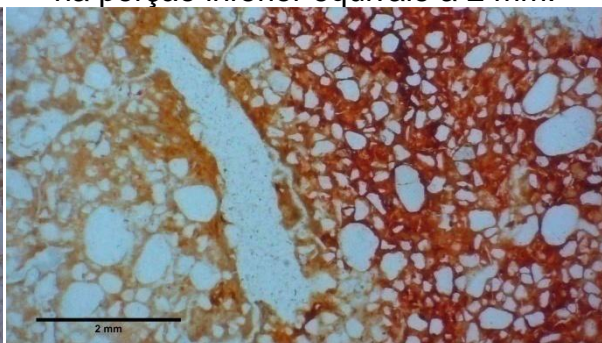
Horizonte 2BA1

Magnificação de 10x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.

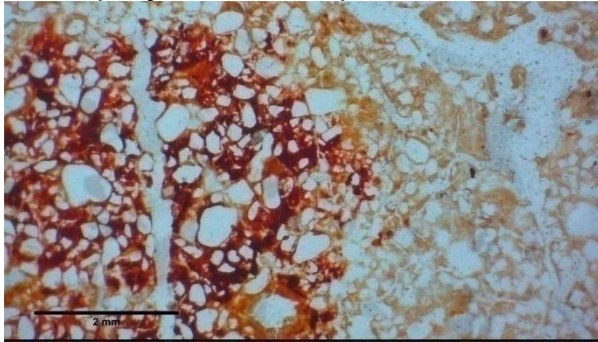


Horizonte 2Bt

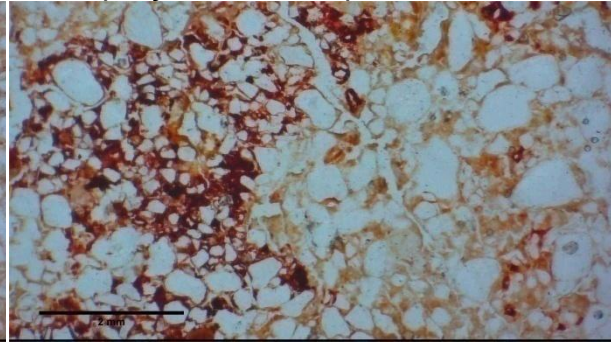
Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



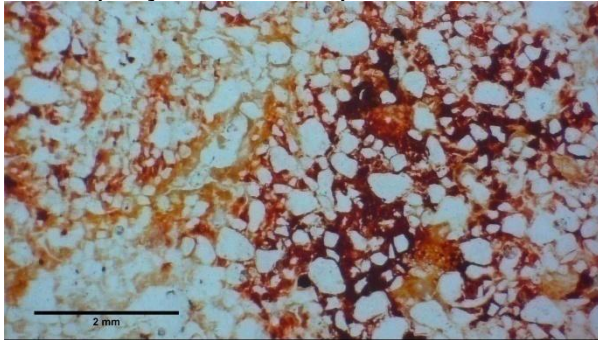
Horizonte 2Bt
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



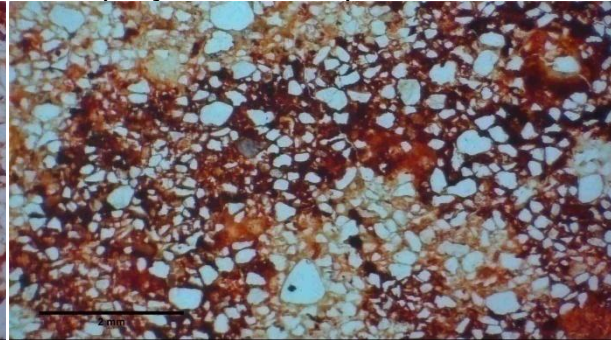
Horizonte 2Bt
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



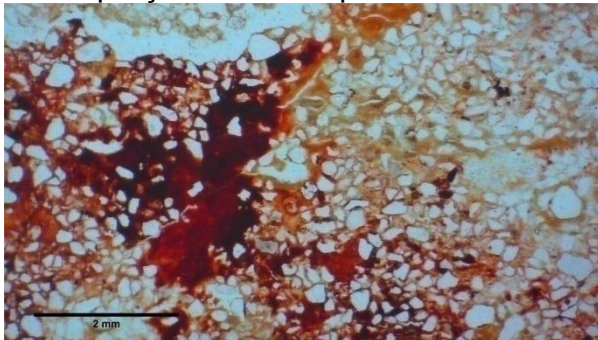
Horizonte 2Bt
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



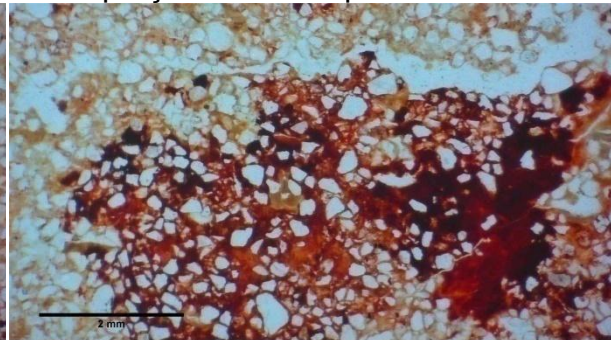
Horizonte 2BC
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



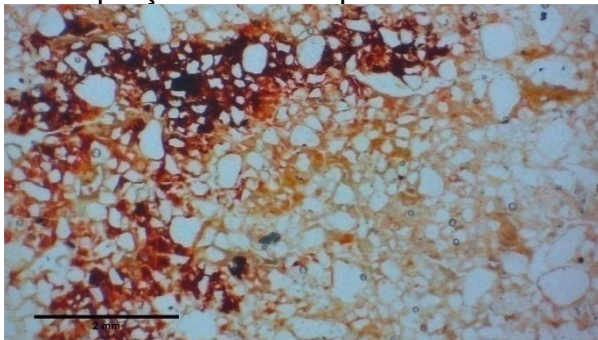
Horizonte 2BC
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



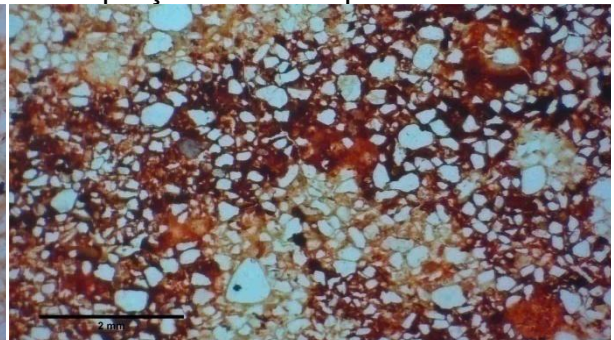
Horizonte 2BC
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte 2BC
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte 2BC
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



APÊNDICE C — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto de Arvorezinha-RS.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL — PBAC - ARV.

DATA — 02/12/2013.

CLASSIFICAÇÃO — ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrupto.

LOCALIZAÇÃO — município de Arvorezinha, estado do Rio Grande do Sul; coordenadas geográficas -28,880517°; -52,185929°; localizado às margens da rodovia ERS-332, km 58, em direção à Soledade (RS), a cerca de 2 km depois do trevo de Arvorezinha; o perfil está no lado direito.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL — barranco em um corte de estrada; topo de elevação com uma declividade de aproximadamente 9%; cobertura vegetal formada por um resquício da Floresta de Araucárias.

ALTITUDE — 737 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA — riodacito; Grupo São Bento, Formação Serra Geral (Cretáceo), Fácies Caxias.

MATERIAL ORIGINÁRIO — produto da alteração do material supracitado com uma possível contribuição de um material retrabalhado, proveniente da mesma litologia.

PEDREGOSIDADE — não pedregoso.

ROCHOSIDADE — não rochoso.

RELEVO LOCAL — ondulado.

RELEVO REGIONAL — ondulado.

EROSÃO - não aparente.

DRENAGEM — excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA — Floresta de Araucárias.

USO ATUAL — Mata com erva-mate.

CLIMA — Köppen: Cfb; Thornthwaite: AB'2ra'.

DESCRITO E COLETADO POR — Jaime Antonio de Almeida, Daniel Alexandre Heberle, Tiago Viegas Cereza e Francisco Alexandre de Moraes.

DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

A1	0-18 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (10YR4/3) + <u>solo seco</u> : bruno (10YR5/3); textura argilosa; estrutura em grãos simples + fraca, pequena/média, blocos subangulares; consistência macia, muito friável/friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; raízes abundantes, fasciculadas, finas/médias.
A2	18-35 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado-escuro (10YR4/4) + <u>solo seco</u> : bruno-claro-acinzentado (10YR6/3); textura argilosa; estrutura em grãos simples + fraca, pequena/média, blocos subangulares; consistência macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta; raízes comuns, fasciculadas, finas/médias.
BA1	35-55 cm	<u>solo úmido</u> : bruno muito escuro (10YR2/2) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) + <u>solo seco</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) e bruno (10YR5/3); cerosidade comum e moderada; superfícies foscas abundantes; textura muito argilosa; estrutura moderada, pequena/média, blocos angulares/subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; raízes comuns, fasciculadas, finas/médias.
BA2	55-68 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2) e bruno-escuro (10YR3/3) + <u>solo seco</u> : bruno-escuro (10YR3/3) e bruno-amarelado-escuro (10YR4/4); cerosidade comum e moderada; superfícies foscas abundantes; textura muito argilosa; estrutura moderada, pequena/média, blocos angulares/subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; raízes poucas, fasciculadas, finas.
Bt	68-100/110 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-escuro (10YR3/3) e bruno-amarelado-escuro (10YR3/4) + <u>solo seco</u> : bruno-escuro (10YR3/3) e bruno-amarelado-escuro (10YR4/4); cerosidade comum e forte; superfícies foscas comuns; textura muito argilosa; estrutura moderada, média, blocos angulares/subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual; raízes raras.
BC	100/110-125/135 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-escuro (10YR3/3) e bruno-amarelado (10YR5/6) + <u>solo seco</u> : bruno-escuro (10YR3/3) e bruno-amarelado-claro (10YR6/4); cerosidade pouca e forte; textura argilosa; estrutura moderada, grande/muito grande, blocos angulares/subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; raízes raras.
C	125/135-150 cm +	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado (10YR5/6) + <u>solo seco</u> : bruno-amarelado-claro (10YR6/4); textura argilosa; estrutura maciça; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; raízes raras.

OBSERVAÇÕES:

A presença de alguns fragmentos do quartzo foi detectada no limite entre os horizontes A2 e BA1. Alguns fragmentos centimétricos e milimétricos de rocha parcialmente intemperizada também foram identificados, principalmente no horizonte BA2. Uma atividade biológica intensa dos cupins e formigas foi constatada nos horizontes A1, A2 e BA1. Algum fendilhamento vertical foi observado nos horizontes BA2 e Bt com o perfil exposto.

DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Horizonte A2

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 25%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 50%; poróides: 25%

Razão G:F = 1:2

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Nódulos típicos = 50%

Cor = nódulos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados ou subarredondados; minoritariamente, pouco esféricos e arredondados ou subarredondados

Calcedônia = 45% (alguns na forma de geodo)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, não esféricos e angulares ou subangulares, seguidos pelos pouco esféricos e angulares ou subangulares; minoritariamente, moderadamente esféricos

Grãos do quartzo = 5%

Outros minerais = presença esporádica de grãos do ortoclásio

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada e mosaico

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Tecidos = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por grânulos coalescidos; estes formam uma microestrutura secundária em blocos angulares e subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Acomodação das paredes = não acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Empilhamento composto = 100%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fracamente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = não acomodada (minoritariamente, parcialmente acomodada)

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (empilhamento composto dos grânulos coalescidos: 100%)

Interagregados = 30% (cavidades: 80%; fissuras: 20%)

Transagregados = 30% (câmaras: 50%; cavidades: 45%; canais: 5%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Horizonte BA1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 5%; material fino (< 2 µm): 50%; poróides: 45%

Razão G:F = 1:5

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Nódulos típicos = 50%

Cor = nódulos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados ou subarredondados; minoritariamente, pouco esféricos e arredondados ou subarredondados

Calcedônia = 50% (alguns na forma de geodo)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, não esféricos e angulares ou subangulares, seguidos pelos pouco esféricos e angulares ou subangulares; minoritariamente, moderadamente esféricos

Outros minerais = presença esporádica de grãos do quartzo e ortoclásio

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno muito escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é esporádica

Tecidos = a ocorrência é esporádica

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em três níveis: a microestrutura primária é composta por grânulos coalescidos; estes formam uma microestrutura secundária em blocos angulares e subangulares; estes formam uma microestrutura terciária em blocos angulares e subangulares, e prismas

Microestrutura primária

Agregados

Acomodação das paredes = não acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Empilhamento composto = 100%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 10% (empilhamento composto dos grânulos coalescidos: 100%)

Interagregados = 50% (fissuras: 80%; câmaras: 20%)

Transagregados = 40% (canais: 70%; câmaras: 20%; cavidades: 10%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura terciária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 10% (fissuras: 60%; empilhamento composto dos grânulos coalescidos: 40%)

Interagregados = 50% (fissuras: 80%; câmaras: 20%)

Transagregados = 40% (canais: 80%; câmaras: 20%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula e pendente em nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é muito abundante (> 20%),

principalmente em fissuras entre os agregados; o contraste em relação ao fundo matricial adjacente é abrupto

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é numerosa (5-10%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Horizonte Bt

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 10%; material fino (< 2 µm): 70%; poróides: 20%

Razão G:F = 1:7

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Nódulos típicos = 50%

Cor = nódulos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e arredondados ou subarredondados; minoritariamente, pouco esféricos e arredondados ou subarredondados

Calcedônia = 50% (alguns na forma de geodo)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, não esféricos e angulares ou subangulares, seguidos pelos pouco esféricos e angulares ou subangulares; minoritariamente, moderadamente esféricos

Outros minerais = presença esporádica de grãos do quartzo e ortoclásio

Material fino (< 2 µm)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-amarelado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em três níveis: a microestrutura primária é composta por grânulos coalescidos; estes formam uma microestrutura secundária em blocos angulares e subangulares; estes formam uma microestrutura terciária em blocos angulares e subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Acomodação das paredes = não acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Empilhamento composto = 100%

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 10% (empilhamento composto dos grânulos coalescidos: 100%)

Interagregados = 45% (fissuras: 80%; câmaras: 20%)

Transagregados = 45% (câmaras: 60%; canais: 40%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura terciária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 50% (fissuras: 50%; câmaras: 20%; cavidades: 10%; canais: 10%; empilhamento composto dos grânulos coalescidos: 10%)

Interagregados = 50% (fissuras: 100%)

Transagregados = canais; a ocorrência é esporádica

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula e pendente em nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é muito abundante (> 20%), principalmente em fissuras entre os agregados; o contraste em relação ao fundo matricial adjacente é abrupto

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é numerosa (5-10%)

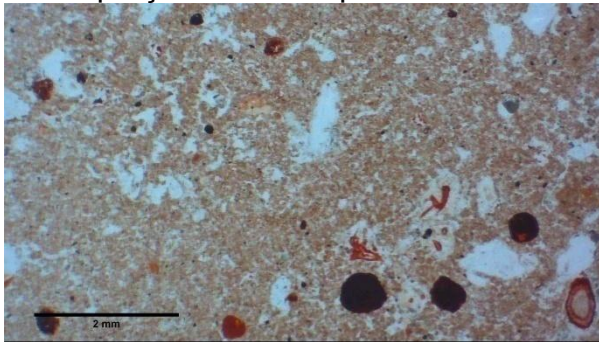
Preenchimentos descontínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é esporádica

Amorfos

Nódulos típicos vermelhos (moderadamente impregnados) ou vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é muito abundante ($> 20\%$)

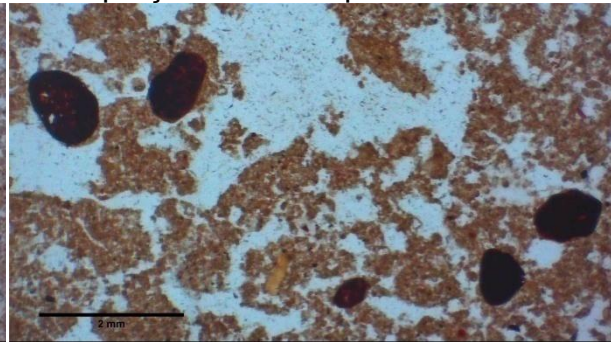
Horizonte A2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



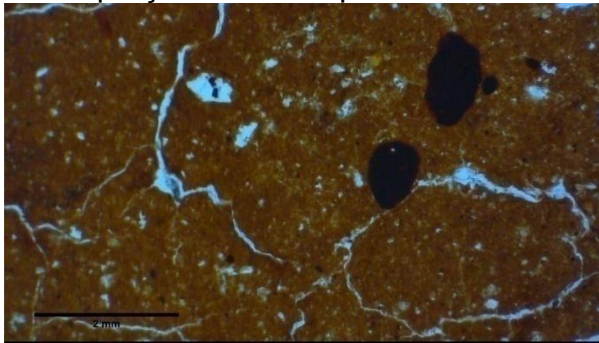
Horizonte A2

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



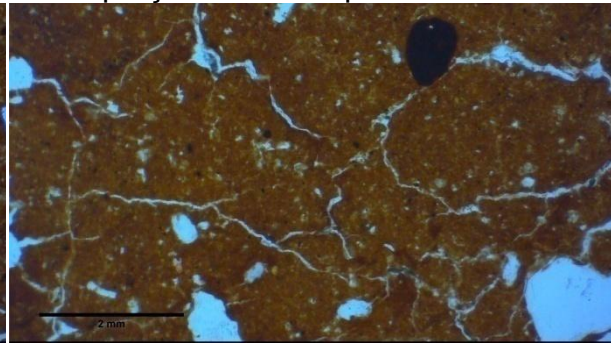
Horizonte BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



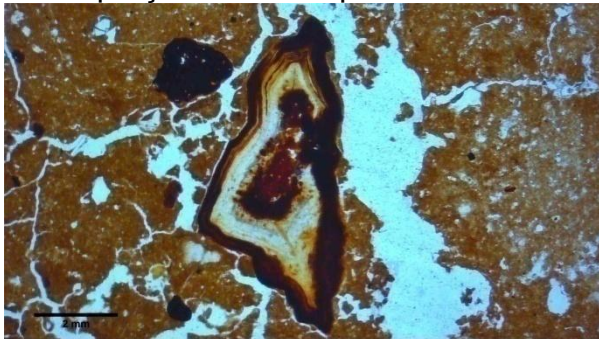
Horizonte BA1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



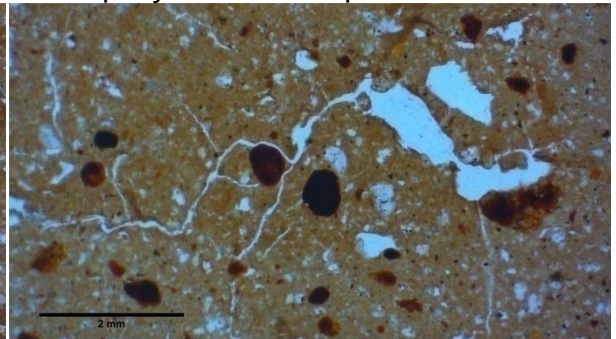
Horizonte BA1

Magnificação de 10x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte Bt

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



APÊNDICE D — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO AMARELO Alítico típico de Aurora-SC.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL — PA - AUR.

DATA — 19/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO — ARGISSOLO AMARELO Alítico típico.

LOCALIZAÇÃO — município de Aurora, estado de Santa Catarina; coordenadas geográficas -27,275011°, -49,533230°; localizado em uma estrada secundária na intersecção dos municípios de Aurora, Rio do Sul (SC) e Lontras (SC); o perfil está no lado esquerdo.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL — barranco em um corte de estrada; topo de elevação com uma declividade de aproximadamente 5%; cobertura vegetal formada pela Floresta de Araucárias.

ALTITUDE — 880 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA — arenito e siltito; Super Grupo Tubarão, Grupo Guatá, Formação Rio Bonito (Permiano).

MATERIAL ORIGINÁRIO — produto da alteração do material supracitado com uma possível contribuição de um material coluvial.

PEDREGOSIDADE — não pedregoso.

ROCHOSIDADE — não rochoso.

RELEVO LOCAL — suave ondulado.

RELEVO REGIONAL — suave ondulado.

EROSÃO — não aparente.

DRENAGEM — bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA — Floresta de Araucárias.

USO ATUAL — Floresta de Araucárias.

CLIMA — Köppen: Cfb; Thornthwaite: B4B'3ra'.

DESCRITO E COLETADO POR — Jaime Antonio de Almeida e Francisco Alexandre de Moraes.

DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

A	0-12 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-escuro (10YR3/3) + <u>solo seco</u> : bruno-claro-acinzentado (10YR6/3); textura argilosa; estrutura moderada/fraca, pequena, granular + fraca, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes abundantes, pequenas/médias.
AB	12-27 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado-escuro (10YR3/4) + <u>solo seco</u> : bruno-claro-acinzentado (10YR6/3); textura argilosa; estrutura moderada, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, ligeiramente plástica/plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes comuns, pequenas/médias.
BA	27-45/52 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado-escuro (10YR4/4) + <u>solo seco</u> : bruno-claro-acinzentado (10YR6/3); cerosidade comum e fraca; superfícies foscas comuns; textura argilosa; estrutura moderada, média, blocos subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; raízes comuns, pequenas.
Be	45/52-65/75 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-escuro (10YR3/3) + <u>solo seco</u> : bruno (10YR5/3); superfícies foscas comuns; textura argilosa; estrutura moderada, pequena, blocos subangulares; consistência dura, friável/firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; raízes raras.
Bi	65/75-85/90 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/4) + <u>solo seco</u> : bruno-amarelado (10YR5/4); textura muito argilosa; estrutura moderada, média, blocos subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual; raízes raras.
BC1	85/90-95/100 cm	<u>solo úmido</u> : vermelho-amarelado (5YR5/6) e amarelo-brunado (10YR6/6) + <u>solo seco</u> : amarelo-avermelhado (5YR7/6) e bruno muito claro-acinzentado (10YR8/2); textura argilosa; estrutura fraca, média, blocos subangulares; consistência dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; raízes raras.
BC2	95/100-110/115 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/4) + <u>solo seco</u> : bruno muito claro-acinzentado (10YR7/4); textura argilosa; estrutura maciça; consistência macia/ligeiramente dura, friável/firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta; raízes raras.
Cr	110/115-120 cm +	<u>solo úmido</u> : amarelo-avermelhado (7.5YR6/6) e vermelho (2.5YR4/8) + <u>solo seco</u> : branco-rosado (7.5YR8/2) e vermelho-claro (2.5YR6/8); textura média; estrutura maciça; consistência macia/ligeiramente dura, friável/firme, não plástica, não pegajosa; raízes raras.

OBSERVAÇÕES:

O perfil foi descrito em um dia nublado. As superfícies foscas se mostraram brilhantes após uma precipitação pluviométrica. Uma atividade biológica intensa foi identificada nos horizontes A, AB e BA. A presença das raízes grossas apodrecidas foi observada até o horizonte Be, além das zonas acinzentadas com mosqueados avermelhados próximos aos canais de raízes. Alguns fragmentos do horizonte Cr foram identificados nos horizontes BC1 e BC2. Várias pontuações pequenas de coloração enegrecida (Mn) foram constatadas no horizonte Cr.

DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Horizonte AB

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 20%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 45%; poróides: 35%

Razão G:F = 4:9

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = grãos bem selecionados a moderadamente selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-amarelado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Tecidos = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos subangulares e angulares (poucos); estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido (minoritariamente, fortemente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 60% (cavidades: 75%; canais: 15%; fissuras: 10%)

Interagregados = 40% (câmaras: 50%; fissuras: 50%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (câmaras: 30%; cavidades: 30%; fissuras: 30%; canais: 10%)

Interagregados = 60% (câmaras: 100%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é ocasional (2-5%), sendo inferior em relação ao horizonte BA, e superior em relação ao horizonte Be

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Excrementos

Excrementos intactos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Horizonte BA

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 20%; material fino (< 2 µm): 55%; poróides: 25%

Razão G:F = 4:11

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = grãos bem selecionados a moderadamente selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Outros minerais = 1 mineral muito alterado com aspecto bastante similar em relação ao fundo matricial adjacente

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-amarelado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, estrias circulares, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Tecidos = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos subangulares e angulares (poucos); estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares e angulares (poucos)

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido (minoritariamente, fortemente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (cavidades: 80%; canais: 10%; fissuras: 10%)

Interagregados = 60% (câmaras: 50%; fissuras: 50%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 50% (câmaras: 55%; cavidades: 20%; fissuras: 20%; canais: 5%)

Interagregados = 50% (câmaras: 100%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é ocasional (2-5%), sendo superior em relação aos horizontes AB e Be

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é muito abundante (> 20%)

Excrementos

Excrementos envelhecidos como preenchimentos descontínuos soltos; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

Horizonte Be

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 15%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 50%; poróides: 35%

Razão G:F = 3:10

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos do quartzo = 100%

Grau de seleção = grãos bem selecionados a moderadamente selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, grãos pouco esféricos ou não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = presença esporádica dos nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-amarelado escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = mosaico, pontuada, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Um agregado apresentou uma região circular mais escurecida em relação ao fundo matricial adjacente, em razão da presença de algum pigmento orgânico

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos subangulares e angulares; estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares e angulares

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = moderadamente desenvolvido (minoritariamente, fortemente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (cavidades: 90%; fissuras: 10%)

Interagregados = 60% (fissuras: 60%; câmaras: 40%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 30% (fissuras: 60%; cavidades: 30%; câmaras: 10%)

Interagregados = 70% (câmaras: 100%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

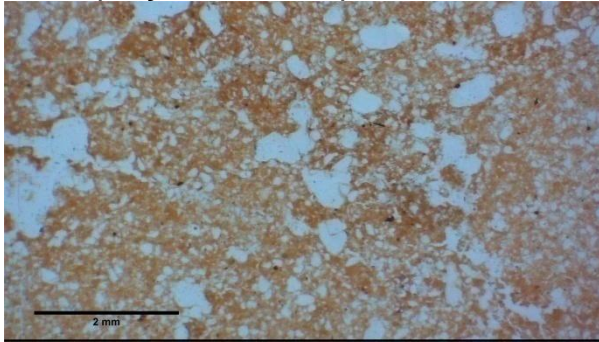
Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é ocasional (2-5%), sendo inferior em relação aos horizontes AB e BA

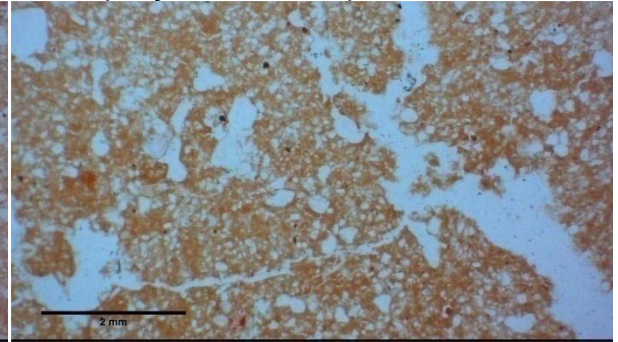
Amorfas

Nódulos típicos vermelho-escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados); a ocorrência é esporádica

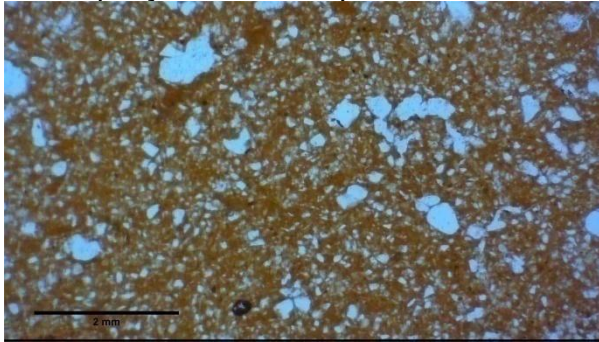
Horizonte AB
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



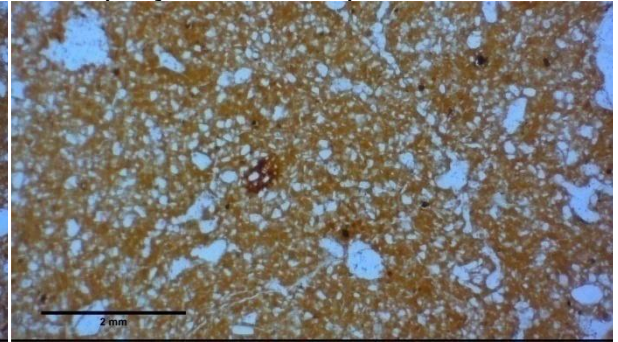
Horizonte AB
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



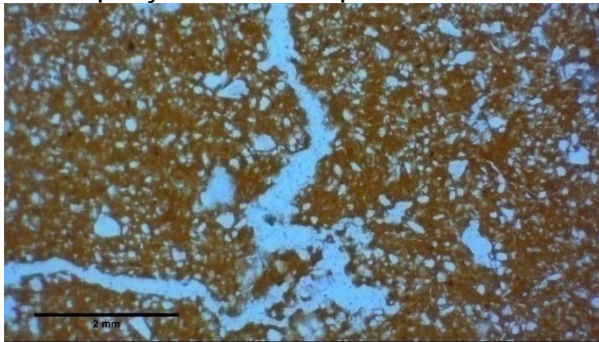
Horizonte BA
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



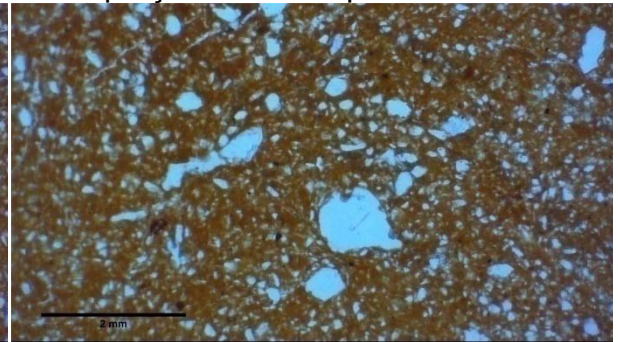
Horizonte BA
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte Be
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte Be
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



APÊNDICE E — Descrição geral e morfológica (macro e micro) do ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abrupto de Alfredo Wagner-SC.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL — PBAC - AW.

DATA — 20/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO — ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Distrófico abrupto.

LOCALIZAÇÃO — município de Alfredo Wagner, estado de Santa Catarina; coordenadas geográficas -27,694997°, -49,314796°; localizado às margens da rodovia BR-282, km 102, em direção à Rancho Queimado (SC), aproximadamente a 2 km do acesso à Alfredo Wagner, entrando 50 m à direita em uma estrada secundária; o perfil está no lado esquerdo.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL — barranco em um corte de estrada; terço inferior da encosta com uma declividade de aproximadamente 30%; cobertura vegetal formada por mata secundária.

ALTITUDE — 778 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA — ritmito com clastos caídos; Grupo Itararé, Membro Rio do Sul (Carbonífero).

MATERIAL ORIGINÁRIO — produto da alteração do material supracitado com uma possível contribuição de um material coluvial, inclusive nos horizontes BA e Bt.

PEDREGOSIDADE — não pedregoso.

ROCHOSIDADE — ligeiramente rochoso.

RELEVO LOCAL — forte ondulado.

RELEVO REGIONAL — forte ondulado/montanhoso.

EROSÃO — moderada; laminar/sulcos.

DRENAGEM — bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA — Floresta de Araucárias.

USO ATUAL — mata secundária.

CLIMA — Köppen: Cfb; Thornthwaite: B4B'3ra'.

DESCRITO E COLETADO POR — Jaime Antonio de Almeida e Francisco Alexandre de Moraes.

DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

A1	0-10 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2) + <u>solo seco</u> : bruno-claro-acinzentado (10YR6/3); textura média; estrutura em grãos simples + fraca/moderada, pequena, granular; consistência macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes abundantes, médias/finas.
A2	10-28 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado (10YR5/4) + <u>solo seco</u> : bruno muito claro-acinzentado (10YR7/3); textura argilosa; estrutura em grãos simples + fraca, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes abundantes, médias/finas.
AB	28-37 cm	<u>solo úmido</u> : bruno-amarelado (10YR5/4) + <u>solo seco</u> : bruno muito claro-acinzentado (10YR7/4); textura argilosa; estrutura fraca/moderada, pequena/média, blocos subangulares; consistência ligeiramente dura/dura, friável/firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; raízes abundantes, médias/finas.
BA	37-60/63 cm	<u>solo úmido</u> : bruno (7.5YR4/3) + <u>solo seco</u> : bruno (7.5YR5/3); cerosidade comum e forte; superfícies foscas comuns; textura muito argilosa; estrutura moderada, média/grande, prismática + forte, média, blocos angulares/subangulares; consistência dura/muito dura, muito firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes comuns, médias/finas.
Bt1	60/63-100 cm	<u>solo úmido</u> : vermelho-amarelado (5YR4/6) + <u>solo seco</u> : amarelo-avermelhado (5YR6/8) e bruno (7.5YR5/4); cerosidade comum e forte; textura muito argilosa; estrutura moderada/forte, pequena/média, blocos angulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme/muito firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes raras.
Bt2	100-120/160 cm	<u>solo úmido</u> : vermelho-amarelado (5YR5/6) + <u>solo seco</u> : amarelo-avermelhado (5YR6/8) e bruno (7.5YR5/4); cerosidade comum e moderada; textura muito argilosa; estrutura moderada, pequena/média, blocos angulares; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição irregular e gradual; raízes raras.
C/Cr	120/160 cm +	Horizonte C = <u>solo úmido</u> : vermelho (2.5YR5/8) + <u>solo seco</u> : amarelo-avermelhado (5YR7/6) e bruno (7.5YR5/4); textura argilosa; consistência ligeiramente dura/dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

O perfil foi descrito em um dia nublado. O horizonte Cr não foi descrito ou coletado. A presença de fragmentos do siltito alterado, cascalhos e calhaus foi identificada nos horizontes Bt1 e Bt2, além de alguns matacões do arenito micáceo no horizonte Bt1. Uma atividade biológica intensa dos cupins e formigas foi observada até o horizonte Bt1. A proliferação elevada de algumas raízes muito pequenas/pequenas localizadas nas faces interagregados foi verificada. Alguns canais com preenchimento de um material argiloso escuro foram constatados em vários horizontes do perfil. O recobrimento da matriz do horizonte Bt1 por revestimentos de origem orgânica ocorre em uma quantidade um pouco inferior em relação ao horizonte Bt2.

DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Horizonte AB

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 30%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 50%; poróides: 20%

Razão G:F = 3:5

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 95%

Grau de seleção = moderadamente selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 5%

Pseudomórficos anórticos = 60%

Cor = nódulos pseudomórficos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros; os nódulos pseudomórficos são muito maiores em relação aos nódulos típicos

Esfericidade e arredondamento = grupo 1: moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; grupo 2 (com grãos do quartzo incrustados): esféricos e arredondados ou subarredondados; a quantidade do grupo 1 foi superior em relação ao grupo 2

Típicos = 40%

Cor = nódulos típicos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, esféricos e arredondados ou subarredondados ou subangulares; minoritariamente, moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados ou subarredondados ou subangulares

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-amarelado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é rara ($< 2\%$)

Tecidos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal composta por blocos angulares e subangulares

Agregados

Grau de pedalidade = fracamente desenvolvido (minoritariamente, moderadamente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = não acomodada para o grau de pedalidade fracamente desenvolvido; parcialmente acomodada para o grau de pedalidade moderadamente desenvolvido

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 60% (cavidades: 90%; fissuras: 10%)

Interagregados = 10% (fissuras: 80; cavidades: 20%)

Transagregados = 30% (câmaras: 90%; canais: 10%)

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Horizonte BA

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 10%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 60%; poróides: 30%

Razão G:F = 1:6

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 90%

Grau de seleção = moderadamente selecionados

Forma = anedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 10%

Pseudomórficos anórticos = 70%

Cor = nódulos pseudomórficos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros; os nódulos pseudomórficos são muito maiores em relação aos nódulos típicos

Esfericidade e arredondamento = grupo 1: moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; grupo 2 (com grãos do quartzo incrustados): esféricos e arredondados ou subarredondados; a quantidade do grupo 1 foi similar em relação ao grupo 2

Típicos = 30%

Cor = nódulos típicos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados ou subarredondados ou subangulares

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino bruno-avermelhado escuro

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Órgãos = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Tecidos = a ocorrência é numerosa (5-10%)

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos angulares e subangulares; estes formam uma microestrutura secundária em blocos angulares e subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 35% (cavidades: 100%)

Interagregados = 25% (fissuras: 100%)

Transagregados = 40 (canais: 50%; câmaras: 50%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 30% (cavidades: 45%; fissuras: 45%; canais: 10%)

Interagregados = 35% (fissuras: 80%; câmaras: 20%)

Transagregados = 35 (canais: 50%; câmaras: 50%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Feições pedológicas

Texturais

Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula e pendente em grãos do quartzo e nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é numerosa (5-10%)

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é ocasional (2-5%)

Preenchimentos contínuos soltos compostos de materiais oriundos do fundo matricial adjacente; a ocorrência é ocasional (2-5%)

Horizonte Bt1

Quantidade de zonas = apenas 1

Distribuição relacionada = porfírica

Proporções = material grosso: 5%; material fino ($< 2 \mu\text{m}$): 80%; poróides: 15%

Razão G:F = 1:16

Componentes básicos minerais

Material grosso

Grãos individuais = 100%

Grãos do quartzo = 50%

Grau de seleção = moderadamente selecionados

Forma = anhedral

Rugosidade = lisa ou ondulada

Esfericidade e arredondamento = majoritariamente, grãos esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; minoritariamente, não esféricos e subarredondados ou subangulares, e grãos arredondados ou angulares

Nódulos = 10%

Pseudomórficos anórticos = 70%

Cor = nódulos pseudomórficos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros; os nódulos pseudomórficos são muito maiores em relação aos nódulos típicos

Esfericidade e arredondamento = grupo 1: moderadamente esféricos ou pouco esféricos e subarredondados ou subangulares; grupo 2 (com grãos do quartzo incrustados): esféricos e arredondados ou subarredondados; a quantidade do grupo 1 foi similar em relação ao grupo 2

Típicos = 30%

Cor = nódulos típicos bruno-avermelhados ou bruno-avermelhados escuros (moderadamente impregnados) ou pretos (fortemente impregnados)

Esfericidade e arredondamento = esféricos ou moderadamente esféricos ou pouco esféricos e arredondados ou subarredondados ou subangulares

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

Natureza = argilominerais e óxidos/oxihidróxidos do ferro

Cor = material fino vermelho-brunado

Limpidez = pouco límpida

Tessitura = indiferenciada

Tessitura birrefringente (cores interferentes) = pontuada, mosaico, monoestriada, poroestriada e granuloestriada

Componentes básicos orgânicos

Material grosso

Resíduos de plantas

Tecidos = a ocorrência é esporádica

Material fino ($< 2 \mu\text{m}$)

A matéria orgânica está intimamente associada ao material fino mineral

Microestrutura

Pedal com microestrutura complexa em dois níveis; a microestrutura primária é composta por blocos angulares e subangulares; estes formam uma microestrutura secundária em blocos subangulares

Microestrutura primária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido (minoritariamente, moderadamente desenvolvido)

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 40% (cavidades: 90%; fissuras: 10%)

Interagregados = 45% (fissuras: 80%; canais: 10%; câmaras: 10%)

Transagregados = 15 (canais: 50%; câmaras: 50%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Microestrutura secundária

Agregados

Grau de pedalidade = fortemente desenvolvido

Rugosidade das paredes = ondulada

Acomodação das paredes = parcialmente acomodada

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

Poróides

Intragregados = 60% (cavidades: 40%; fissuras: 30%; câmaras: 25%; canais: 5%)

Interagregados = 40% (fissuras: 60%; câmaras: 40%)

Orientação de base = sem orientação

Orientação de referência = sem referência

Distribuição de base = aleatória

Distribuição de referência = sem referência

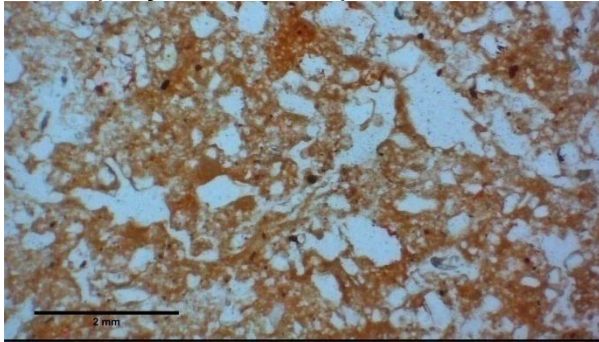
Feições pedológicas

Texturais

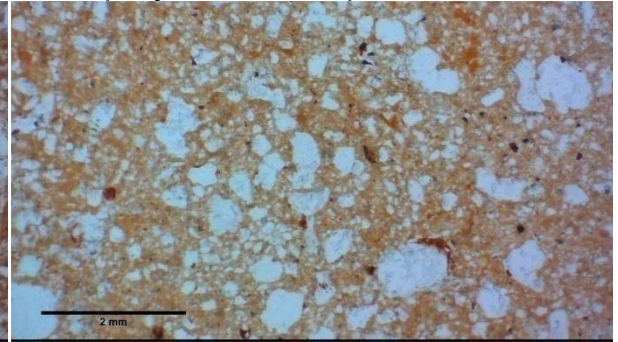
Revestimentos amarelados/alaranjados límpidos a pouco límpidos; típico e crescente em poróides; em cúpula e pendente em grãos do quartzo e nódulos; tessitura interna microlaminada do tipo paralela com uma orientação boa ou parcial (zonas de extinção nítidas ou difusas); a ocorrência é abundante (10-20%)

Preenchimentos densos incompletos dos materiais supracitados = a ocorrência é ocasional (2-5%)

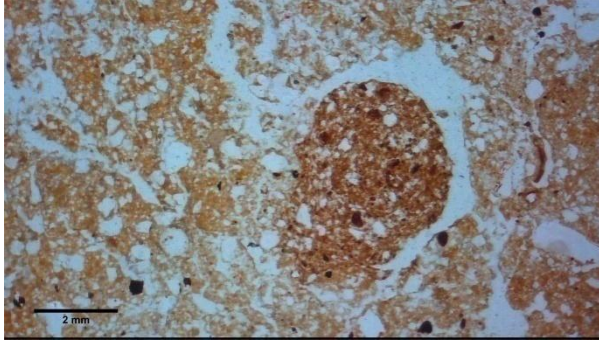
Horizonte AB
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



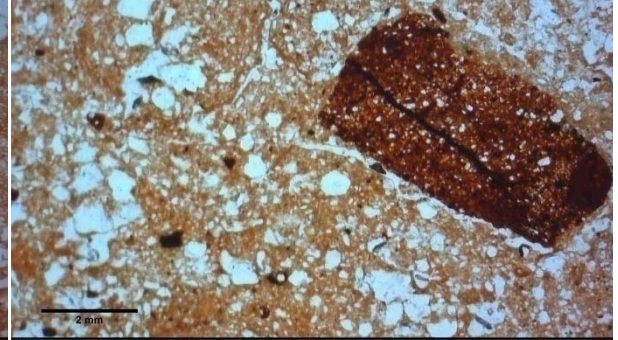
Horizonte AB
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



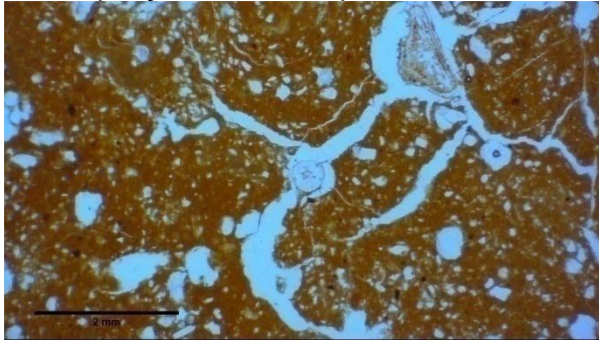
Horizonte AB
Magnificação de 10x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



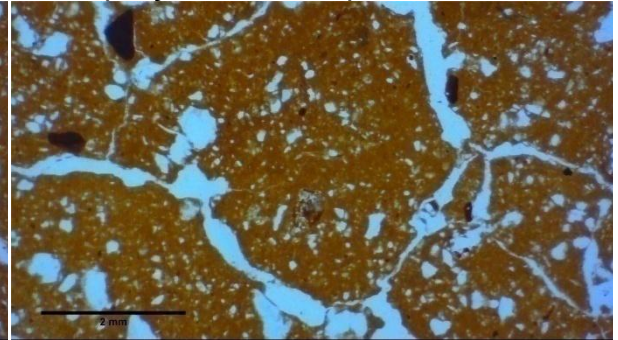
Horizonte AB
Magnificação de 15x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



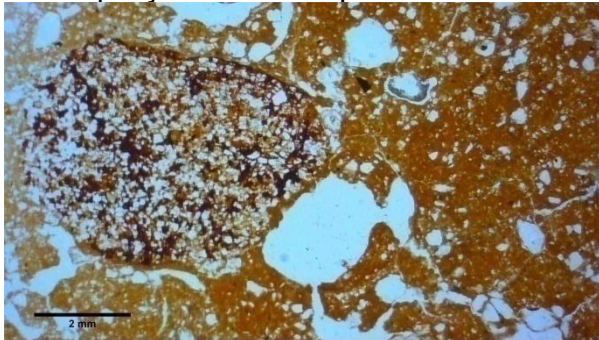
Horizonte BA
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte BA
Magnificação de 20x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte BA
Magnificação de 15x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte BA
Magnificação de 15x. A barra horizontal
na porção inferior equivale a 2 mm.



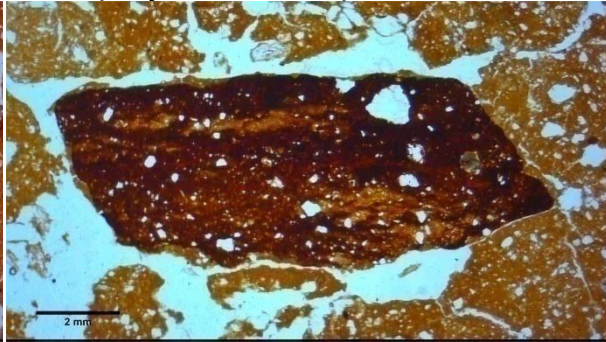
Horizonte BA

Magnificação de 10x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



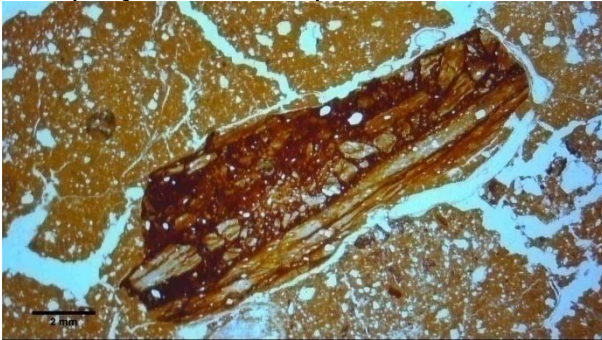
Horizonte BA

Magnificação de 10x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



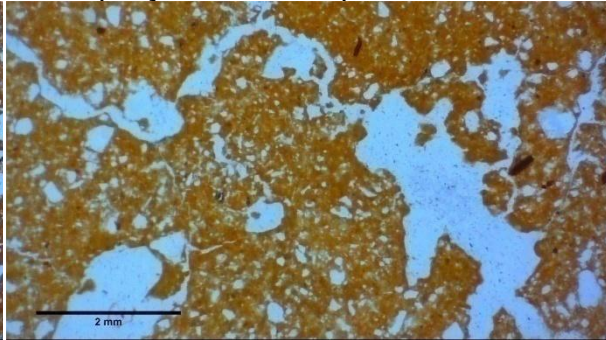
Horizonte BA

Magnificação de 8x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



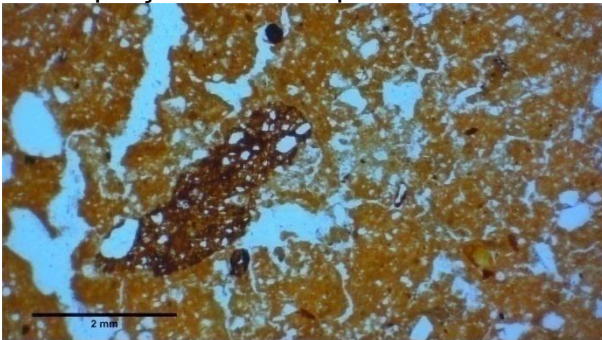
Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



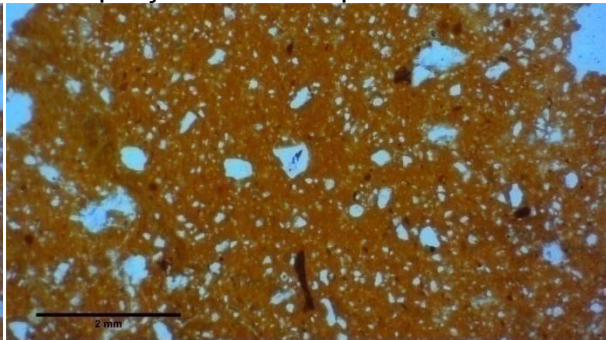
Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



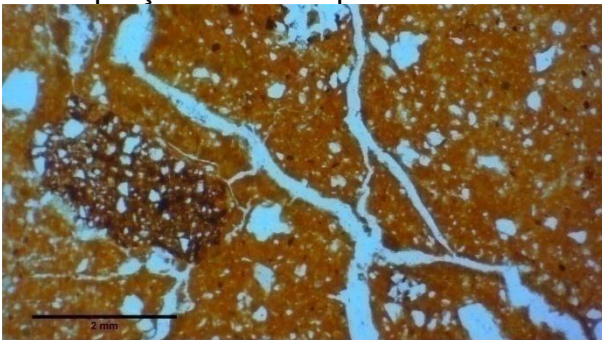
Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



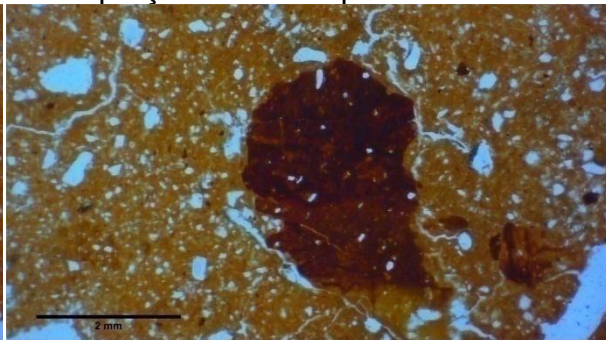
Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



Horizonte Bt1

Magnificação de 20x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 2 mm.



APÊNDICE F — Descrições detalhadas das análises de laboratório do item 5.5.

5.5.1 Frações granulométricas maiores do que 2 mm

- 200 g da amostra total (amostra bruta) foram pesados em um copo de plástico de 500 mL • O copo foi preenchido com água destilada até submergir o solo
- Solo e líquido permaneceram em repouso durante 16 h • Solo e líquido foram integralmente despejados em uma peneira com a malha de 2 mm • O material foi lavado com água corrente exaustivamente até que as frações granulométricas menores do que 2 mm fossem inteiramente eliminadas através da peneira • O material retido na peneira foi avaliado individualmente para que fossem eliminados os agregados remanescentes • A quantidade do cascalho foi determinada por meio da contagem • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.2 Granulometria (areia, silte e argila)

- 50 g da TFSE foram pesados em um frasco de vidro de 150 mL com tampa • 75 mL da água destilada e 10 mL do hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} foram adicionados ao frasco • Duas esferas de acrílico com 2 cm de diâmetro foram inseridas no frasco
- O frasco foi tampado e agitado manualmente por poucos instantes (um filme de plástico foi colocado entre a tampa e o frasco para evitar vazamento) • O frasco permaneceu em repouso durante 16 h • Solo e líquido foram agitados durante 4 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o frasco na posição horizontal (deitado) • Um conjunto composto por proveta de plástico de 1 L, funil de plástico e peneira com a malha de 0,053 mm foi preparado para lavagem do material, sendo mantido em uma superfície horizontal rígida • Solo e líquido foram despejados na peneira • Os materiais remanescentes que ficaram retidos no frasco e filme de plástico foram lavados diretamente sobre a peneira, sendo aplicados jatos de água com o uso de uma pisseta • O material retido na peneira foi lavado lentamente com jatos de água com o uso de uma pisseta, sendo utilizados entre 800 e 900 mL da água destilada até que as frações menores do que 0,053 mm fossem inteiramente passadas através da peneira • Os fragmentos orgânicos reconhecíveis que ficaram retidos na peneira foram separados e excluídos

com a aplicação de jatos de água com o uso de uma pisseta • O material remanescente que ficou retido na peneira correspondeu à areia • A areia foi submetida à secagem sob 110 °C durante 72 h • A determinação da areia foi realizada por meio da pesagem com uma balança de quatro casas decimais • A proporção da areia do solo foi determinada em relação à massa inicial da TFSE (50 g) • A suspensão remanescente permaneceu na proveta • Um densímetro de Bouyoucos (confeccionado em vidro, com a escala ASTM 152H, graduado em g L⁻¹, variando unitariamente entre -5 e +60, calibrado para a temperatura de 20 °C) foi inserido na proveta sobre a suspensão • O volume da suspensão foi ajustado com água destilada para 1 L com o uso de uma pisseta • O densímetro foi retirado e lavado • A suspensão foi agitada com um bastão de madeira (dotado de um êmbolo fixado na extremidade) durante um minuto, com movimentos verticais abrangendo toda a extensão da proveta, inclusive o fundo (porém a proveta permaneceu estática durante a operação) • A proveta permaneceu em repouso durante 2 h • O densímetro foi inserido e a leitura foi realizada • A leitura foi corrigida com base na prova em branco e a temperatura ambiente • A leitura em g L⁻¹ correspondeu ao teor da argila • A proporção da argila do solo foi determinada por meio da razão entre a leitura em g L⁻¹ e a massa inicial da TFSE (50 g) • A proporção do silte do solo foi determinada pela diferença “100% - (% areia + % argila)” • A correção da umidade residual da TFSE foi realizada • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.3 Argila natural ou argila dispersa em água

• Os procedimentos diferem em relação à determinação da argila descrita no item 5.5.2 apenas pelo uso da água destilada em substituição ao hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.4 Grau de flocculação

$$\bullet \text{ GF (\%)} = \frac{\text{argila (NaOH)} - \text{argila (H}_2\text{O)}}{\text{argila (NaOH)}} \times 100$$

5.5.5 Razão silte:argila

$$\bullet \text{ SIL:ARG} = \frac{(\%) \text{ silte}}{(\%) \text{ argila}}$$

5.5.6 Fracionamento da areia

• Cinco peneiras com as malhas de 1, 0,5, 0,25, 0,105 e 0,053 mm foram empilhadas nessa ordem, referentes aos limites da areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, respectivamente • A areia (a obtenção está descrita no item 5.5.2) foi despejada integralmente na peneira localizada na porção superior (malha de 1 mm) • O conjunto de peneiras foi agitado manualmente com movimentos horizontais durante um minuto • A proporção da areia retida nas diferentes peneiras foi determinada por meio da pesagem com uma balança de quatro casas decimais • As proporções da areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina foram calculadas em relação ao somatório das cinco subfrações • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.7 Fracionamento da argila

• 10 g da TFSE foram pesados em um tubo de centrífuga de 50 mL (tubo 1) • 30 mL da água destilada foram adicionados ao tubo 1 • Os fragmentos orgânicos reconhecíveis foram retirados com uma espátula (esta etapa foi exequível devido à flotação da matéria orgânica leve em água) • Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes • Solo e líquido permaneceram em repouso por 16 h • Os fragmentos orgânicos remanescentes foram retirados com uma espátula • Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes • Solo e líquido foram agitados durante 4 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo 1 na posição horizontal (deitado) • Oito gotas do hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ foram adicionadas ao tubo 1 • Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes • O tubo 1 foi submetido ao banho de ultrassom durante 10 min em um sonicador do tipo lavador ultrassônico • A suspensão resultante foi centrifugada durante 3 min a 750 rpm • O sobrenadante foi vertido em outro tubo de centrífuga de 50 mL (tubo 2) • 30 mL da água destilada

foram adicionados ao tubo 1 com o material sedimentado • O material sedimentado foi dispersado novamente com agitação manual por poucos instantes • Oito gotas do hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} foram adicionadas ao tubo 1 • Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes • O tubo 1 foi submetido novamente ao banho de ultrassom durante 10 min em um sonicador do tipo lavador ultrassônico • A suspensão resultante foi centrifugada durante 3 min a 750 rpm • O sobrenadante foi vertido em outro tubo de centrifuga de 50 mL (tubo 3) • Os tubos 2 e 3 continham exclusivamente a argila do solo • A dispersão contida no tubo 2 foi centrifugada durante 15 min a 2500 rpm sob 24°C • O sobrenadante do tubo 2 foi vertido em um recipiente de 100 mL (recipiente 1), confeccionado em papel de alumínio • A dispersão contida no tubo 3 foi centrifugada durante 15 min a 2500 rpm sob 24°C • O sobrenadante do tubo 3 foi vertido no recipiente 1 • O recipiente 1 continha exclusivamente a subfração argila fina • 10 mL da água destilada foram adicionados ao tubo 2 com o material sedimentado • O material sedimentado foi dispersado novamente com agitação manual por poucos instantes • O tubo 2 foi submetido ao banho de ultrassom durante 10 min em um sonicador do tipo lavador ultrassônico • O conteúdo integral do tubo 2 foi vertido em um recipiente de 100 mL (recipiente 2), idêntico ao recipiente 1 • 10 mL da água destilada foram adicionados ao tubo 3 com o material sedimentado • O material sedimentado foi dispersado novamente com agitação manual por poucos instantes • O tubo 3 foi submetido ao banho de ultrassom durante 10 min em um sonicador do tipo lavador ultrassônico • O conteúdo integral do tubo 3 foi vertido no recipiente 2 • O recipiente 2 continha exclusivamente a subfração argila grossa • Os recipientes 1 e 2 foram submetidos à secagem sob 110°C durante 72 h • As determinações das proporções das subfrações argila fina e argila grossa foram realizadas por meio da pesagem com uma balança de quatro casas decimais (os recipientes foram identificados e tareados previamente) • As proporções da argila fina e argila grossa foram calculadas em relação ao somatório das duas subfrações • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.8 Comparação da distribuição dos tamanhos das partículas (*comparative particle size distribution* - CPSD)

$\text{CPSD} = \sum_{i=1}^n m_i$, em que n é o número das frações (tamanhos das partículas) e m_i é o valor mínimo de cada fração (i) entre duas amostras.

5.5.9 Índice de Asady-Whiteside (Asady-Whiteside *index* - AWI)

$$\bullet \text{ AWI} = \frac{\frac{\% \text{ silte}}{\% \text{ areia}} \text{ hor. sobrejacente}}{\frac{\% \text{ silte}}{\% \text{ areia}} \text{ hor. subjacente}} - 1$$

5.5.10 Valor de uniformidade (*uniformity value* - UV)

$$\bullet \text{ UV} = \frac{\frac{(\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina})}{(\% \text{ areia total} - \% \text{ areia muito fina})} \text{ hor. sobrejacente}}{\frac{(\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina})}{(\% \text{ areia total} - \% \text{ areia muito fina})} \text{ hor. subjacente}} - 1$$

5.5.11 Índice I/E

$$\bullet \text{ I/E} = \frac{\frac{\% \text{ argila fina}}{\% \text{ argila total}} \text{ horizonte iluvial}}{\frac{\% \text{ argila fina}}{\% \text{ argila total}} \text{ horizonte eluvial}}$$

5.5.12 *delta* pH, pH em água e pH em uma solução do KCl

• 10 g da TFSE foram pesados em um copo de plástico de 50 mL • 25 mL da água destilada (ou uma solução do cloreto de potássio 1 mol L⁻¹) foram adicionados ao copo de plástico • Solo e líquido foram agitados com um bastão de vidro por poucos instantes • Após uma hora de repouso, solo e líquido foram agitados novamente com um bastão de vidro por poucos instantes • A medição do pH foi realizada com um pHmetro digital • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.13 Carbono orgânico total e nitrogênio total

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 50 mg da TFSE triturada foram pesados em um recipiente específico • O carbono orgânico total e nitrogênio total foram determinados simultaneamente com um analisador elementar (combustão seca), utilizando-se curva de calibração • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.14 Carbono orgânico total e nitrogênio total na argila fina e argila grossa

- Uma quantidade da argila fina (a obtenção está descrita no item 5.5.7) foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 50 mg da argila fina triturada foram pesados em um recipiente específico
- O carbono orgânico total e nitrogênio total foram determinados simultaneamente com um analisador elementar (combustão seca), utilizando-se uma curva de calibração
- Os mesmos procedimentos foram utilizados para a argila grossa (a obtenção está descrita no item 5.5.7)
- As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.15 Argila fina e argila grossa, e carbono orgânico total na argila fina e argila grossa ponderados pela TFSE

- AF ponderada (dag kg^{-1}) = argila total na TFSE x argila fina
- AG ponderada (dag kg^{-1}) = argila total na TFSE x argila grossa
- COT-AF ponderados (dag kg^{-1}) = AF ponderada x COT na argila fina
- COT-AG ponderados (dag kg^{-1}) = AG ponderada x COT na argila grossa

5.5.16 Matéria orgânica leve em água

- 50 g da TFSE foram pesados em um copo de plástico de 300 mL
- 100 mL do hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ foram adicionados ao copo
- Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes
- Solo e líquido permaneceram em repouso por 16 h
- Solo e líquido foram integralmente despejados em uma peneira com a malha de 0,25 mm
- O material foi lavado com água corrente exaustivamente até que as frações menores do que 0,25 mm fossem inteiramente eliminadas através da peneira
- Repetidamente, o copo foi preenchido com água e a matéria orgânica leve em água foi sendo separada da areia remanescente por flotação
- A determinação da proporção da matéria orgânica leve em água foi realizada por meio da pesagem com uma balança de quatro casas decimais
- A proporção da matéria

orgânica leve em água do solo foi determinada em relação à massa inicial da TFSE (50 g) • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.17 Cátions trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+})

• 4 g da TFSE foram pesados em um tubo de centrífuga de 50 mL • 40 mL da solução do acetato de amônio 1 mol L^{-1} (pH 7) foram adicionados ao tubo de centrífuga • Solo e líquido foram agitados durante 30 min em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo de centrífuga na posição horizontal (deitado) • A suspensão resultante foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • Os teores do Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} contidos no extrato foram determinados com um espectrômetro de absorção atômica, utilizando-se uma curva de calibração específica para cada elemento • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.18 Alumínio trocável (Al^{3+})

• 4 g da TFSE foram pesados em um tubo de centrífuga de 50 mL • 40 mL da solução do cloreto de potássio 1 mol L^{-1} foram adicionados ao tubo de centrífuga • Solo e líquido foram agitados durante 30 min em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo de centrífuga na posição horizontal (deitado) • A suspensão resultante foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O teor do Al^{3+} contido no extrato foi determinado com um espectrômetro de absorção atômica, utilizando-se uma curva de calibração • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.19 Acidez potencial (H^+ +Al)

• 2,5 g da TFSE foram pesados em um erlenmeyer de 125 mL • 50 mL da solução do acetato de cálcio 1 mol L^{-1} (pH 7) foram adicionados ao erlenmeyer • Solo e líquido foram agitados em uma mesa agitadora orbital, utilizando-se a rotação de 180 rpm (três agitações distintas foram realizadas, com uma duração de 10 min cada uma, totalizando 30 min, espaçadas entre si pelo intervalo de três horas) • Depois das agitações, o erlenmeyer permaneceu em repouso durante 16 h • 20 mL

do sobrenadante foram pipetados em outro erlenmeyer de 125 mL • A acidez potencial do solo (H+Al) foi determinada por titulação de neutralização com o hidróxido de sódio 0,02 mol L⁻¹ em presença da fenolftaleína (2%) como indicador • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.20 Soma de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7, saturação por alumínio, saturação por bases e percentagem do sódio trocável (S, t, T, m, V e PST, respectivamente)

- $S \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
- $\text{CTC efetiva ou } t \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = S + \text{Al}^{3+}$
- $\text{CTC a pH 7 ou } T \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = S + (\text{H} + \text{Al})$
- $T \text{ relativa à argila ou } T_{\text{ARG}} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = T \times \frac{1000}{\text{ARG (g kg}^{-1})}$
- $\text{Saturação por alumínio ou } m \text{ (\%)} = \frac{\text{Al}^{3+}}{t} \times 100$
- $\text{Saturação por bases ou } V \text{ (\%)} = \frac{S}{T} \times 100$
- $\text{Percentagem de Na trocável ou PST} = \frac{\text{Na}^+}{T} \times 100$

5.5.21 Alumínio e ferro extraídos pela solução do pirofosfato de sódio

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 0,4 g da TFSE triturada foi pesado em um tubo de centrifuga de 50 mL • 40 mL da solução do pirofosfato de sódio 0,1 mol L⁻¹ foram adicionados ao tubo de centrifuga • Solo e líquido foram agitados durante 16 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo de centrifuga na posição horizontal (deitado) • Quatro gotas do floculante Superfloc[®] (0,2%) foram adicionados ao tubo de centrifuga • A suspensão

resultante foi centrifugada durante 30 min a 2000 rpm • Os teores do alumínio e ferro contidos no extrato foram determinados com um espectrômetro de absorção atômica, utilizando-se uma curva de calibração específica para cada elemento • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.22 Silício, alumínio, ferro e manganês extraídos pela solução do oxalato ácido de amônio

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 0,8 g da TFSE triturada foi pesado em um tubo de centrifuga de 50 mL • 40 mL da solução do oxalato ácido de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 3) foram adicionados ao tubo de centrifuga • Solo e líquido foram agitados no escuro durante 4 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo de centrifuga na posição horizontal (deitado) • A suspensão resultante foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • Os teores do silício, alumínio, ferro e manganês contidos no extrato foram determinados com um espectrômetro de absorção atômica, utilizando-se uma curva de calibração específica para cada elemento • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.23 Relação entre os teores do Al_{ox} e Fe_{ox} ($\text{Al} + 0,5\text{Fe}$)

$$\bullet \text{ Al} + 0,5\text{Fe} = \text{Al}_{\text{ox}} (\%) + [0,5 \times \text{Fe}_{\text{ox}} (\%)]$$

5.5.24 Densidade ótica do extrato do oxalato ácido de amônio (ODOE)

• 4 mL do extrato do oxalato ácido de amônio descrito no item 5.5.22 foram adicionados em uma cubeta de acrílico com caminho ótico de 10 mm • A absorbância no comprimento de onda de 430 nm foi determinada com um espectrômetro de absorção molecular no UV-Vis • Não existe a necessidade de uma curva de calibração • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.25 Ferro extraído pela solução do citrato-ditionito de sódio

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 0,6 g da TFSE triturada foi pesado em um tubo de centrífuga de 50 mL • 36 mL de uma solução contendo citrato e ditionito de sódio (citrato de sódio 17% e ditionito de sódio 1,7%) foram adicionados ao tubo de centrífuga • Solo e líquido foram agitados durante 16 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo de centrífuga na posição horizontal (deitado) • Quatro gotas do floculante Superfloc® (0,2%) foram adicionados ao tubo de centrífuga • A suspensão resultante foi centrifugada durante 30 min a 2000 rpm • O teor do ferro contido no extrato foi determinado com um espectrômetro de absorção atômica, utilizando-se uma curva de calibração • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.26 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂ e ZrO₂ na TFSE, areia, silte e argila, mensurados por espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX)

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 2 g da TFSE triturada foram pesados em um recipiente específico • A semi-quantificação das proporções do SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂ e ZrO₂ foi realizada com um espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia, utilizando-se os padrões na forma de pastilhas prensadas (o equipamento identifica as características espectrais da amostra, independentemente do tipo da matriz, e um *software* determina a composição elementar por meio de algoritmos) • Uma amostra referência também foi analisada para comparações (San Joaquin Soil NIST SRM 2709a) (quadro abaixo) • Os mesmos procedimentos foram utilizados para a areia (a obtenção está descrita no item 5.5.2), silte (a obtenção está descrita no item 5.5.29) e argila (a obtenção está descrita no item 5.5.7) • As replicatas de laboratório não foram realizadas.

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	ZrO ₂ (%)
SRM 2709a	61,7	18,2	7,5	0,1	0,8	0,0
FRX	64,8	13,9	4,8	0,1	0,6	0,0

5.5.27 Índices K_{iFRX} e K_{rFRX} da argila

$$\bullet K_{iFRX} = \frac{(\text{SiO}_2 (\%) \times 1,70)}{\text{Al}_2\text{O}_3 (\%)}$$

$$\bullet K_{rFRX} = \frac{(\text{SiO}_2 (\%)/0,6)}{(\text{Al}_2\text{O}_3 (\%)/1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)/1,6)}$$

5.5.28 Condutividade elétrica

• 10 g da TFSE foram pesados em um copo de plástico de 50 mL • 25 mL da água destilada foram adicionados ao copo de plástico • Solo e líquido foram agitados com bastão de vidro por poucos instantes • Após uma hora de repouso, a medição da condutividade elétrica foi realizada com um condutivímetro digital • As replicatas de laboratório foram realizadas.

5.5.29 Difractometria de raios X (DRX) - fração argila do solo

• A suspensão contendo a mistura do silte e argila (a obtenção está descrita no item 5.5.2) foi separada por sifonação com base na velocidade da sedimentação das partículas, sendo utilizados balde de plástico de 10 L, garrafa de plástico de 1,5 L, mangueira de plástico e seringa descartável de 60 mL • A suspensão contendo a mistura do silte e argila foi disposta na garrafa • A argila foi integralmente sifonada da garrafa e disposta no balde, enquanto o silte permaneceu sedimentado na porção inferior da garrafa • A etapa da sifonação foi realizada dez vezes • O silte foi submetido à secagem sob 110 °C durante 72 h • O silte foi triturado com almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • A argila disposta no balde foi floculada por meio da adição de 12 mL da solução do ácido clorídrico 1 mol L⁻¹ • Após a sedimentação completa da argila na porção inferior do balde, o sobrenadante foi descartado por sifonação • A argila foi disposta em uma nova garrafa de plástico de 1,5 L para eliminar o cloreto de sódio por meio da lavagem com álcool etílico 50% • A garrafa foi preenchida com o álcool etílico até atingir o dobro do volume da dispersão contendo a argila • Após a sedimentação da argila na porção inferior da garrafa, o sobrenadante foi descartado por sifonação • A lavagem foi repetida três vezes • A argila remanescente foi submetida à análise da

difratometria de raios X após os diferentes tratamentos químicos e térmicos •

Tratamentos com potássio: um volume da dispersão contendo aproximadamente 2 g da argila foi pipetado e transferido para um tubo de centrífuga de 50 mL • 30 mL da solução do cloreto de potássio 1 mol L^{-1} foram adicionados ao tubo • A dispersão foi agitada com vortex e mantida em repouso por 2 h • A dispersão contida no tubo foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O sobrenadante foi descartado • O tratamento foi realizado quatro vezes • A amostra da argila tratada foi disposta em sacos de diálise para eliminar o excesso do cloreto de potássio • Quatro amostras da argila orientada foram dispostas em diferentes lâminas de vidro e submetidas aos tratamentos térmicos da secagem em temperatura ambiente (tratamento K25), aquecimento em uma mufla sob 100°C durante 4 h (tratamento K100), aquecimento em uma mufla sob 350°C durante 4 h (tratamento K350) e aquecimento em uma mufla sob 550°C durante 4 h (tratamento K550) •

Tratamentos com magnésio: um volume da dispersão contendo aproximadamente 2 g da argila foi pipetado e transferido para um tubo de centrífuga de 50 mL • 30 mL do cloreto de magnésio 1 mol L^{-1} foram adicionados ao tubo • A dispersão foi agitada com vortex e mantida em repouso por 2 h • A dispersão contida no tubo foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O sobrenadante foi descartado • O tratamento foi realizado quatro vezes • A amostra da argila tratada foi disposta em sacos de diálise para eliminar o excesso do cloreto de magnésio • Uma amostra da argila orientada foi disposta em uma lâmina de vidro (tratamento Mg), sendo submetida à secagem em temperatura ambiente • Alternativamente, uma quantidade da amostra saturada com magnésio foi disposta em outra lâmina de vidro, permanecendo em contato com o vapor produzido por uma solução do etileno glicol 50% (em um dessecador dentro de uma estufa sob 60°C durante 24 h) (tratamento Mg+EG) • As diferentes amostras da argila orientada (tratamentos K25, K100, K350, K550, Mg e Mg+EG) foram analisadas em um difratômetro de raios-X dotado de tubo do cobalto, goniômetro vertical com ângulo de compensação $\theta/2\theta$ e monocromador do grafite, com variação angular de 4 a $42^\circ 2\theta$. A velocidade angular foi de $0,02^\circ 2\theta/\text{s}$, em modo por passos (*step*), com tempo de 1 segundo de leitura por passo • A identificação dos argilominerais em amostras da argila orientada é realizada por meio do padrão característico da difração dos raios X após a aplicação dos diferentes tratamentos químicos e térmicos • As replicatas de laboratório não foram realizadas.

5.5.30 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) - matéria orgânica do solo

• 10 g da TFSE foram pesados em um tubo de centrifuga de 50 mL • 30 mL do ácido fluorídrico 10% foram adicionados ao tubo • Solo e líquido foram agitados manualmente por poucos instantes • Solo e líquido foram agitados durante 2 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo na posição horizontal (deitado) • A suspensão contida no tubo foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O sobrenadante foi descartado • 30 mL do ácido fluorídrico 10% foram adicionados ao tubo com o material sedimentado • O material sedimentado foi dispersado novamente com agitação manual por poucos instantes • Solo e líquido foram agitados durante 2 h em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo na posição horizontal (deitado) • A suspensão contida no tubo foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O sobrenadante foi descartado • No total, oito lavagens com o ácido fluorídrico 10% foram realizadas • Posteriormente, 30 mL da água destilada foram adicionados ao tubo com o material sedimentado • O material sedimentado foi dispersado novamente com agitação manual por poucos instantes • Solo e líquido foram agitados durante 30 min em uma mesa agitadora pendular com a intensidade de 120 bpm, mantendo-se o tubo na posição horizontal (deitado) • A dispersão contida no tubo foi centrifugada durante 10 min a 2000 rpm • O sobrenadante foi descartado • No total, três lavagens com a água destilada foram realizadas • Após a secagem, o material escurecido remanescente foi separado visualmente do silte e areia (estas não foram eliminadas pelo tratamento com o ácido fluorídrico 10%) • Apenas o material escurecido remanescente foi submetido à análise da FTIR • 200 mg do KBr e 2 mg da amostra foram triturados e homogeneizados com almofariz e pistilo de ágata • O material resultante foi utilizado na confecção dos discos com uma prensa específica • A amostra foi analisada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, sendo utilizados 32 *scans* e uma resolução de 4 cm^{-1} no intervalo espectral de 4000 a 400 cm^{-1} • Os mesmos procedimentos similares foram realizados com a argila do solo, sendo utilizados 2 g do material e apenas 4 lavagens com o ácido fluorídrico 10% • Nesse caso, todo o material remanescente foi submetido à análise de FTIR • As replicatas de laboratório não foram realizadas.

5.5.31 *delta* ¹³C (δ¹³C)

• Uma quantidade da TFSE foi triturada com um almofariz e pistilo de ágata até atingir uma granulometria inferior a 0,250 mm • 50 mg da TFSE triturada foram pesados em um recipiente específico • O *delta* ¹³C foi determinado com um espectrômetro de massa de razão isotópica, conforme o cálculo abaixo • As replicatas de laboratório foram realizadas.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C amostra}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C VPDB}} - 1 \right) \times 1000$$

Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) = padrão internacional.

5.5.32 Datação por ¹⁴C

• Uma quantidade da amostra total (amostra bruta) foi dispersada e homogeneizada com agitação em água deionizada • O material foi submetido à sonicação e peneiramento com a malha de 0,18 mm • O material que passou através da peneira foi submetido a banhos com a solução do ácido clorídrico 2,5 mol L⁻¹ sob 90 °C durante 1,5 h para remover integralmente qualquer carbonato e bicarbonato • O material foi submetido a banhos com água deionizada sob 70 °C até atingir a neutralidade • Os resíduos orgânicos reconhecíveis foram integralmente removidos • A determinação do ¹⁴C foi realizada na amostra tratada por meio da espectrometria de massa com aceleradores (Laboratório Beta Analytic, Miami-EUA) • A idade da matéria orgânica do solo foi calculada com base no decaimento (função exponencial) radioativo do ¹⁴C (meia-vida de 5730 anos) • As replicatas de laboratório foram realizadas.

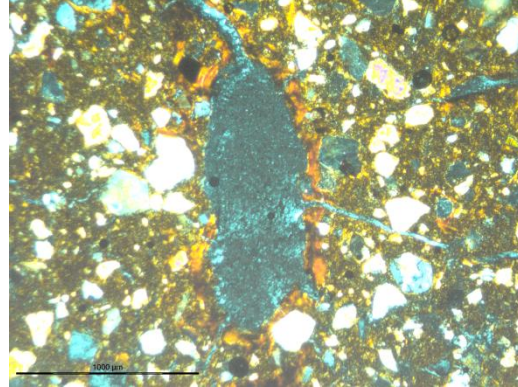
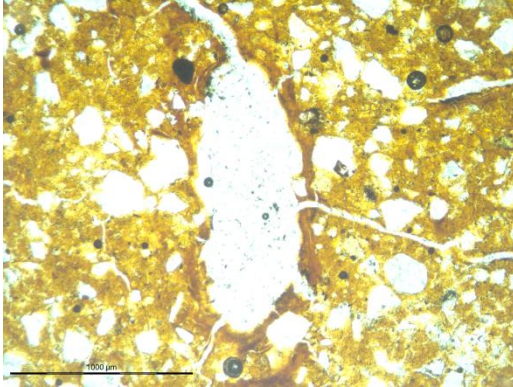
5.5.33 Micromorfologia

• A amostra do solo com a estrutura preservada (monólito) foi coletada *in-situ*, utilizando-se uma caixa de papel como molde • A amostra foi embalada com filme plástico esticável e plástico bolha para ser acondicionada e transportada até o laboratório • Posteriormente, a substituição da água da amostra por acetona foi

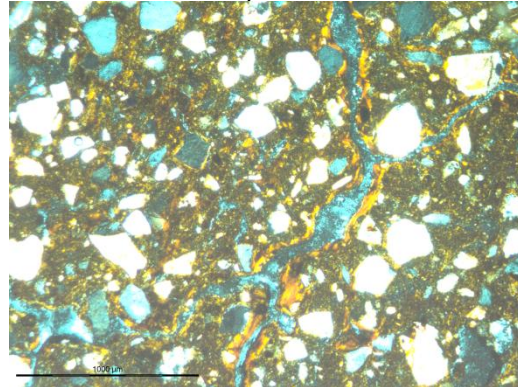
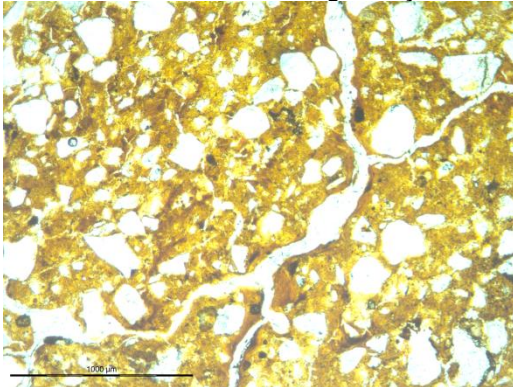
realizada com uma estrutura específica • A impregnação do monólito foi realizada com uma mistura composta pela resina de poliéster (1 L), monômero de estireno (1 L), catalisador específico (endurecedor) (10-20 gotas) e pigmento fluorescente (5 g) • A secagem e o endurecimento do bloco foram concluídos em aproximadamente um mês de duração • As extremidades do bloco foram cortadas com uma serra e descartadas, sendo aproveitada apenas a porção central da amostra • O bloco foi cortado com uma serra até atingir o comprimento e largura da lâmina de vidro (75 X 50 X 1,85 mm) • O lixamento de uma das faces do bloco foi realizado para regularizar a superfície (eliminar eventuais saliências) • O lixamento e a colagem de uma lâmina de vidro foram realizados na face uniformizada do bloco, utilizando-se uma mistura composta pela resina epóxi e catalisador específico (endurecedor) (5:1) • A secagem e a fixação da lâmina de vidro no bloco foram concluídas em aproximadamente 24h de duração • O excesso da amostra foi desgastado com uma serra • A amostra do solo foi submetida ao polimento automatizado em uma máquina lapidadora, utilizando-se o abrasivo Carborundum[®] mais água • A amostra do solo foi submetida ao polimento manual com um fragmento de vidro, utilizando-se o abrasivo Carborundum[®] mais óleo mineral até atingir uma espessura final de aproximadamente 30 µm (lâmina delgada) • Finalmente, a lâmina delgada foi limpada com uma escova e água corrente • A descrição da lâmina delgada foi realizada com o uso de um microscópio petrográfico conforme as recomendações do Bullock et al. (1985), sendo utilizada parcialmente a terminologia traduzida em português por Stoops (1986) • A fração argila do solo (< 2 µm) foi considerada o material fino • As replicatas de laboratório não foram realizadas.

APÊNDICE G — Feições pedológicas em lâminas delgadas dos horizontes BA, Bt1 e Bt2 do perfil PBAC - SJP. As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Magnificação de 40 ou 100x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 1000 ou 400 μm . Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

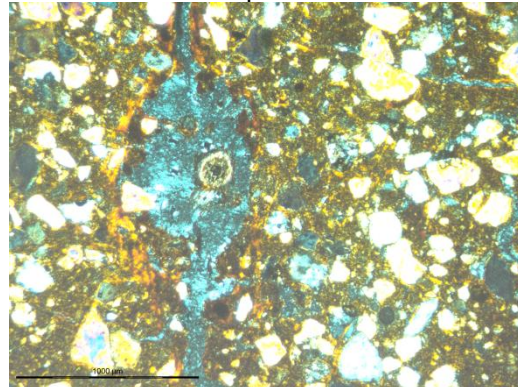
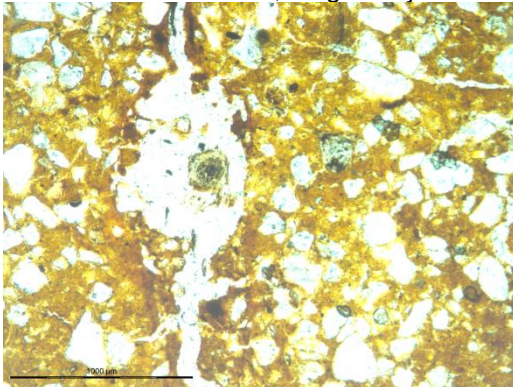
BA, magnificação de 40x, barra horizontal de 1000 μm



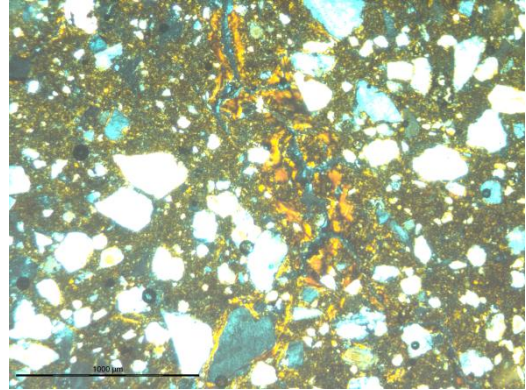
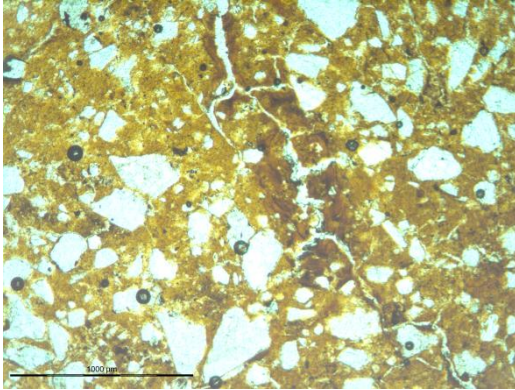
BA, magnificação de 40x, barra horizontal de 1000 μm



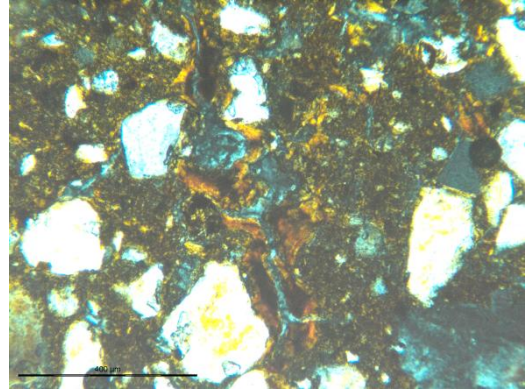
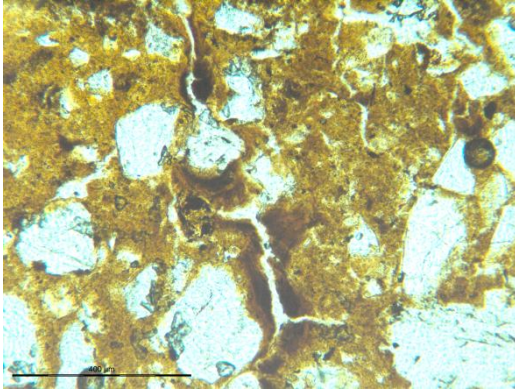
BA, magnificação de 40x, barra horizontal de 1000 μm



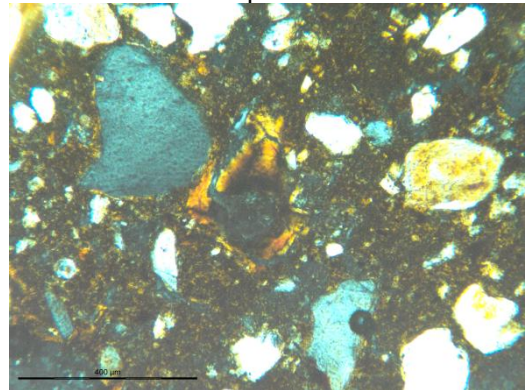
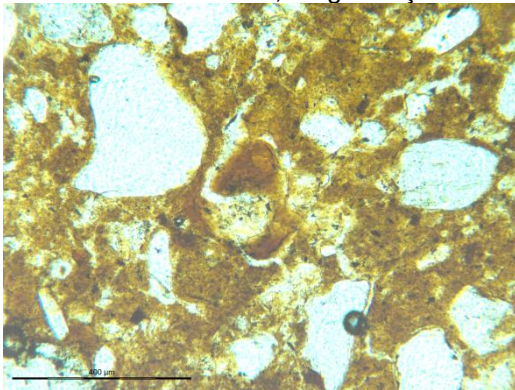
BA, magnificação de 40x, barra horizontal de 1000 μm



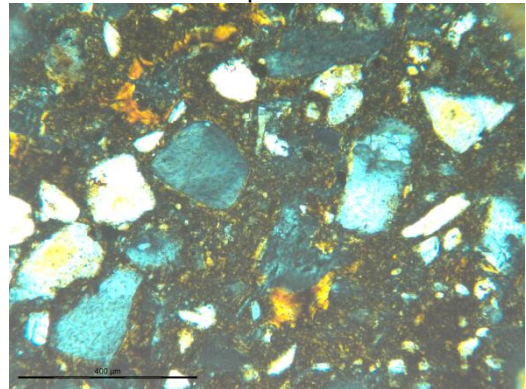
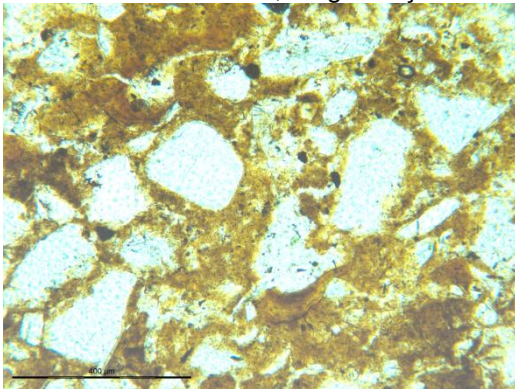
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



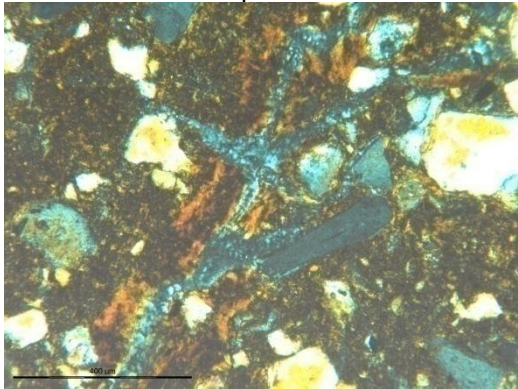
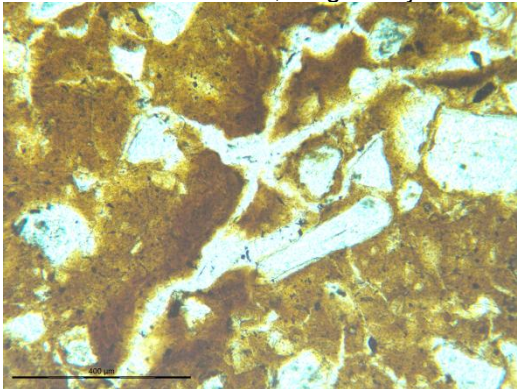
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



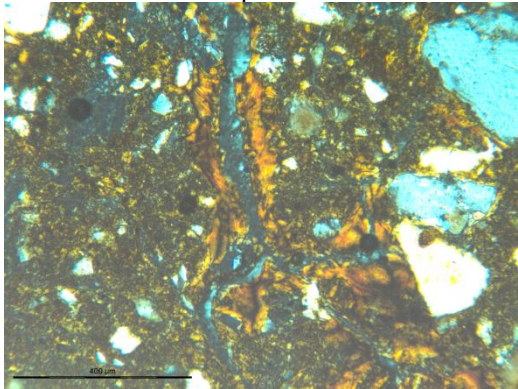
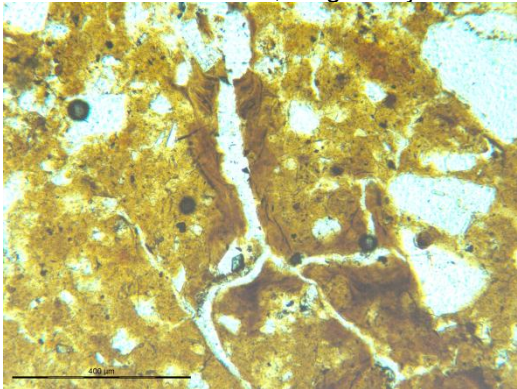
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μm



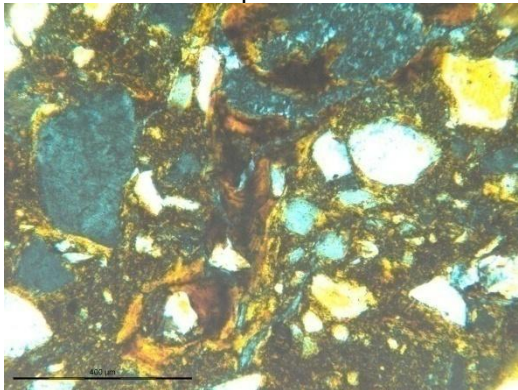
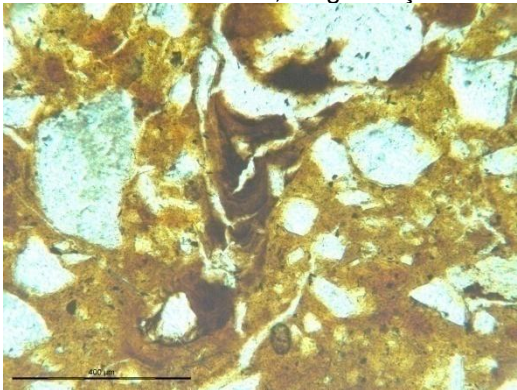
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 µm



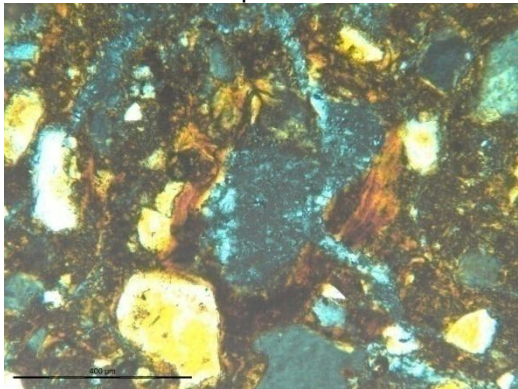
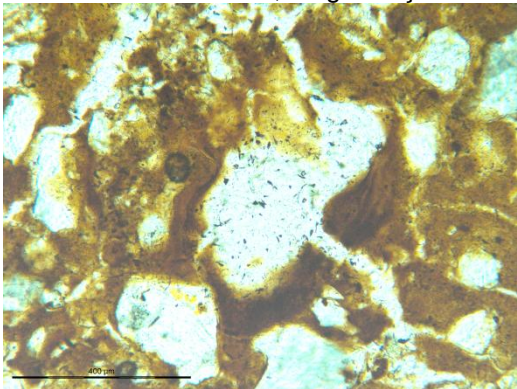
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 µm



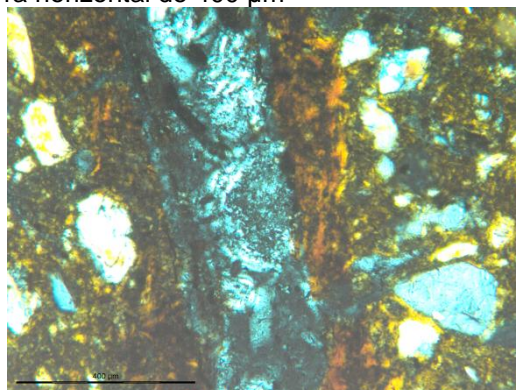
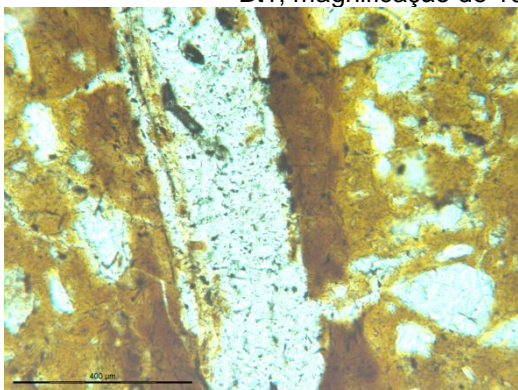
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 µm



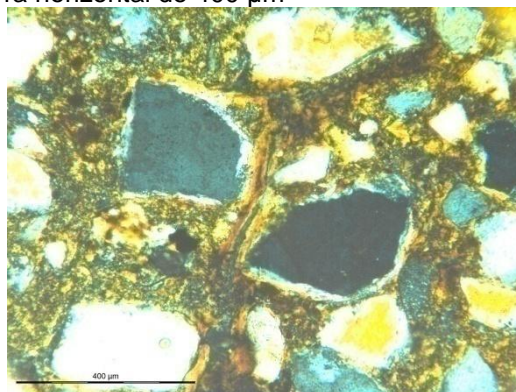
BA, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 µm



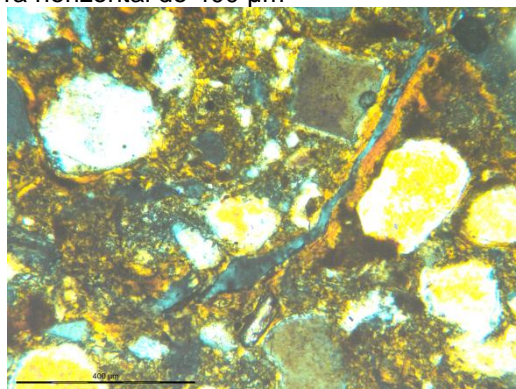
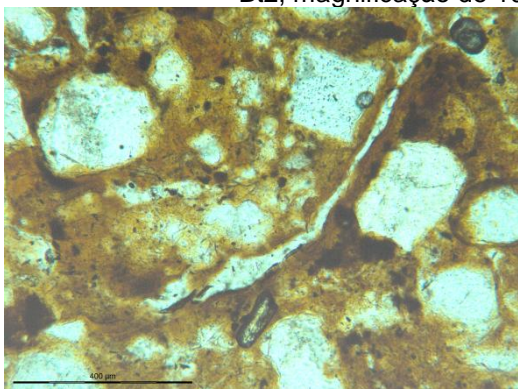
Bt1, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μ m



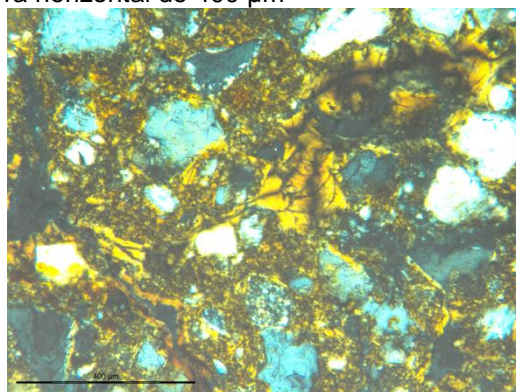
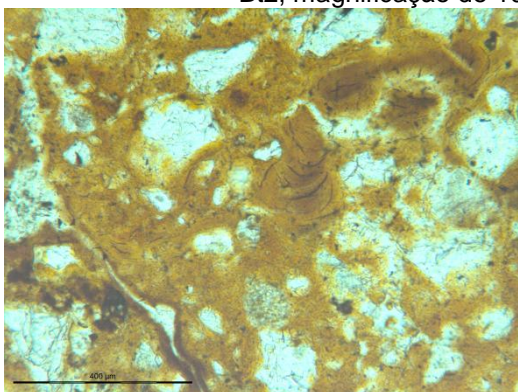
Bt2, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μ m



Bt2, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μ m

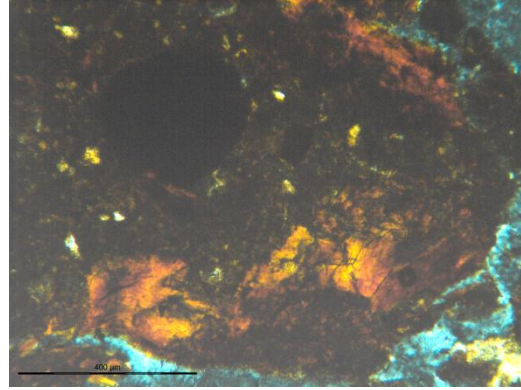
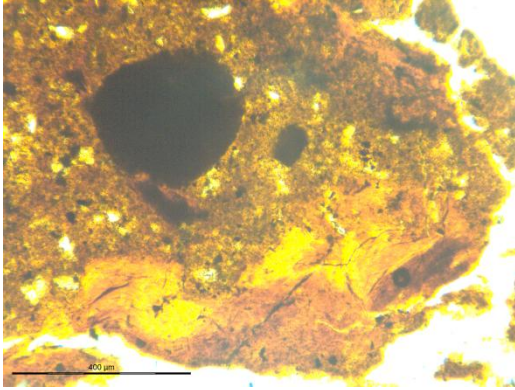


Bt2, magnificação de 100x, barra horizontal de 400 μ m

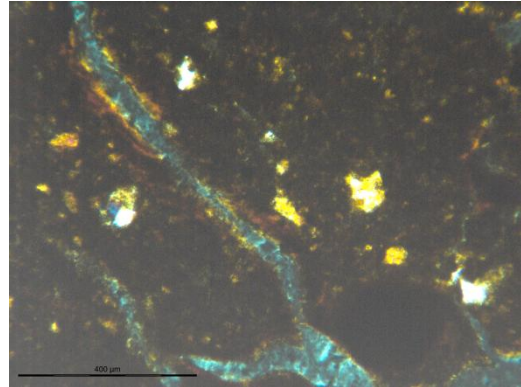
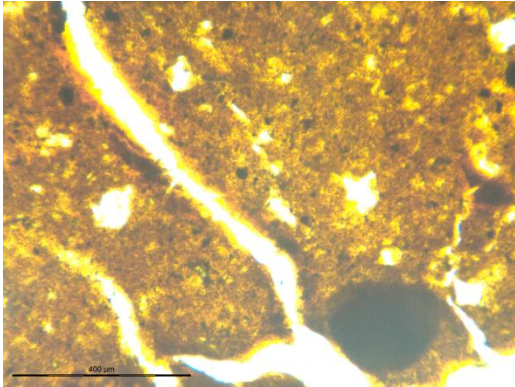


APÊNDICE H — Feições pedológicas em lâminas delgadas dos horizontes BA1 e Bt do perfil PBAC - ARV. As imagens lado a lado representam a mesma seção sob a luz polarizada sem (esquerda) e com (direita) os polarizadores cruzados. Magnificação de 100x. A barra horizontal na porção inferior equivale a 400 μm . Amostras orientadas e com a estrutura preservada.

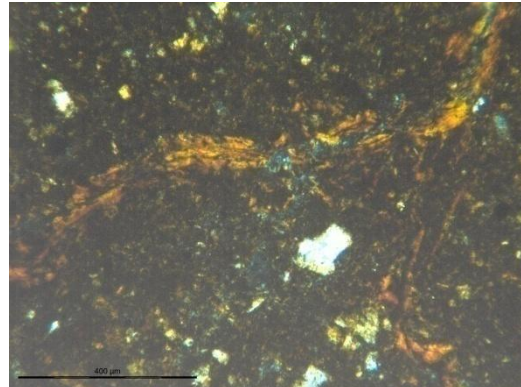
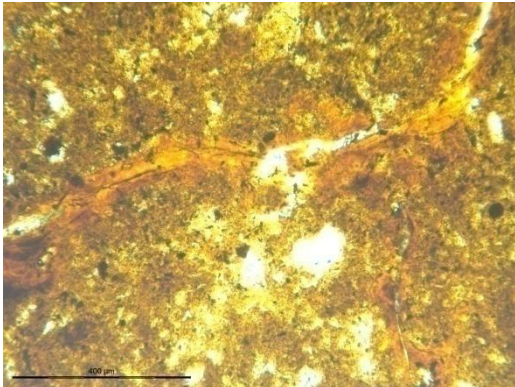
BA1



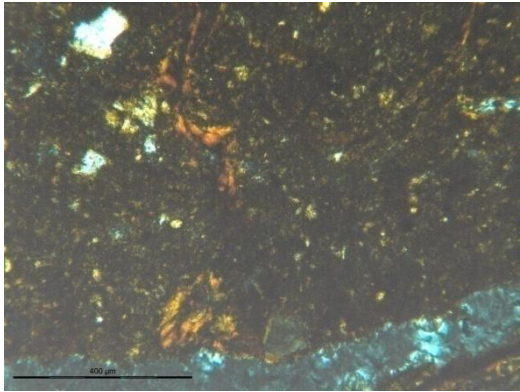
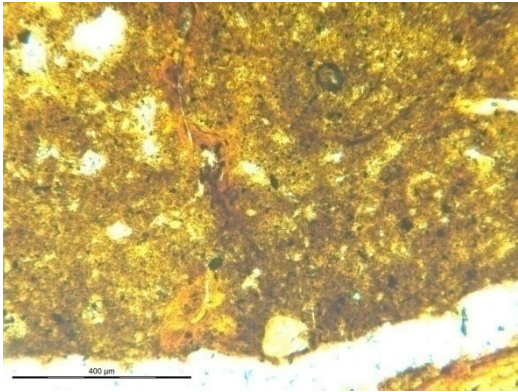
BA1



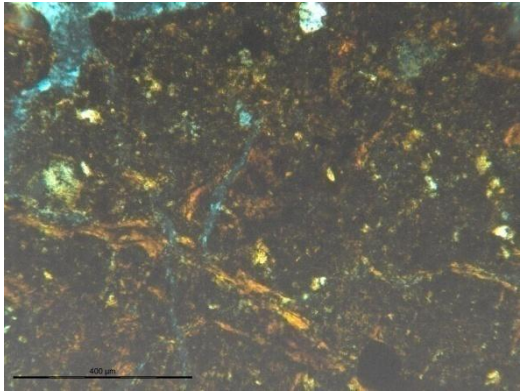
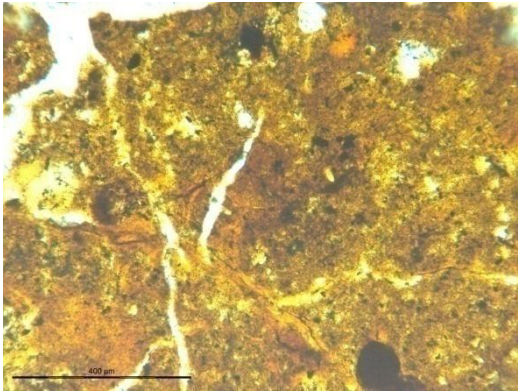
BA1



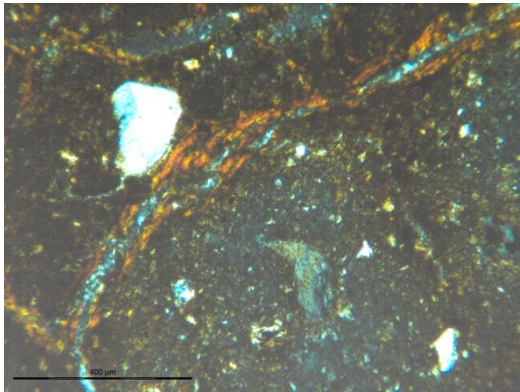
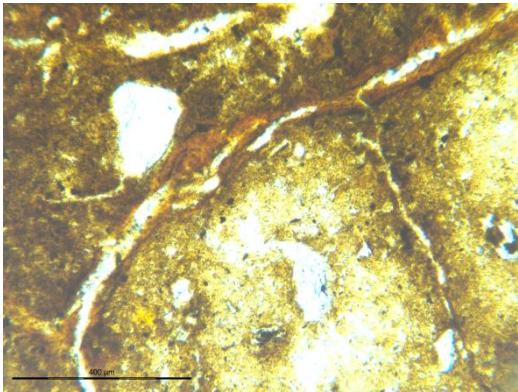
BA1



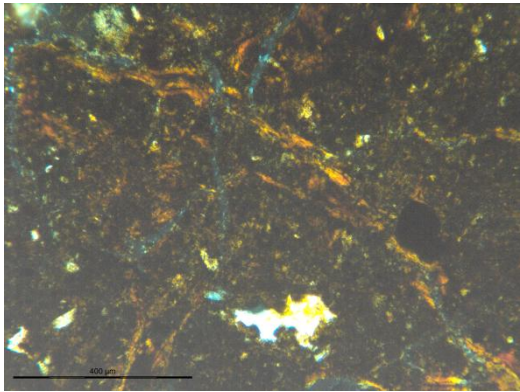
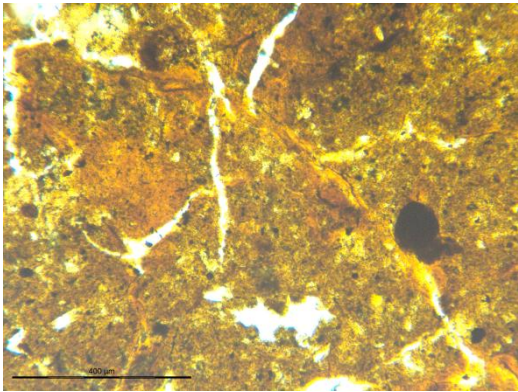
BA1



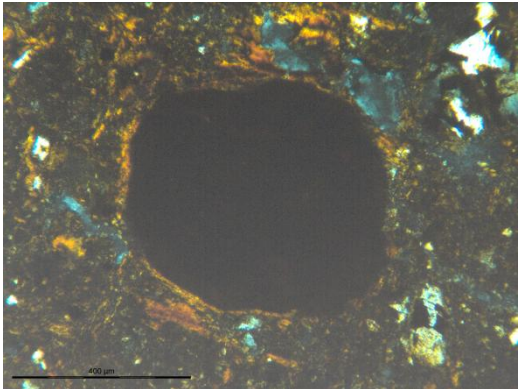
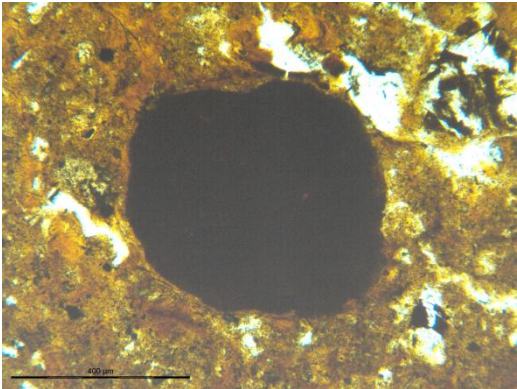
BA1



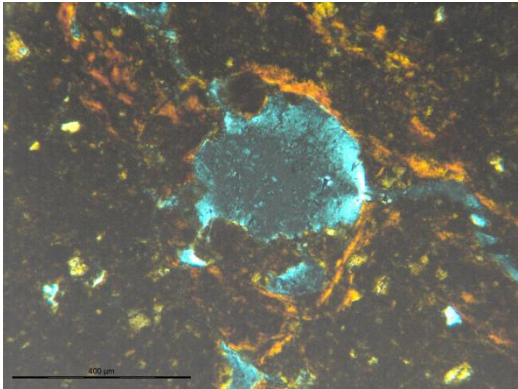
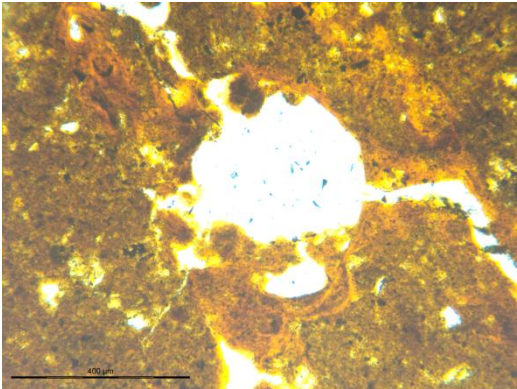
BA1



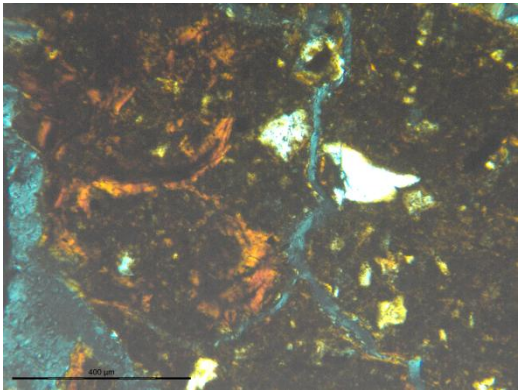
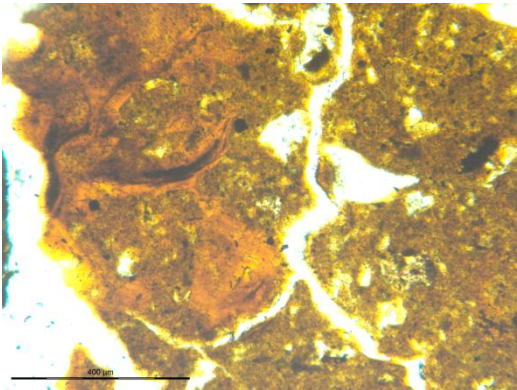
BA1



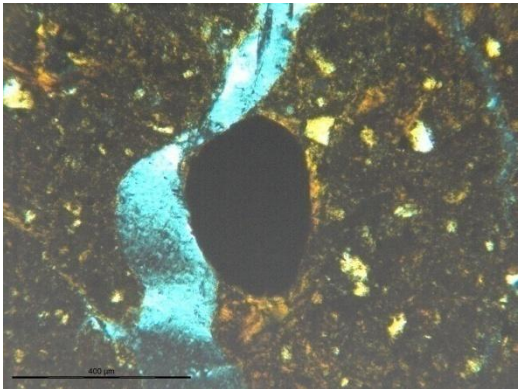
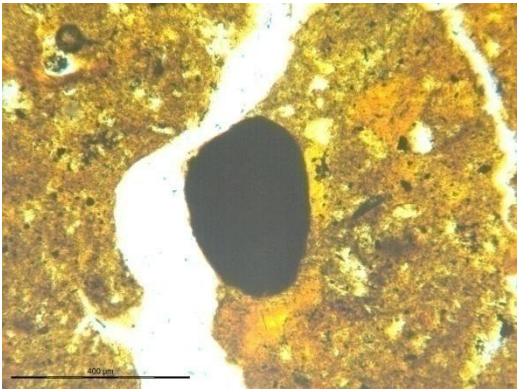
BA1



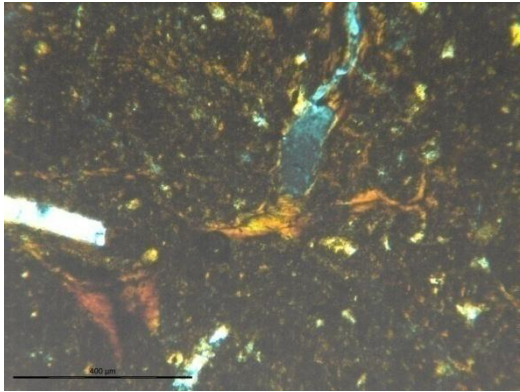
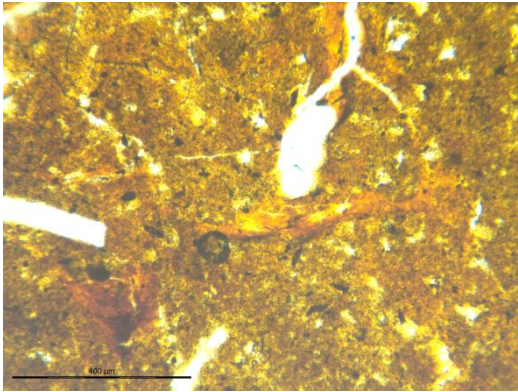
BA1



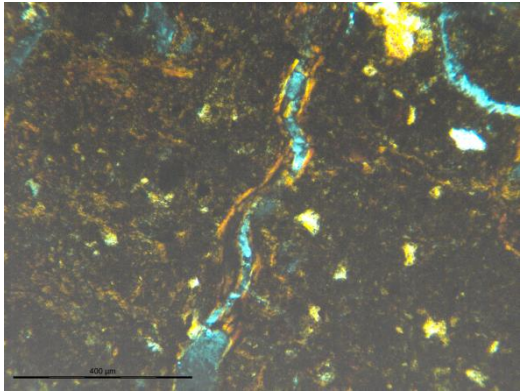
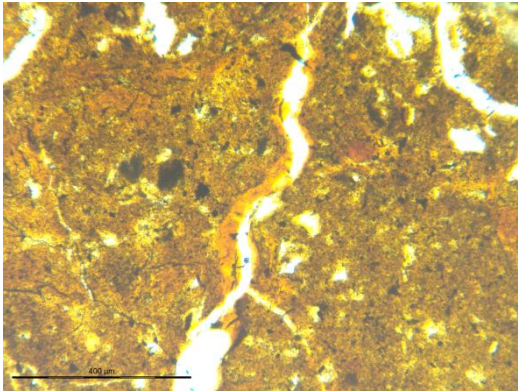
BA1



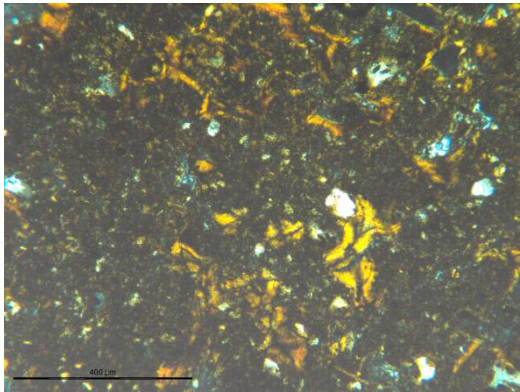
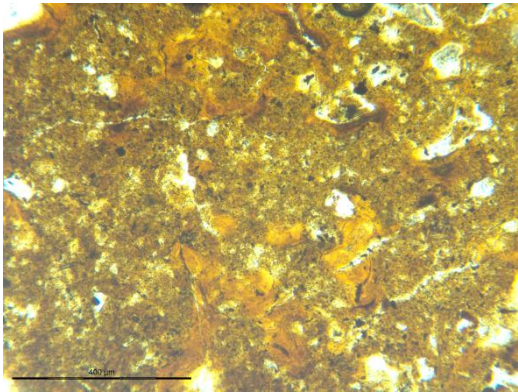
BA1



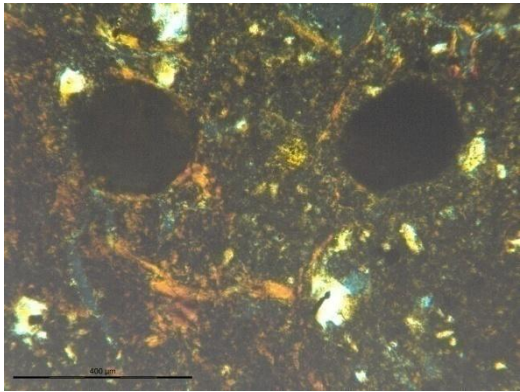
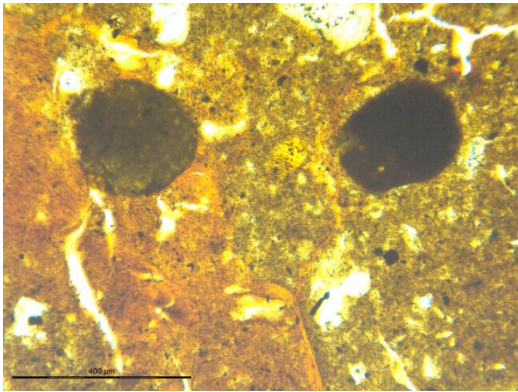
BA1



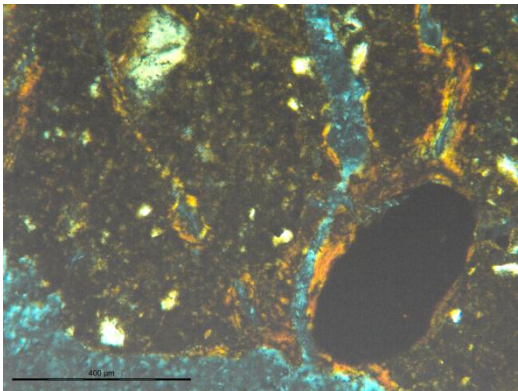
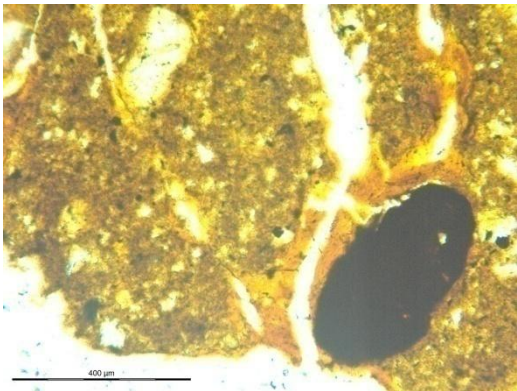
BA1



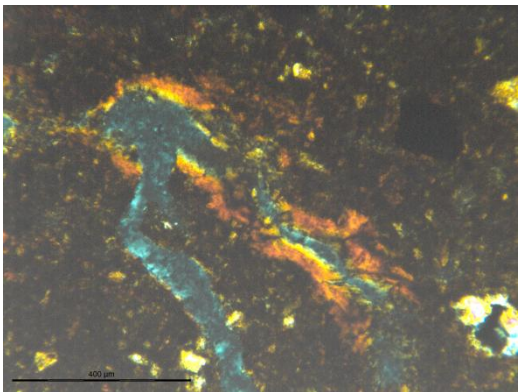
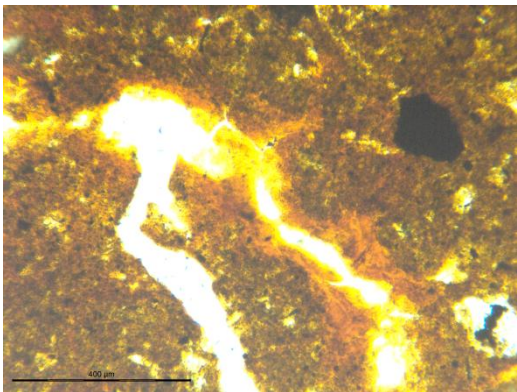
BA1



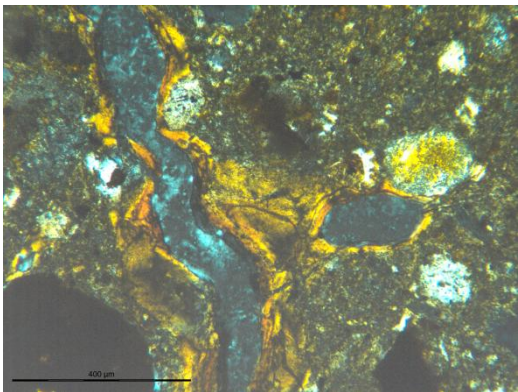
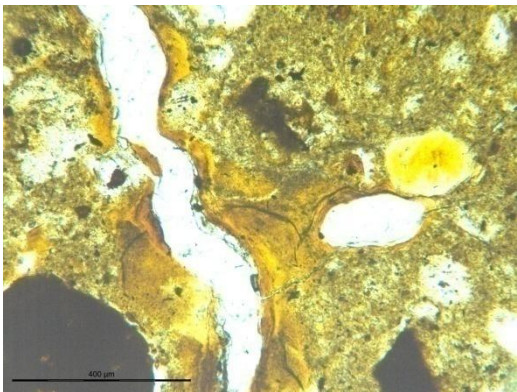
BA1



BA1

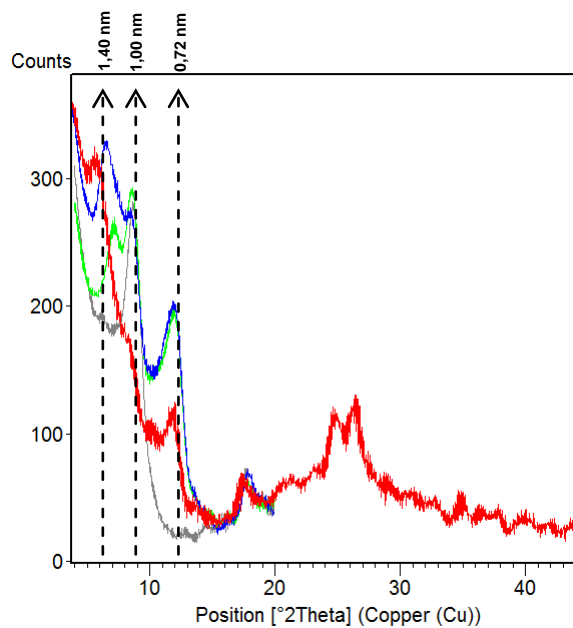


Bt

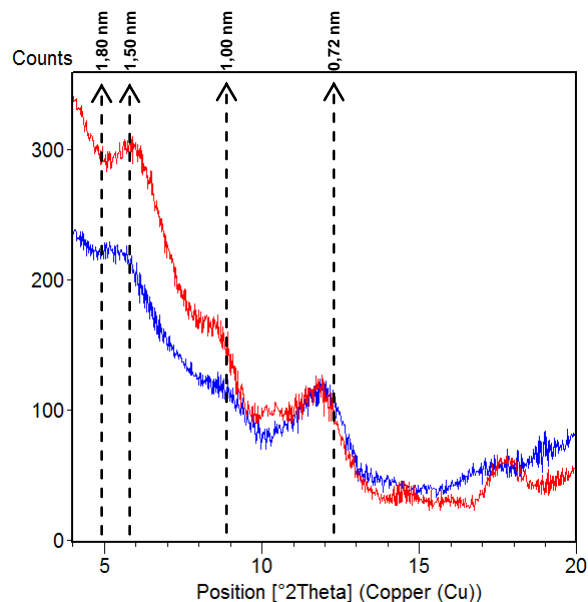


APÊNDICE I — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - SJP. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

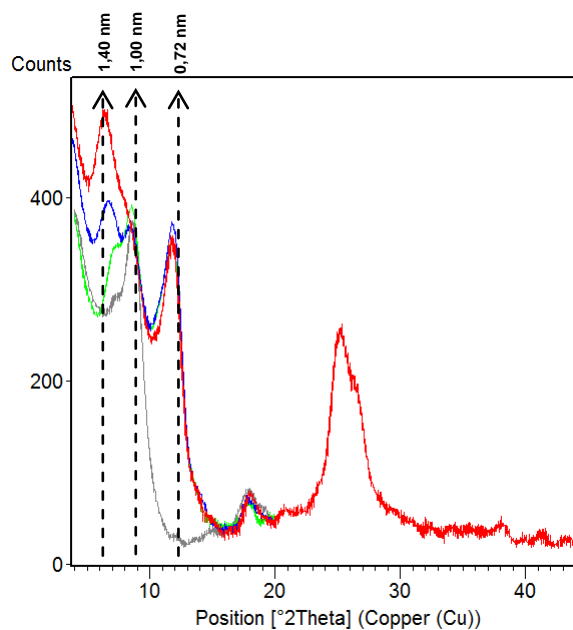
A2 - Tratamentos com K



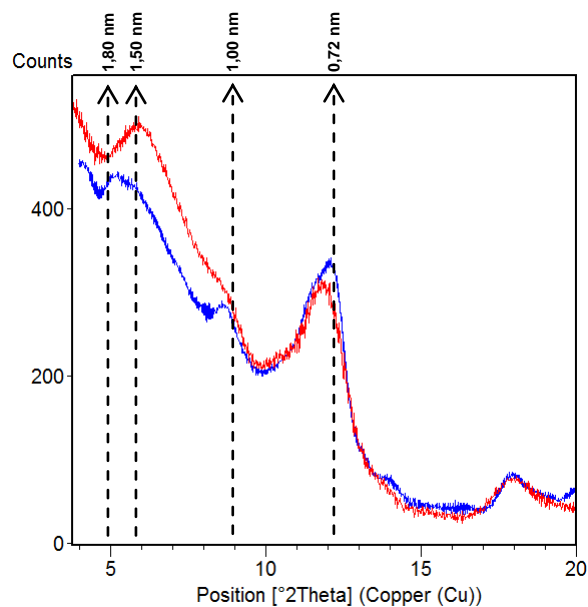
A2 - Tratamentos com Mg



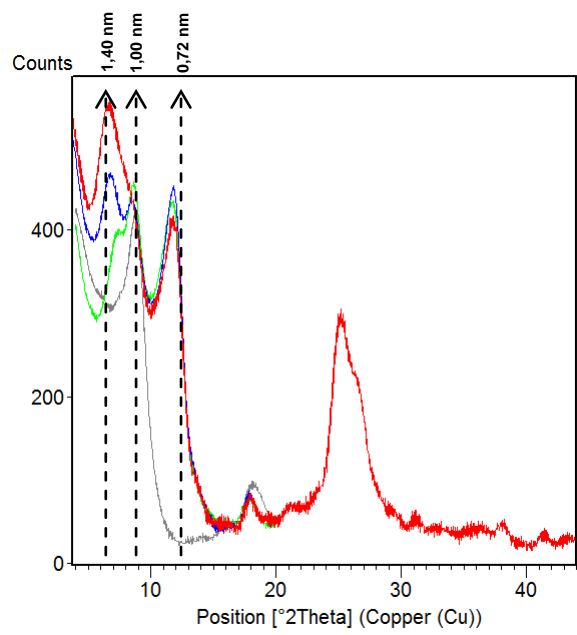
BA - Tratamentos com K



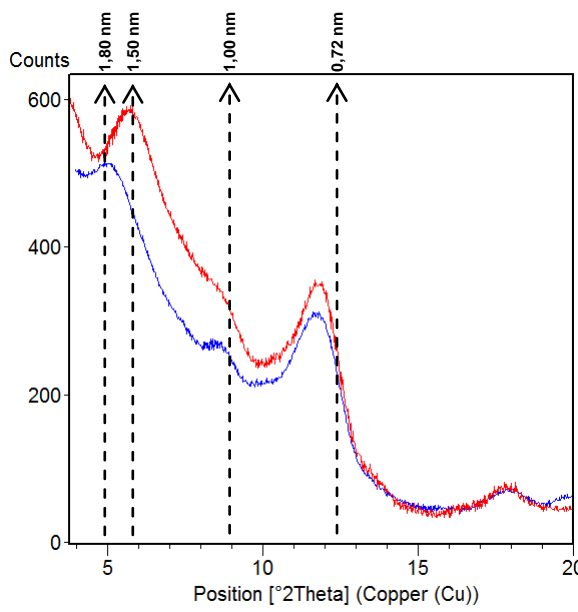
BA - Tratamentos com Mg



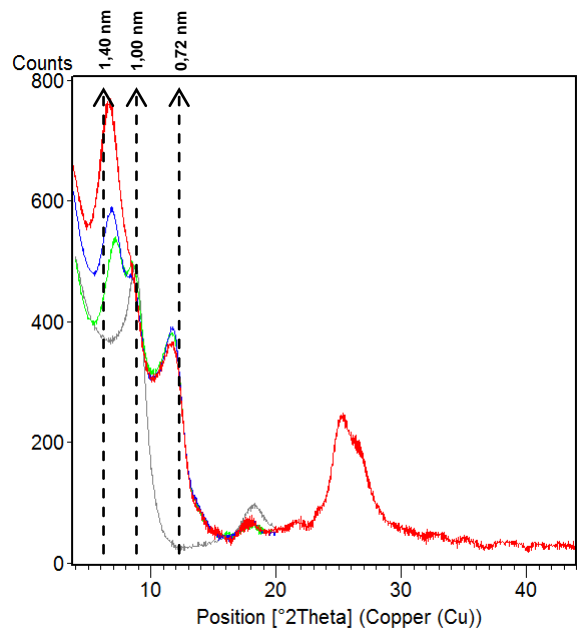
Bt1 - Tratamentos com K



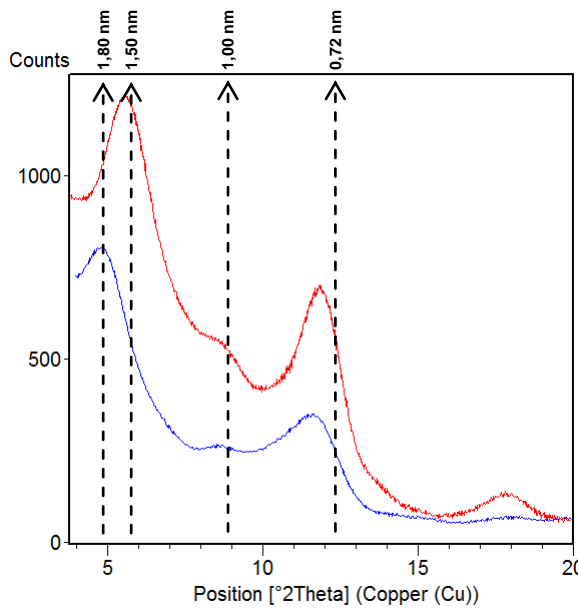
Bt1 - Tratamentos com Mg



Bt2 - Tratamentos com K

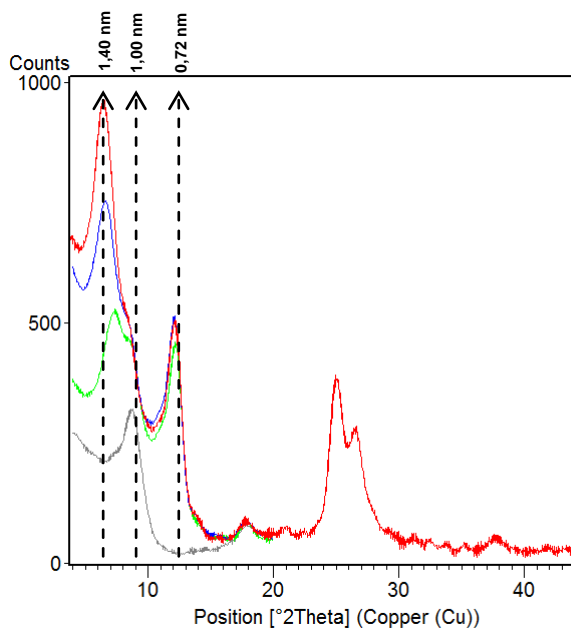


Bt2 - Tratamentos com Mg

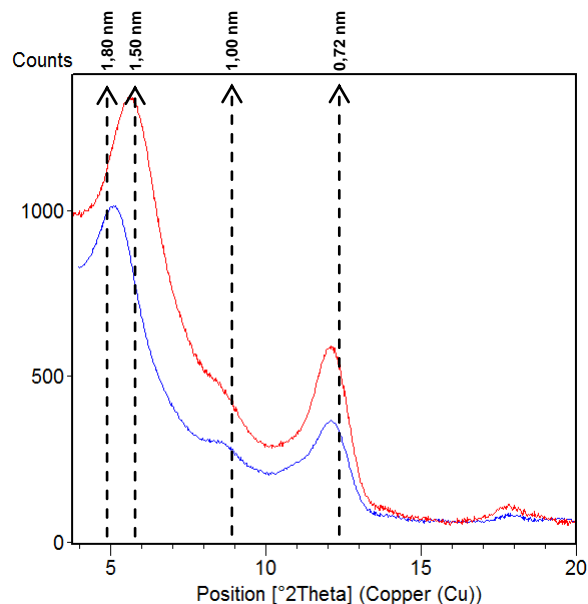


APÊNDICE J — Difratoimetria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - RS. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

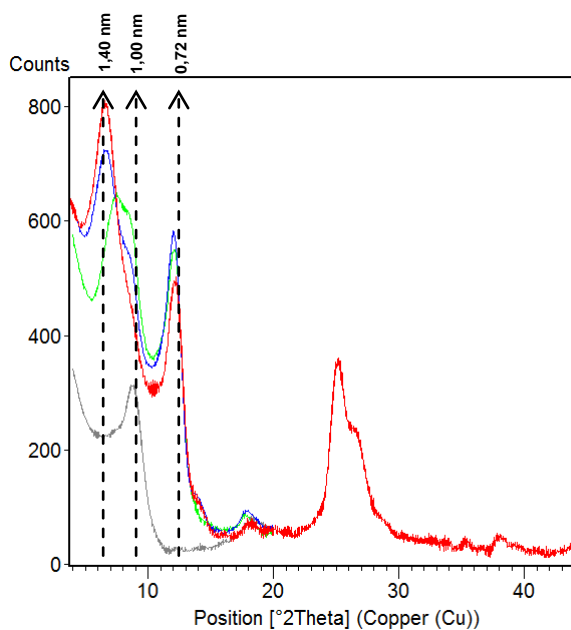
A2 - Tratamentos com K



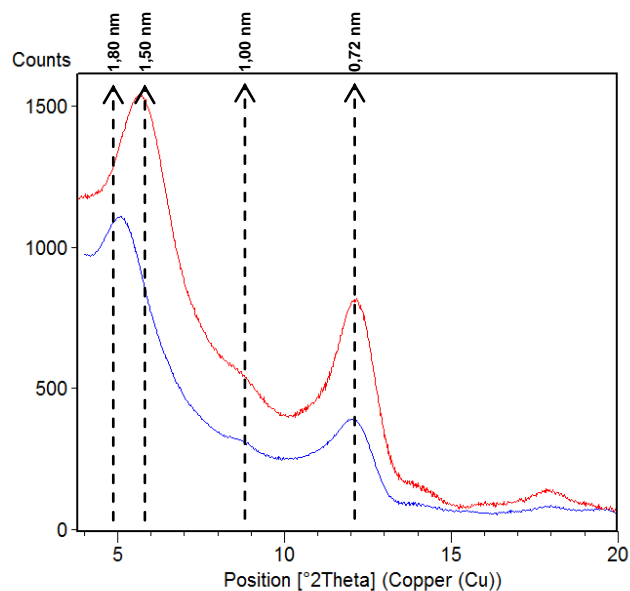
A2 - Tratamentos com Mg



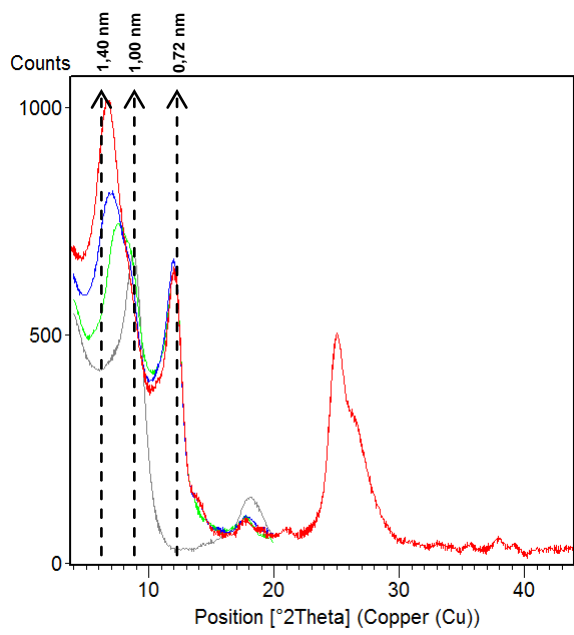
BA1 - Tratamentos com K



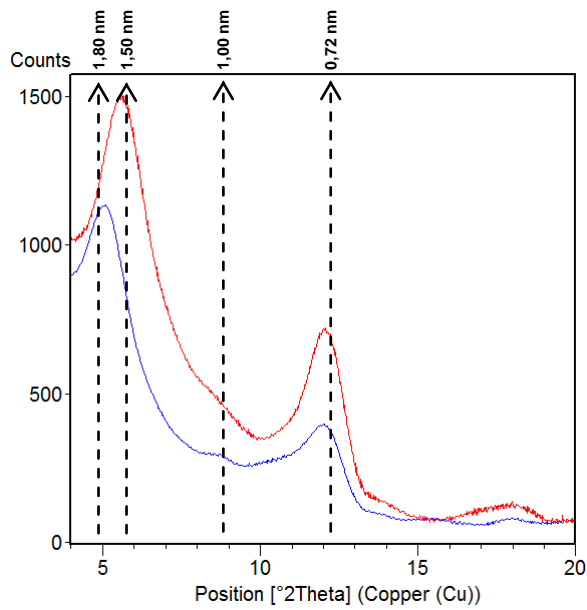
BA1 - Tratamentos com Mg



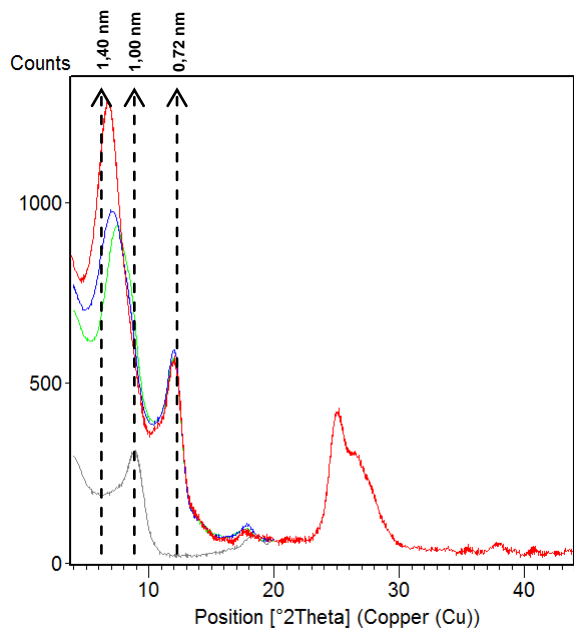
BA2 - Tratamentos com K



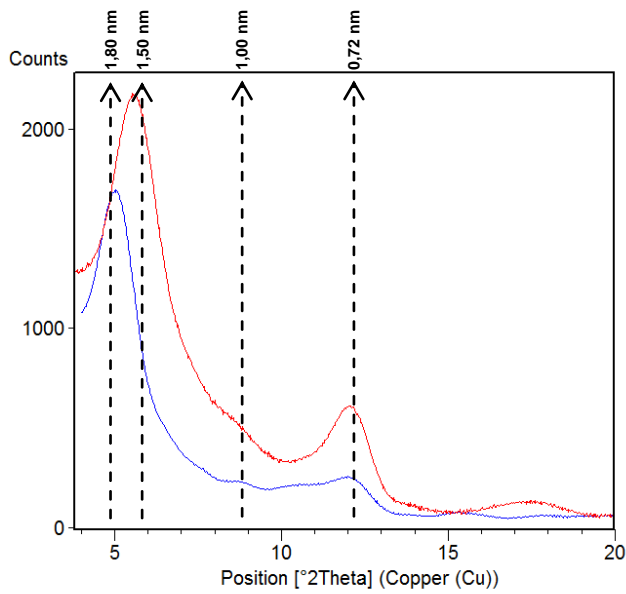
BA2 - Tratamentos com Mg



Bt - Tratamentos com K

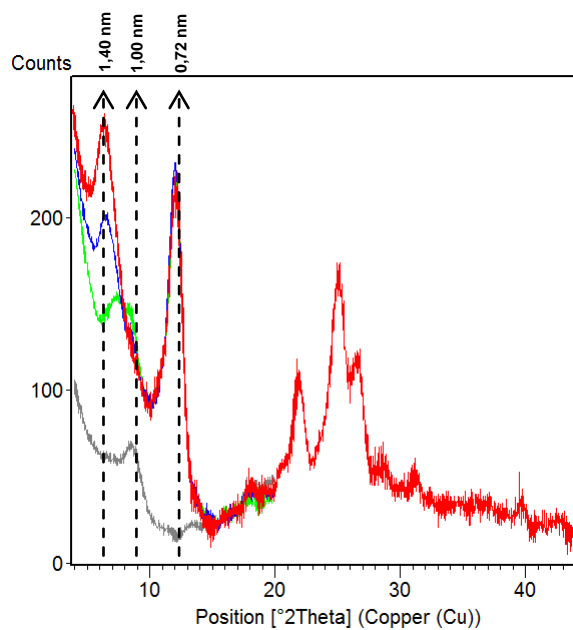


Bt - Tratamentos com Mg

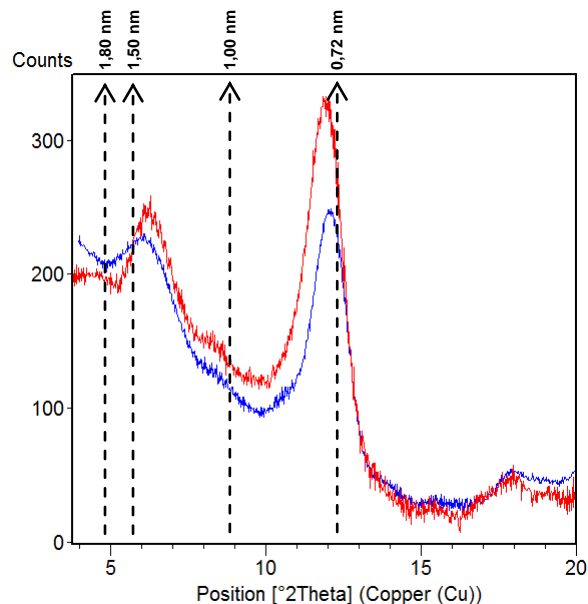


APÊNDICE K — Difratometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - ARV. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

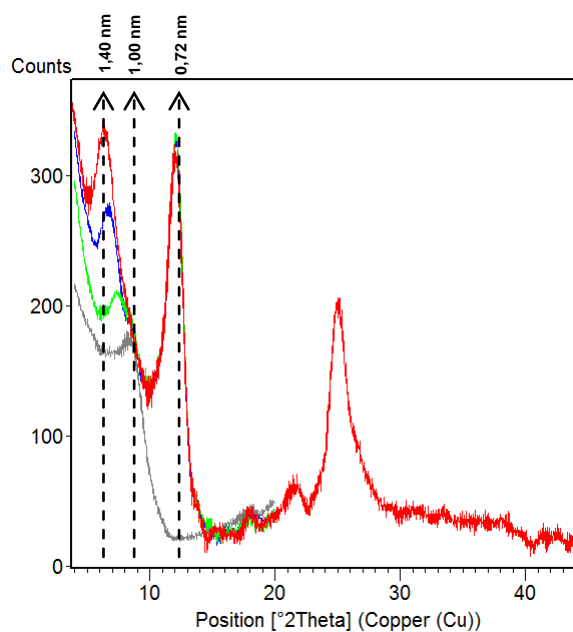
A2 - Tratamentos com K



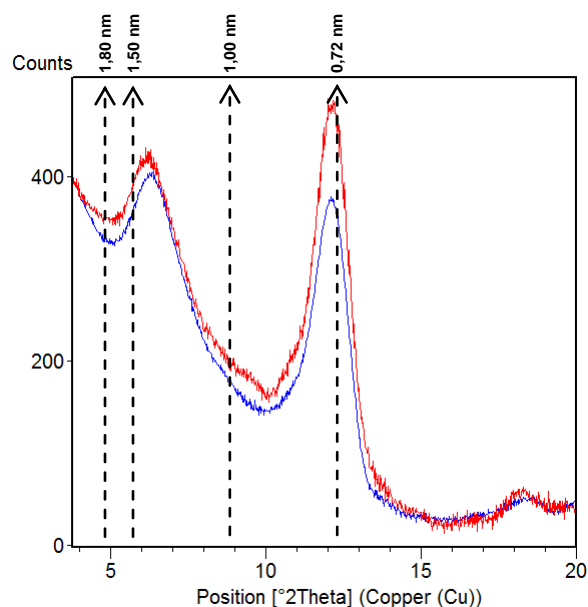
A2 - Tratamentos com Mg



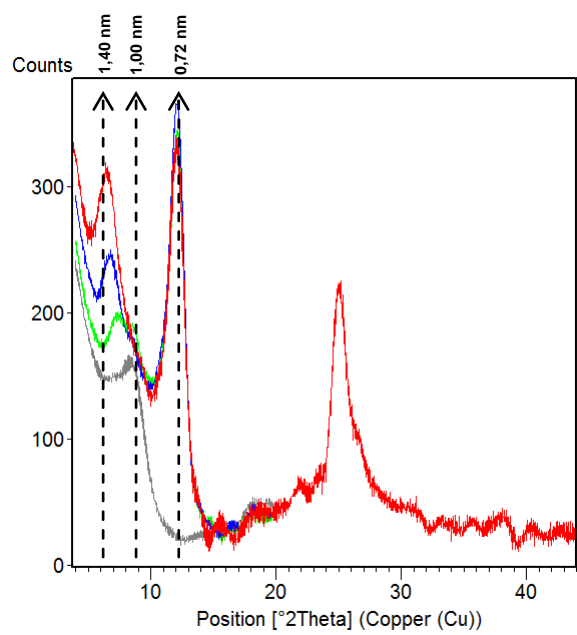
BA1 - Tratamentos com K



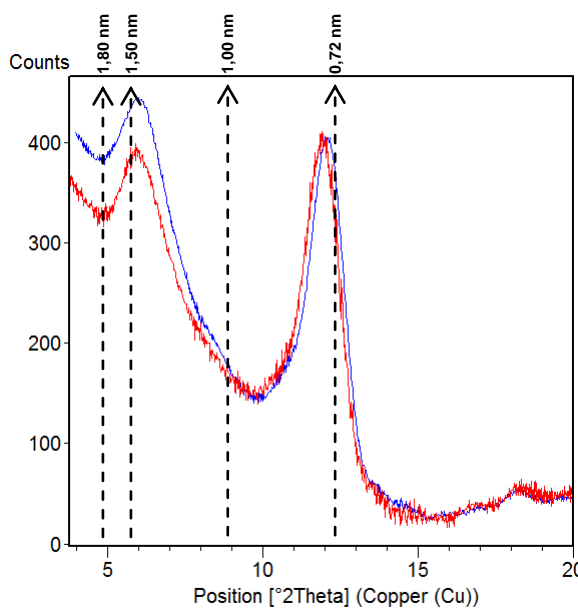
BA1 - Tratamentos com Mg



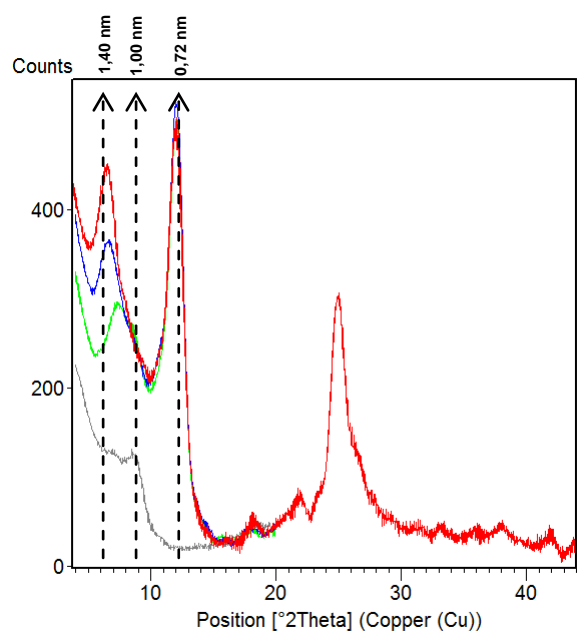
BA2 - Tratamentos com K



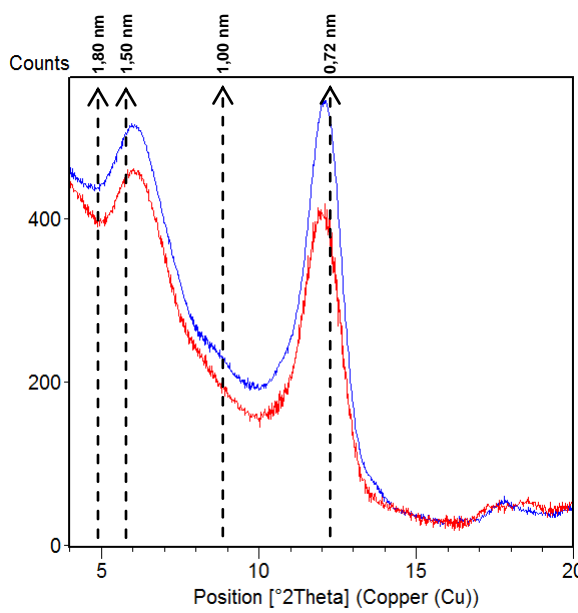
BA2 - Tratamentos com Mg



Bt - Tratamentos com K

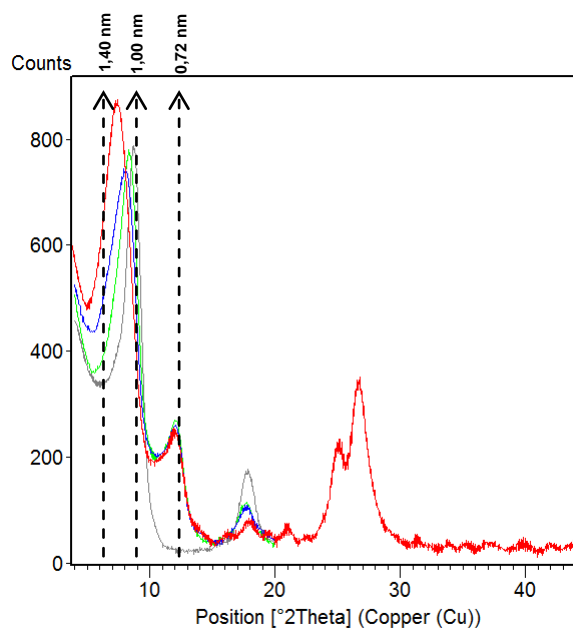


Bt - Tratamentos com Mg

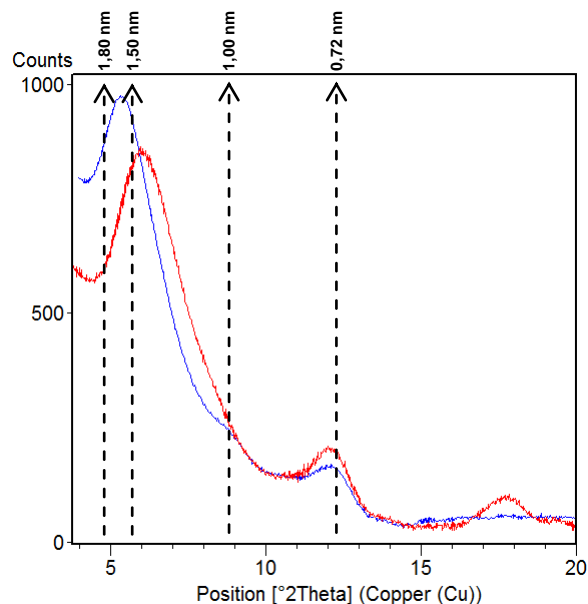


APÊNDICE L — Difractometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PA - AUR. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

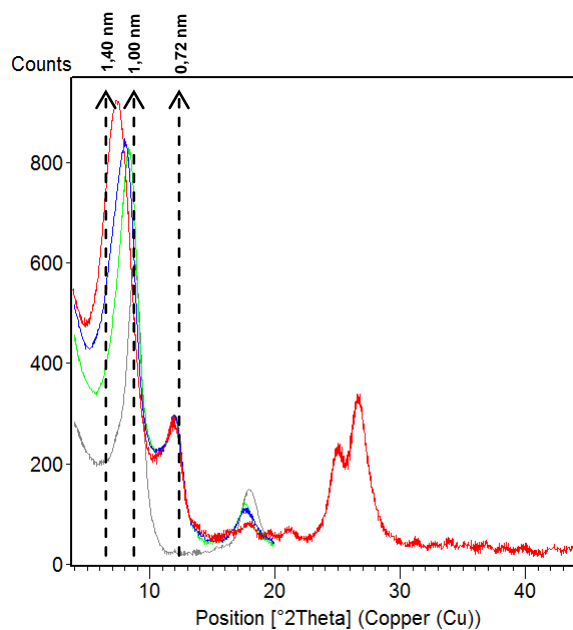
AB - Tratamentos com K



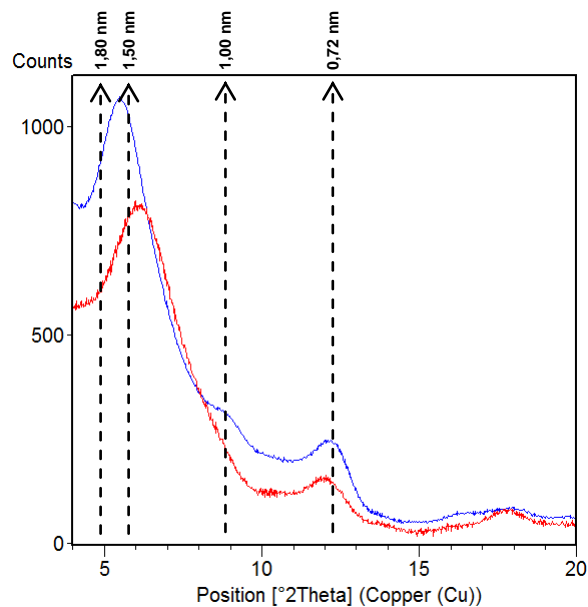
AB - Tratamentos com Mg



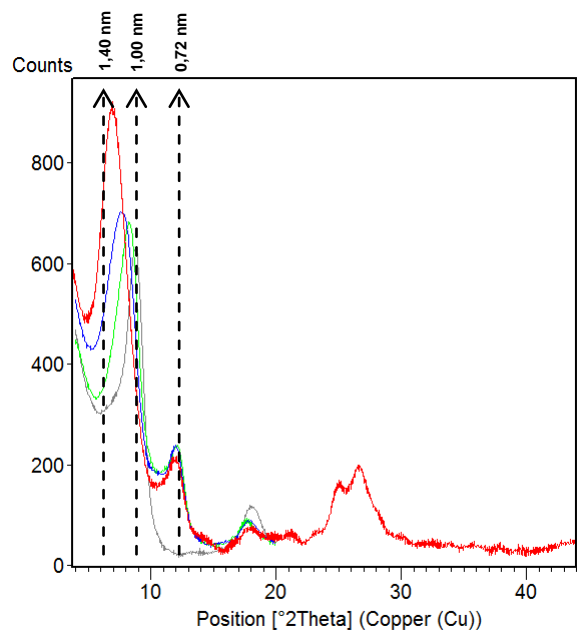
BA - Tratamentos com K



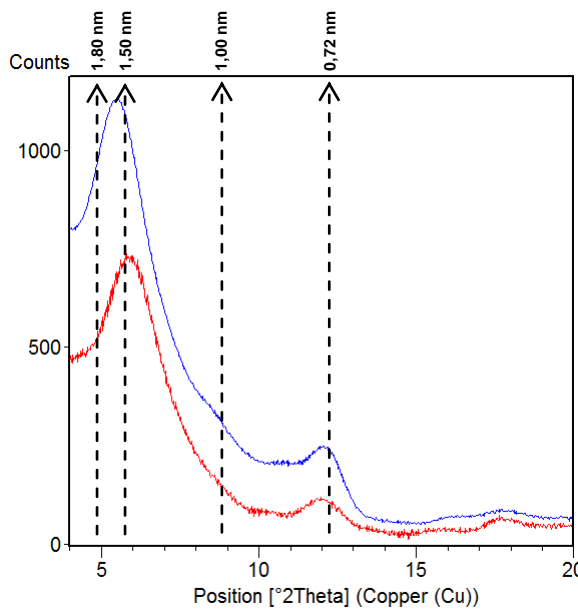
BA - Tratamentos com Mg



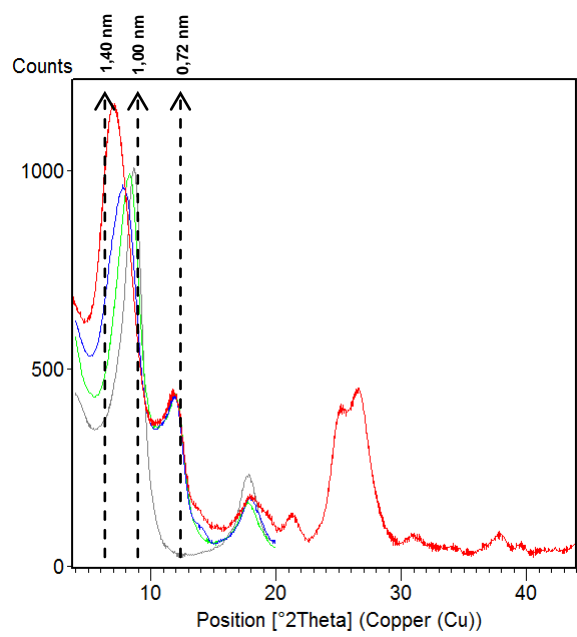
Be - Tratamentos com K



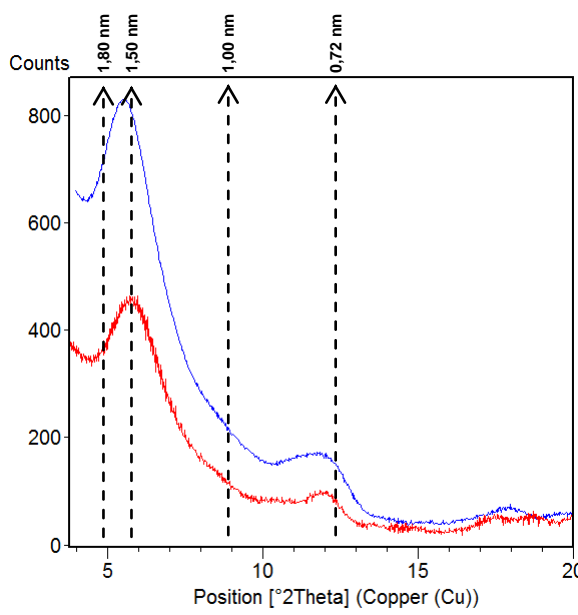
Be - Tratamentos com Mg



Bi - Tratamentos com K

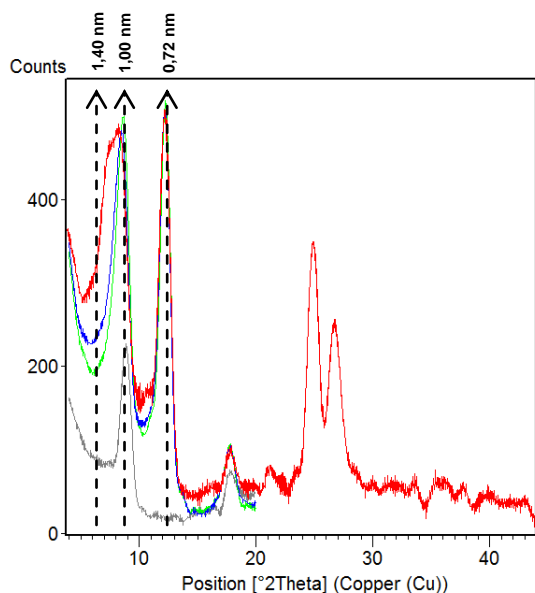


Bi - Tratamentos com Mg

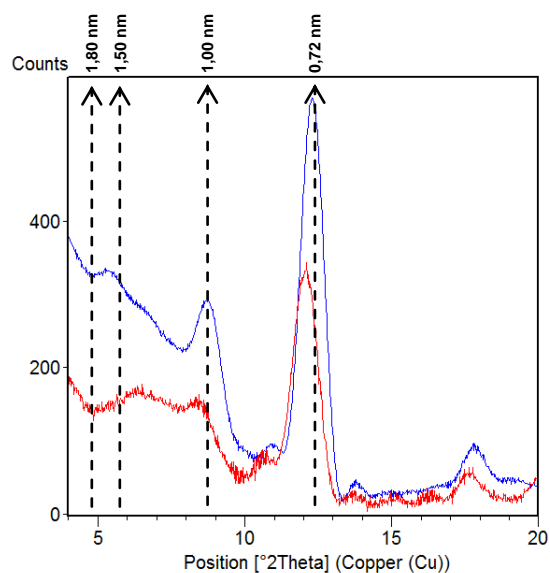


APÊNDICE M — Difratometria de raios X da argila de alguns horizontes do perfil PBAC - AW. Tratamentos com K: K, 25 °C (linha vermelha); K, 100 °C (linha azul); K, 350 °C (linha verde); K, 550 °C (linha cinza). Tratamentos com Mg: Mg (linha vermelha); Mg+EG (linha azul).

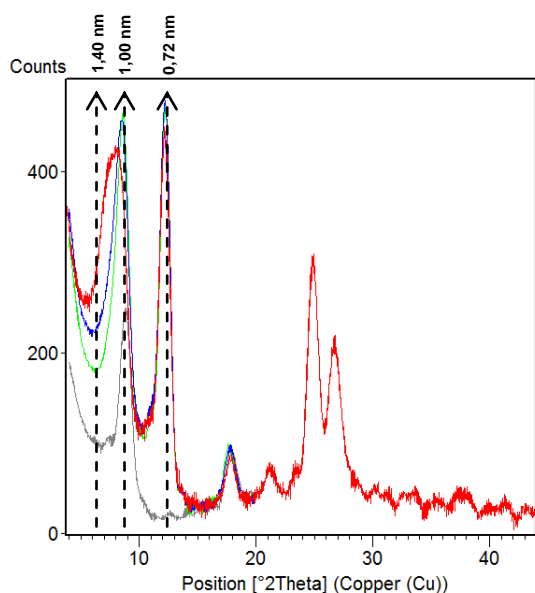
A2 - Tratamentos com K



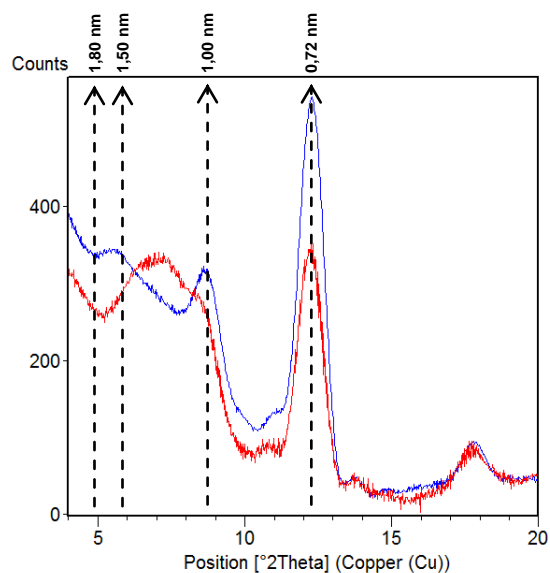
A2 - Tratamentos com Mg



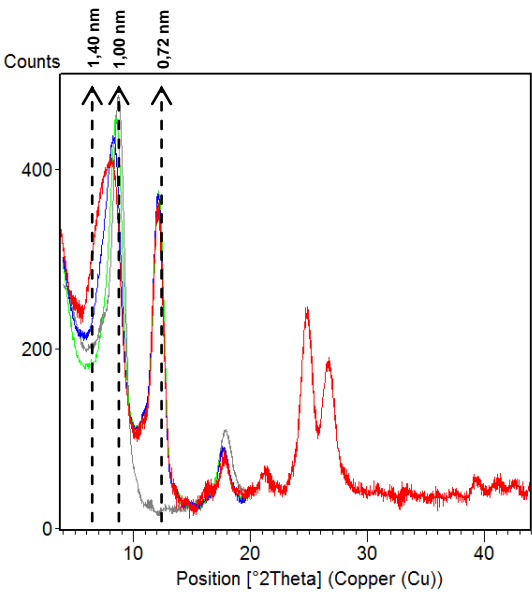
AB - Tratamentos com K



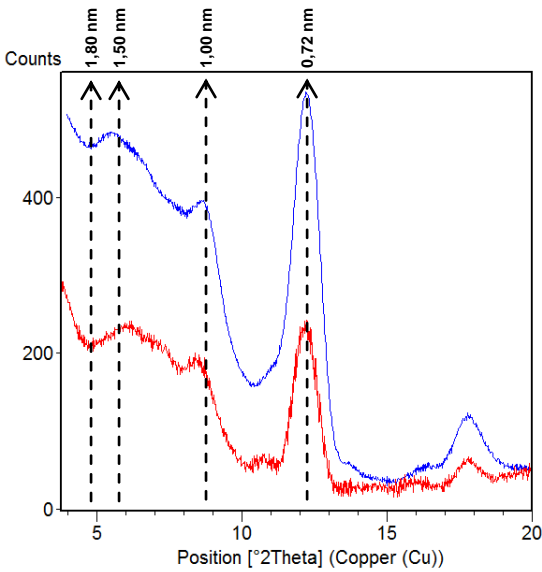
AB - Tratamentos com Mg



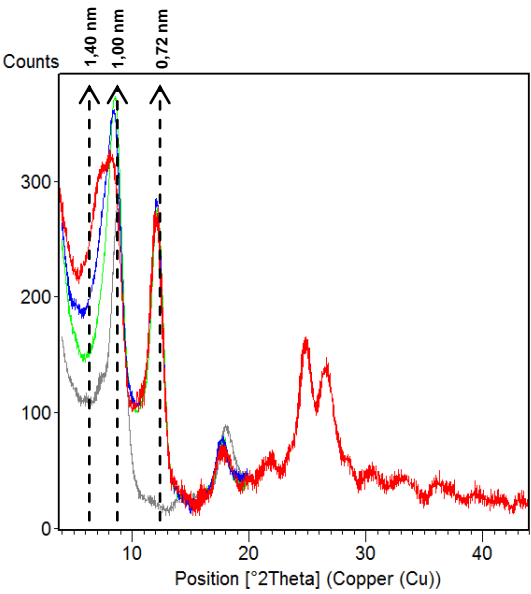
BA - Tratamentos com K



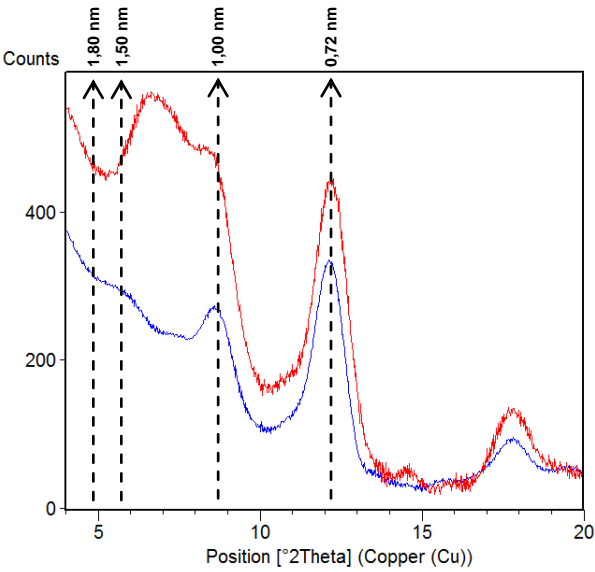
BA - Tratamentos com Mg



Bt1 - Tratamentos com K

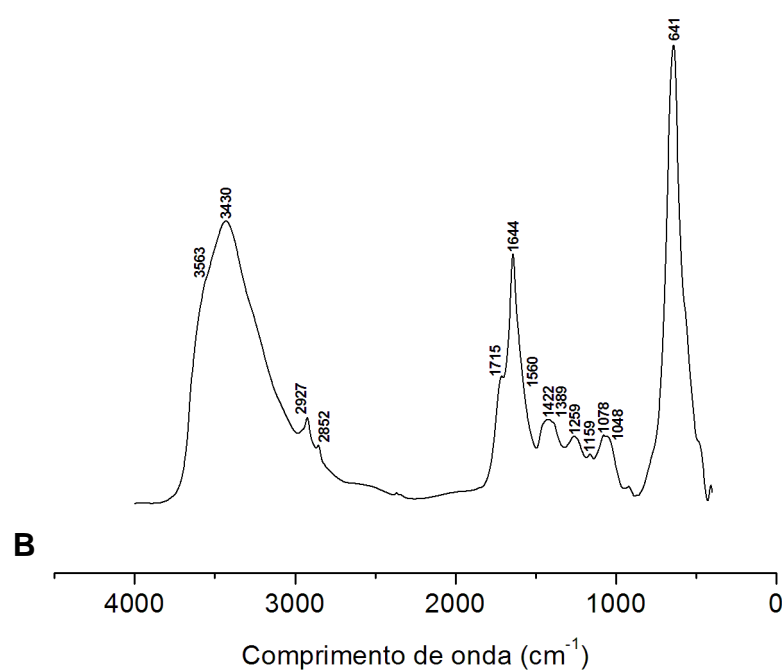
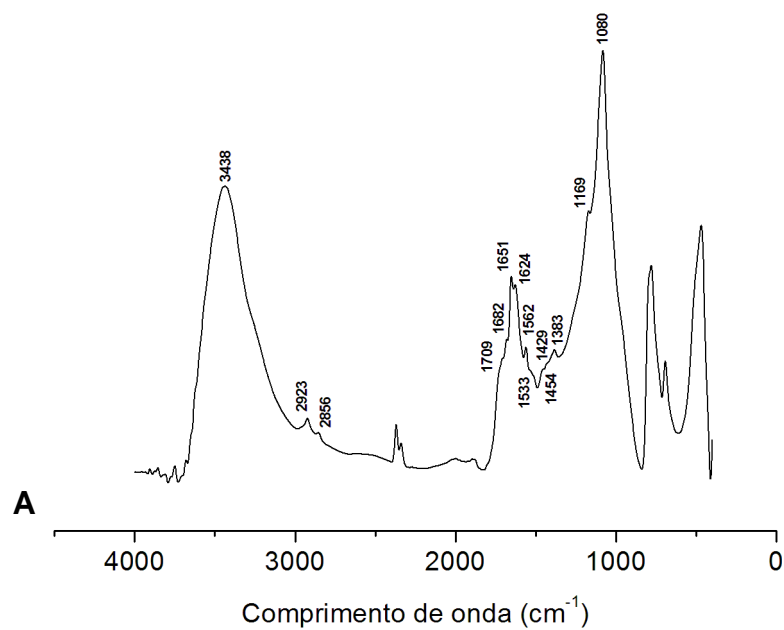


Bt1 - Tratamentos com Mg

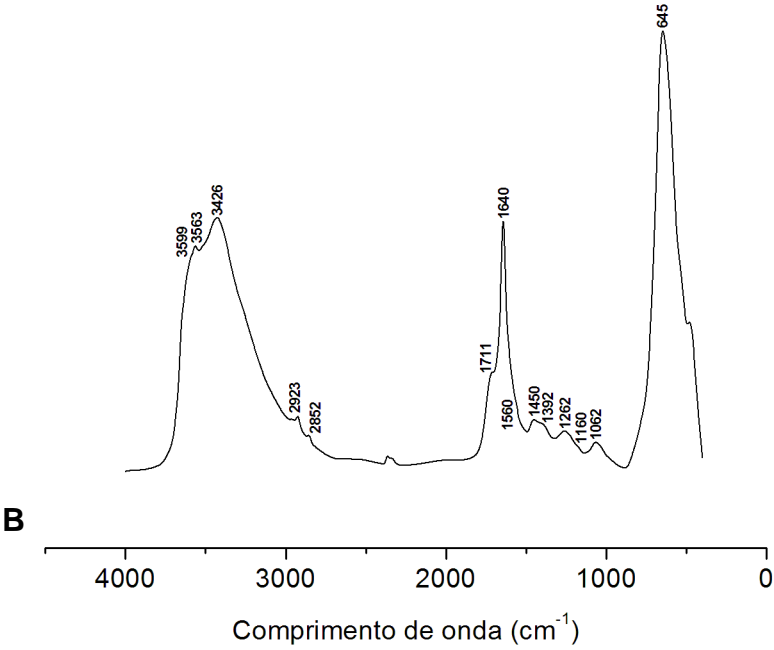
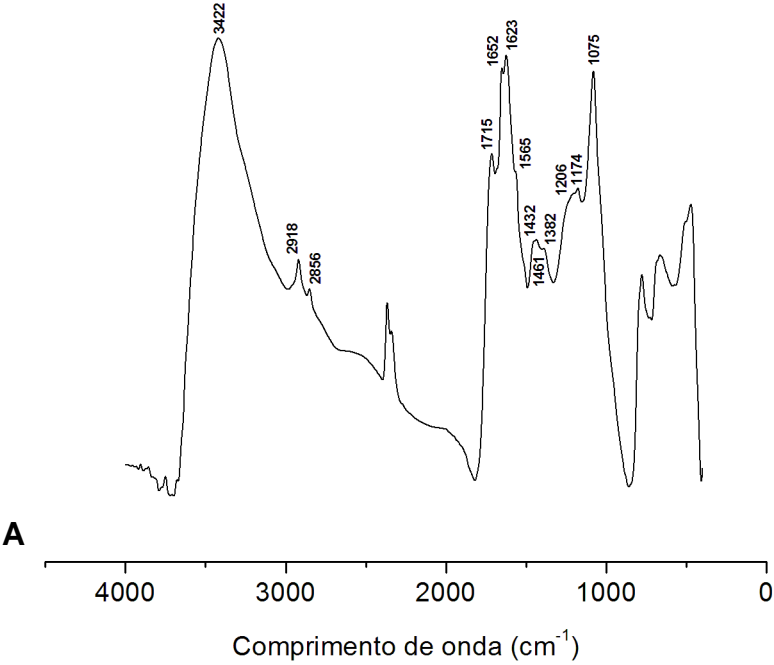


APÊNDICE N — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - SJP. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

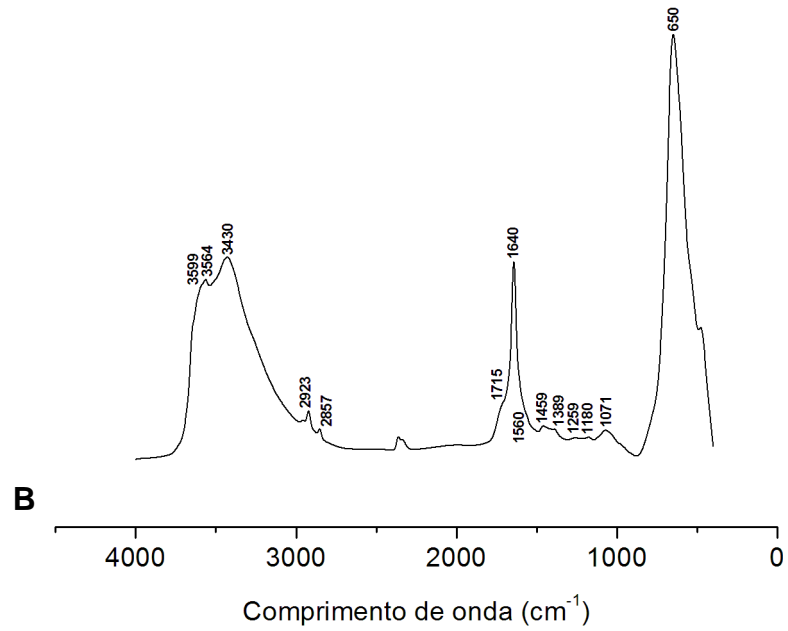
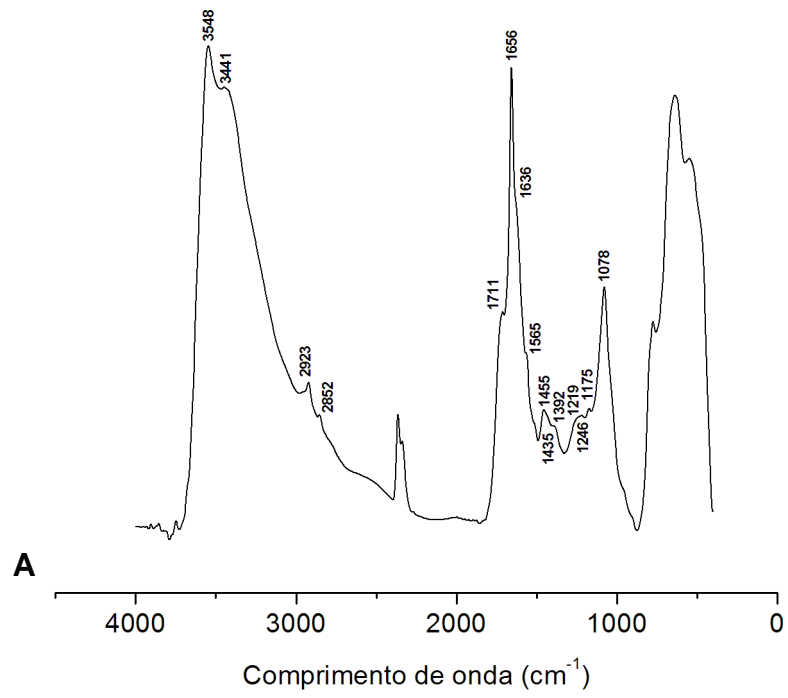
Horizonte A2



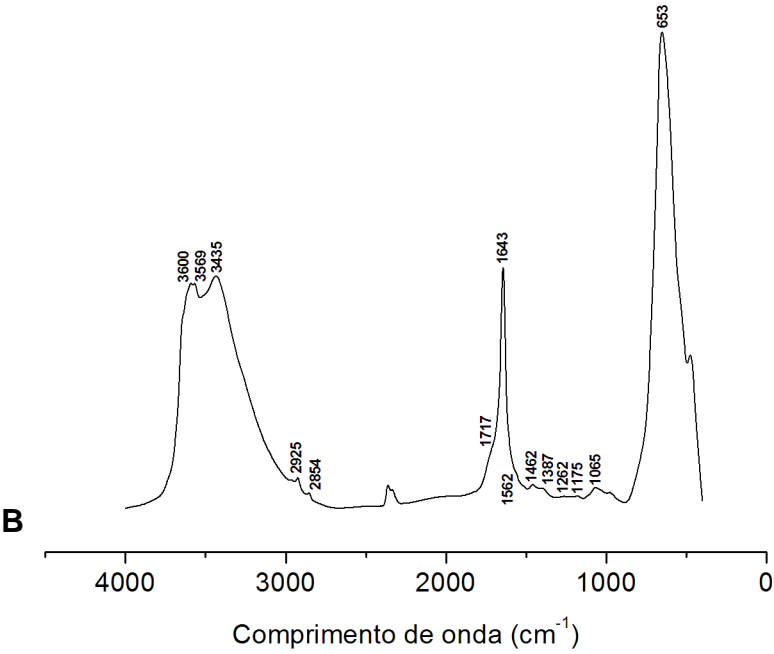
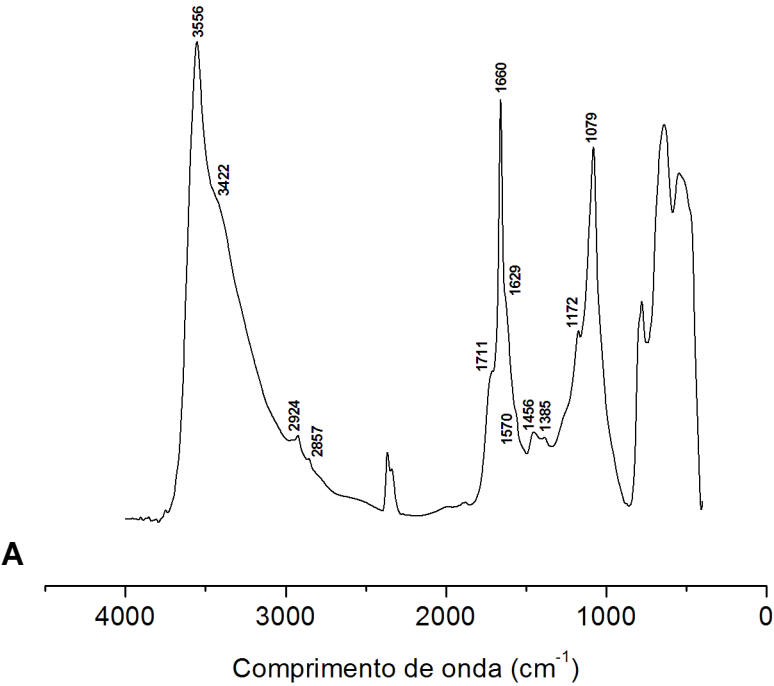
Horizonte BA1



Horizonte Bt1

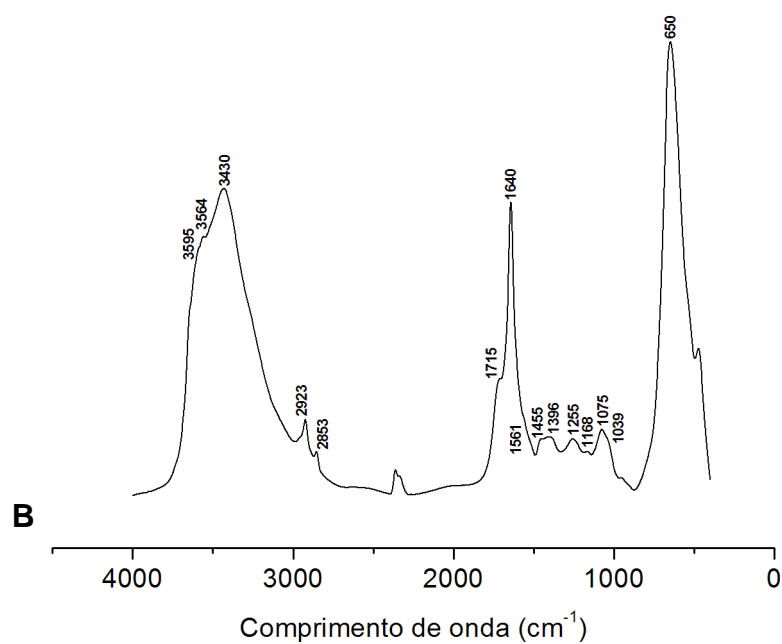
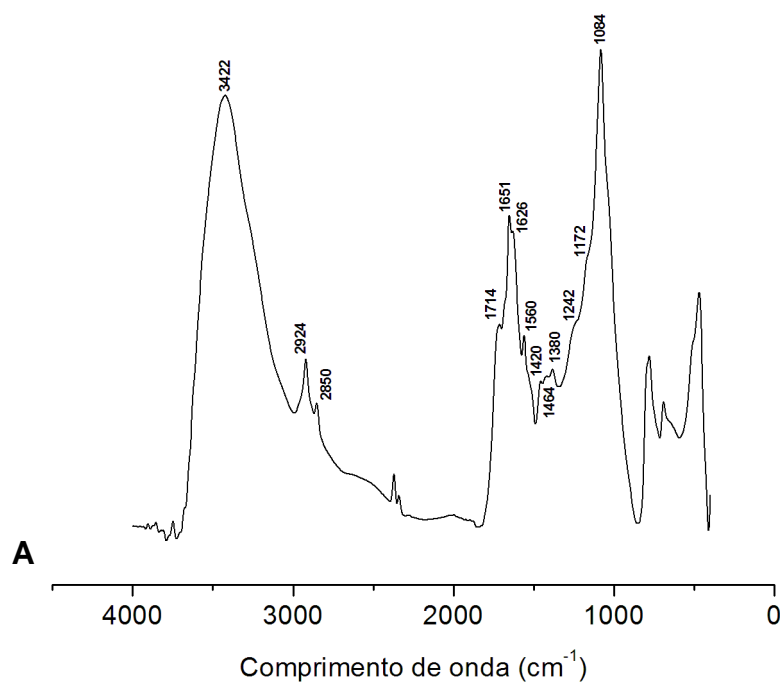


Horizonte Bt2

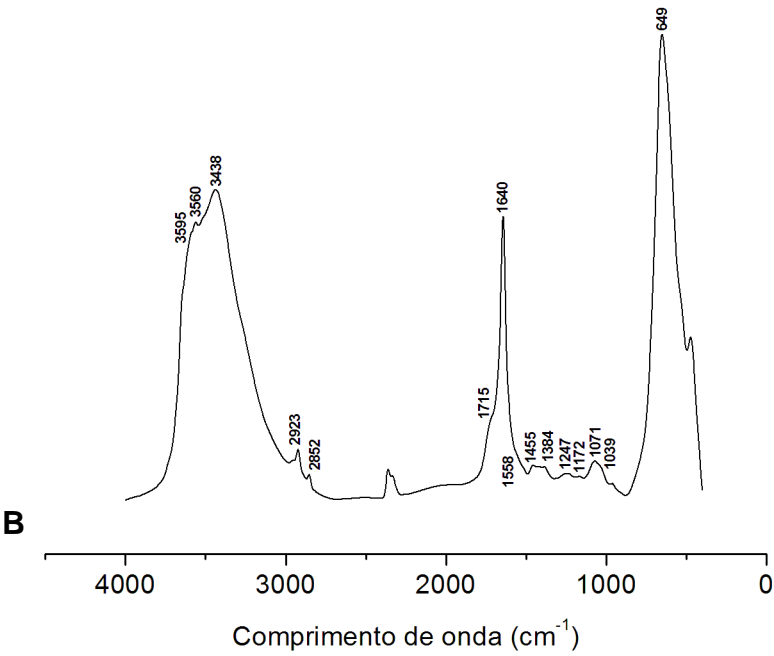
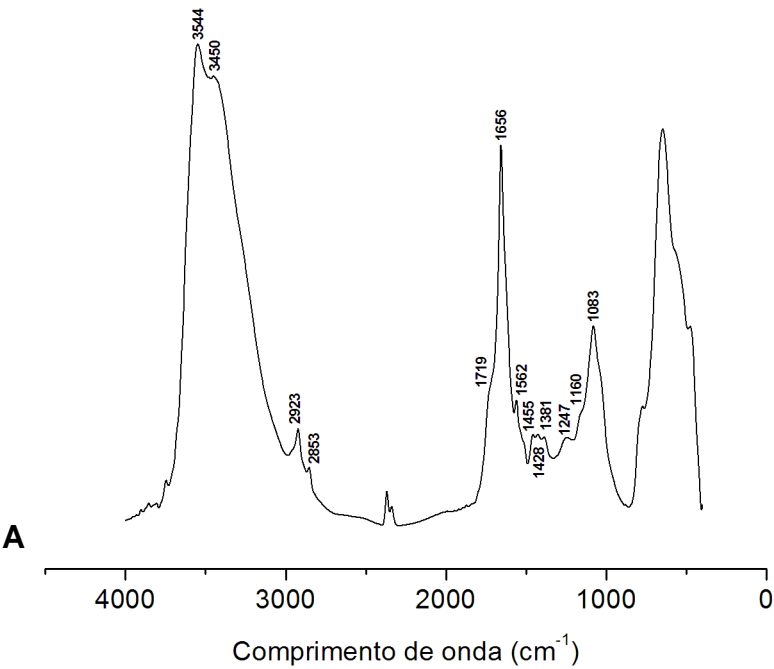


APÊNDICE O — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - RS. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

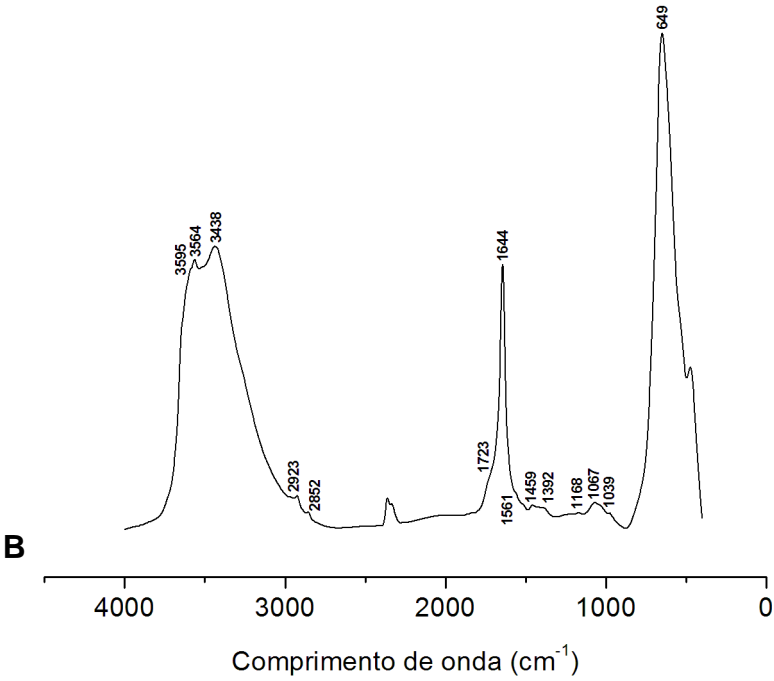
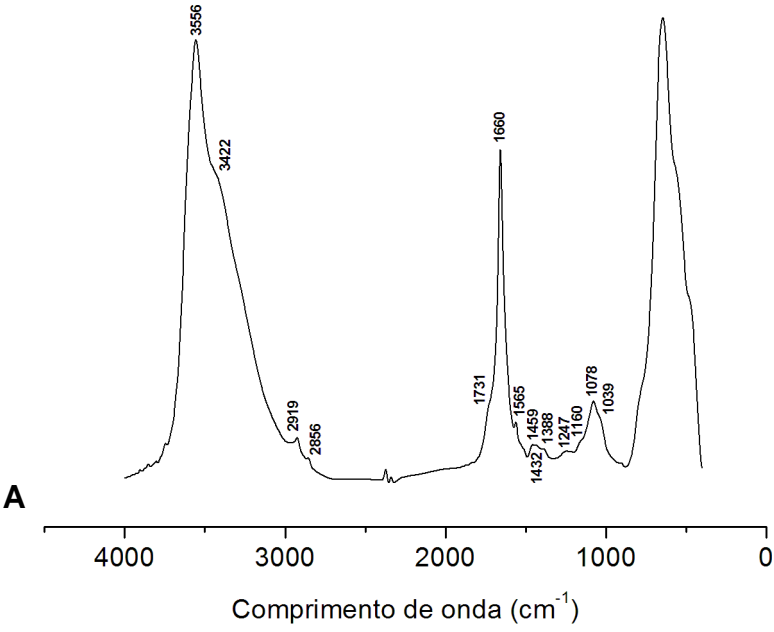
Horizonte A2



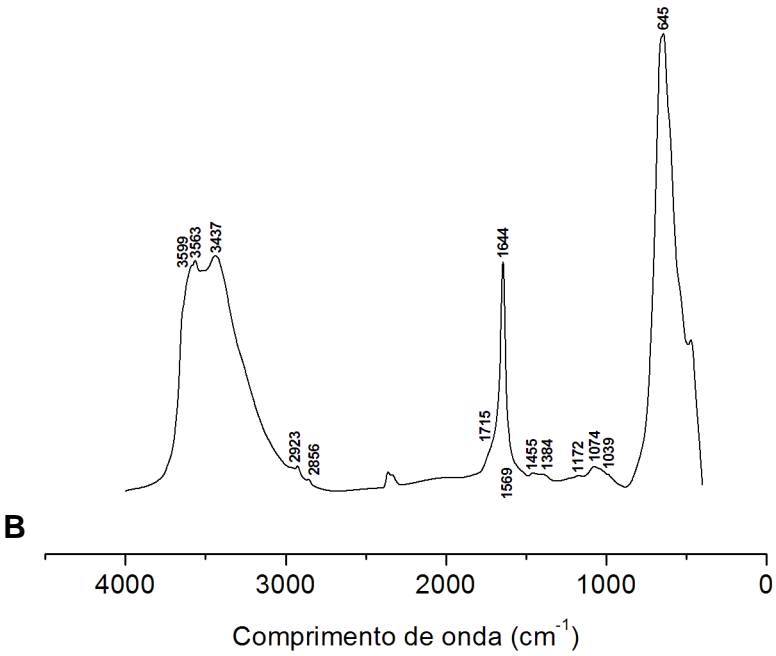
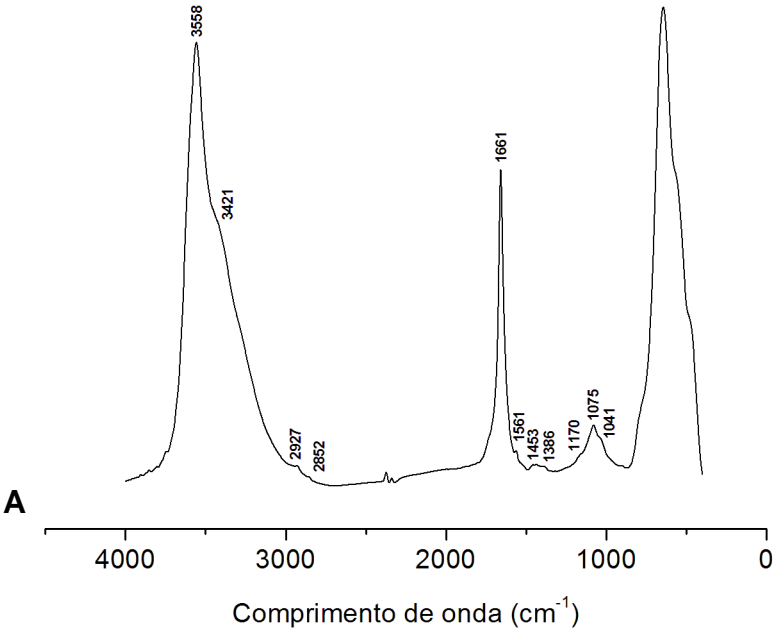
Horizonte BA1



Horizonte BA2

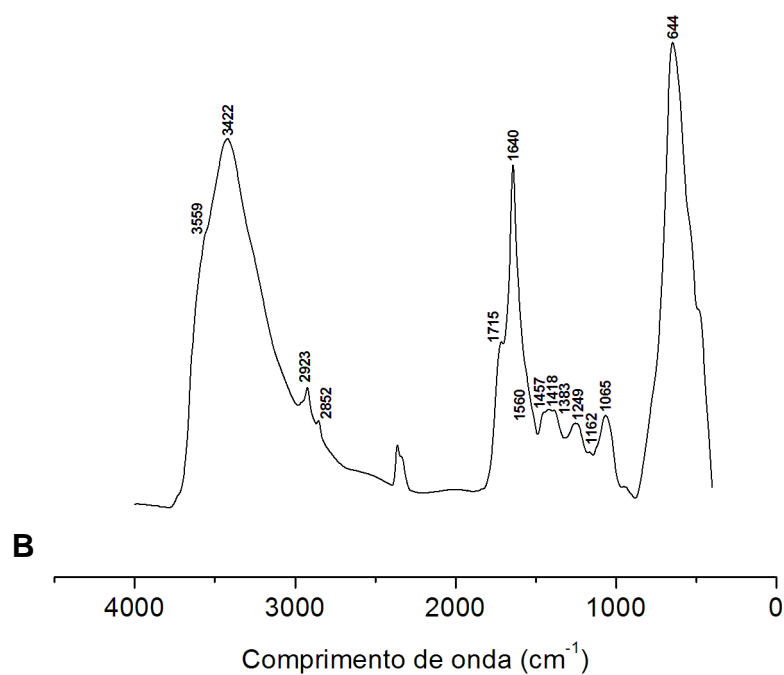
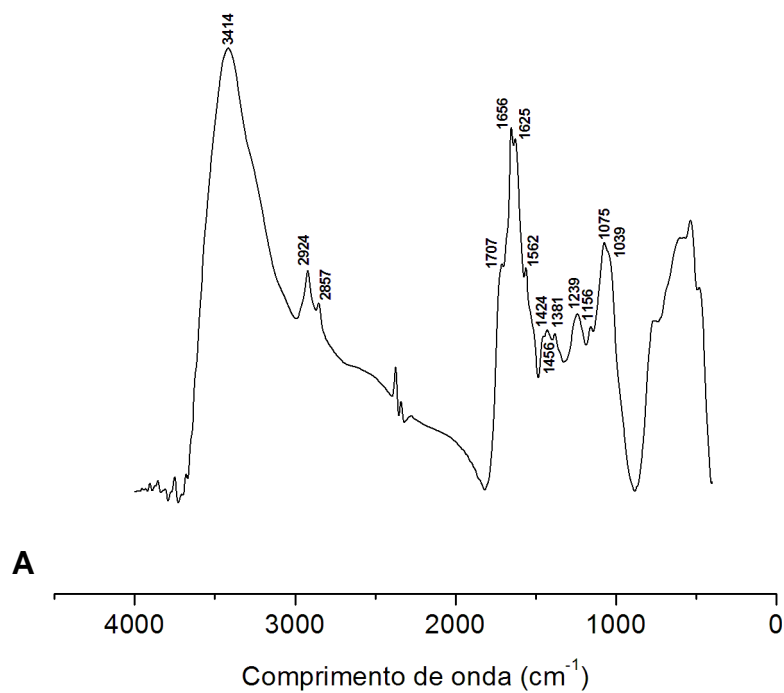


Horizonte Bt

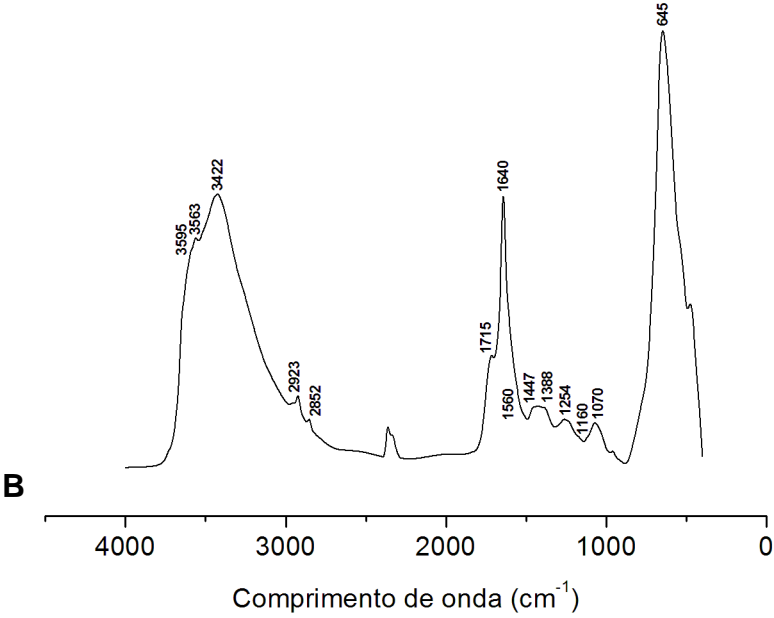
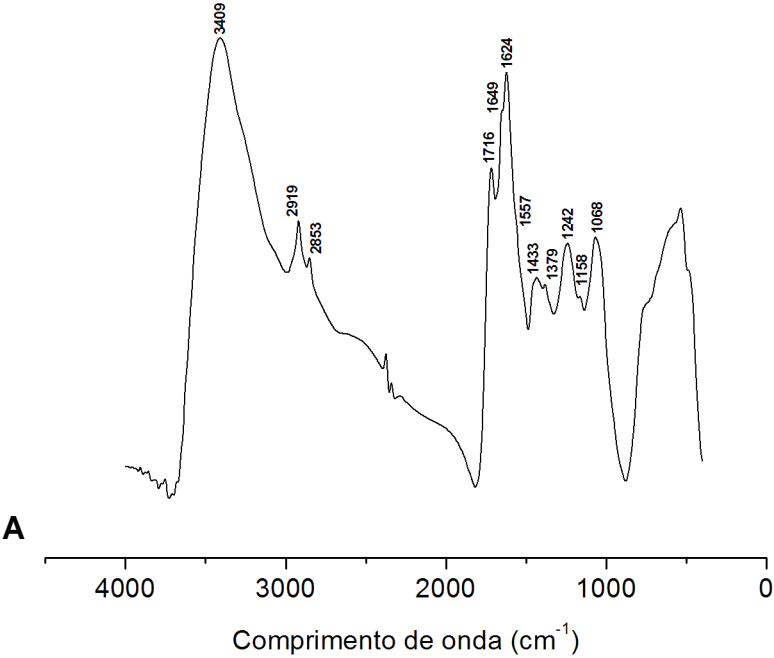


APÊNDICE P — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - ARV. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

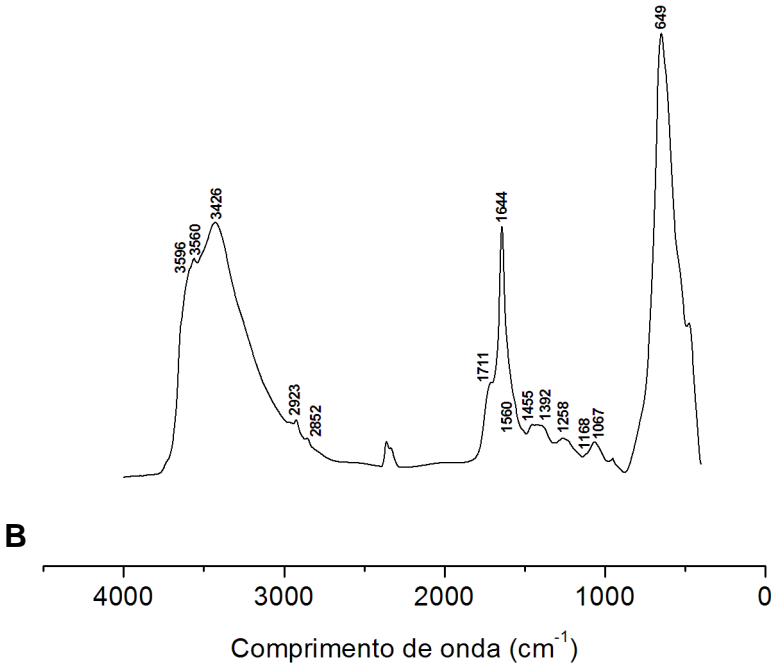
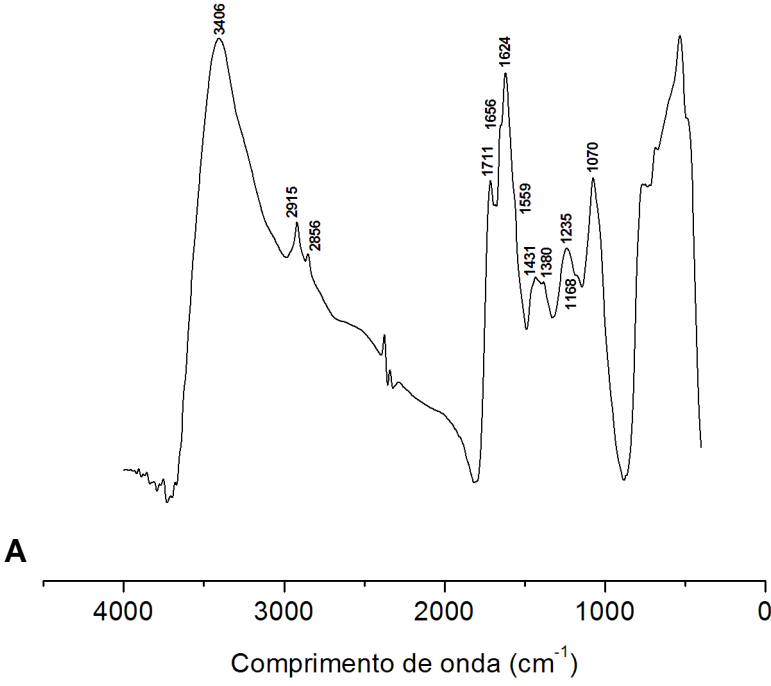
Horizonte A2



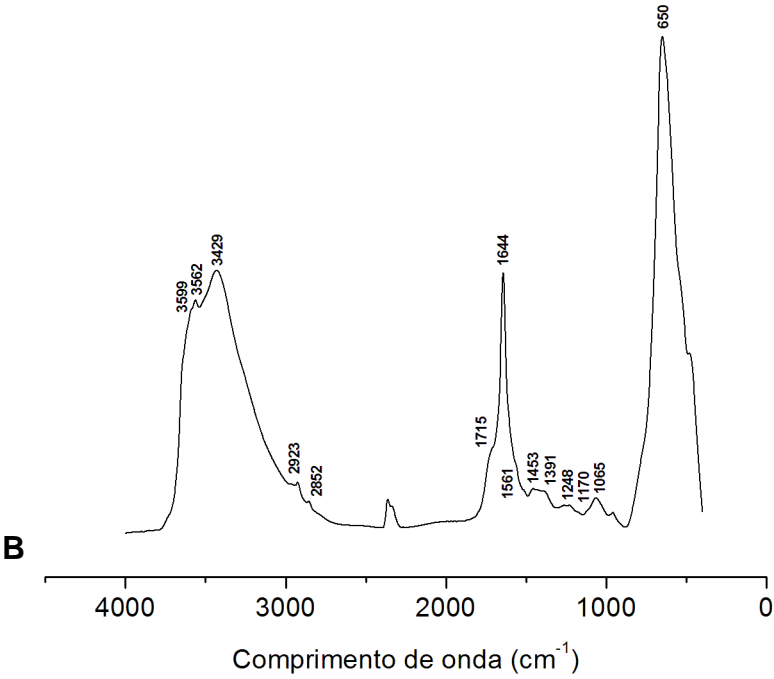
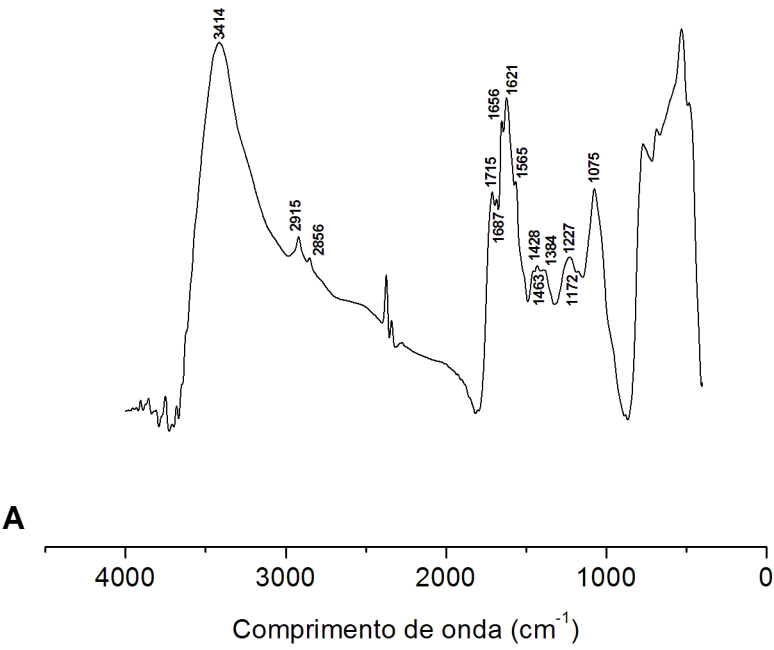
Horizonte BA1



Horizonte BA2

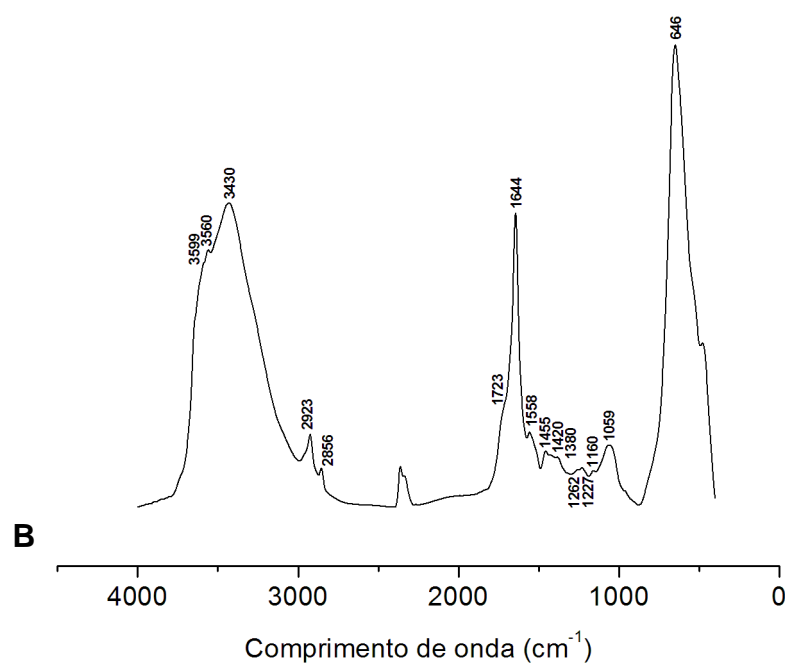
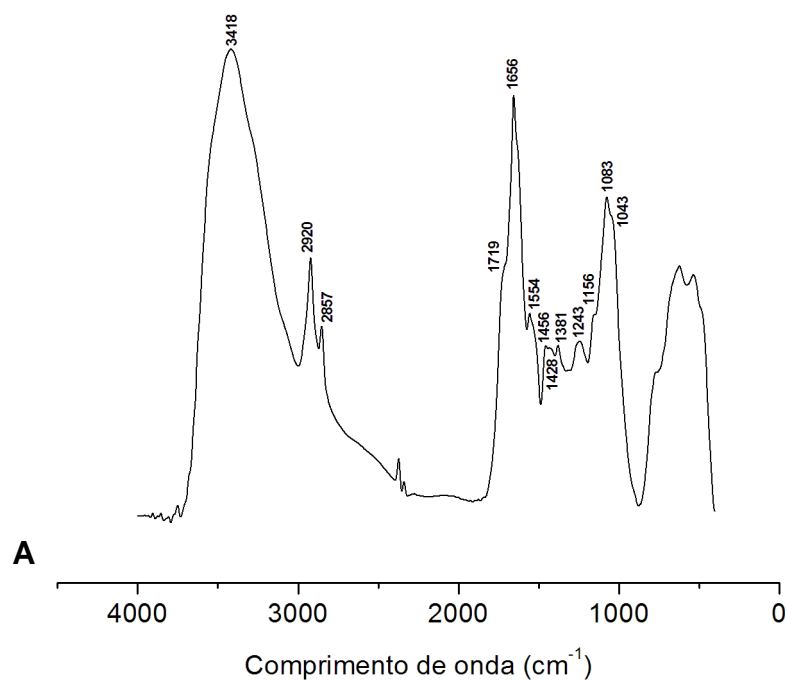


Horizonte Bt

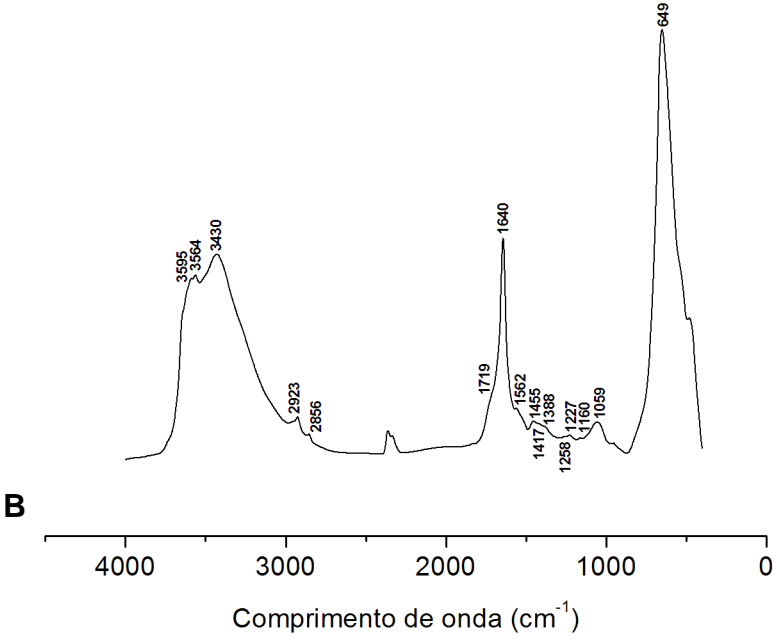
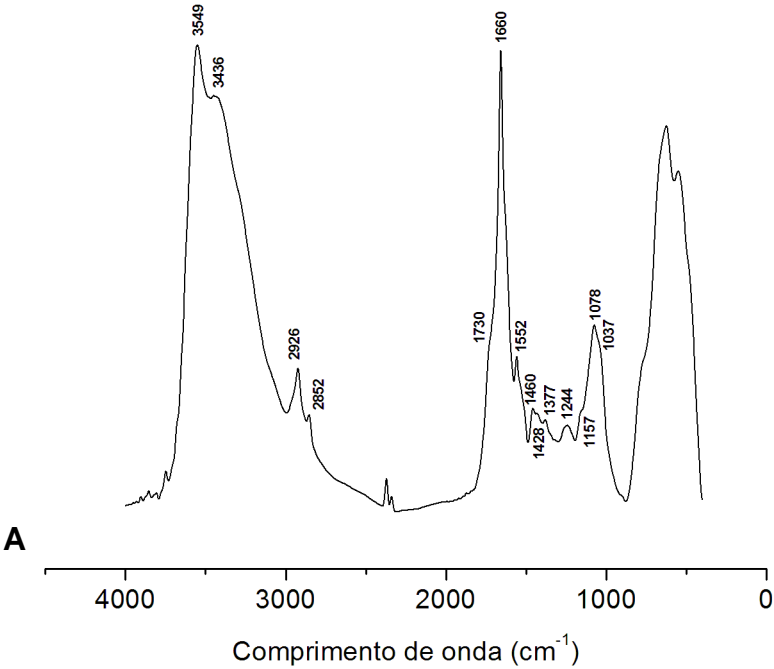


APÊNDICE Q — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PA - AUR. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

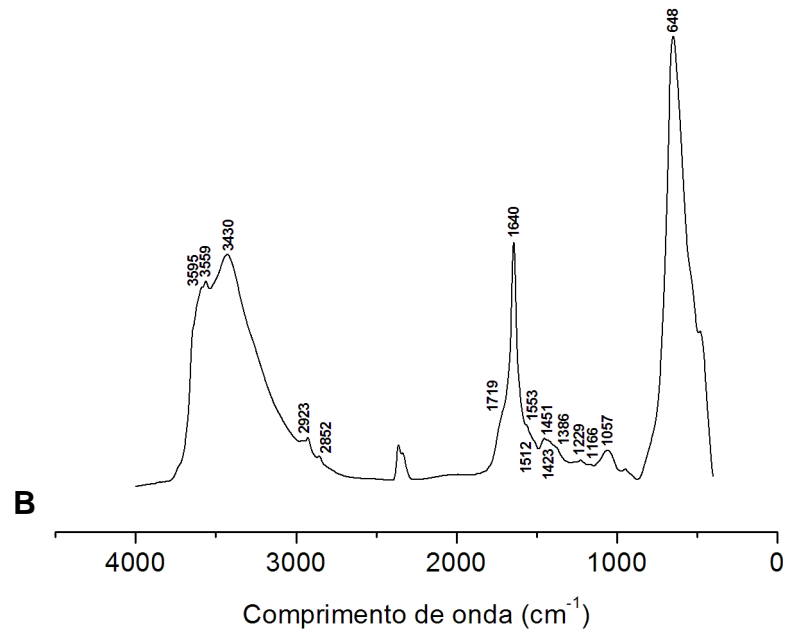
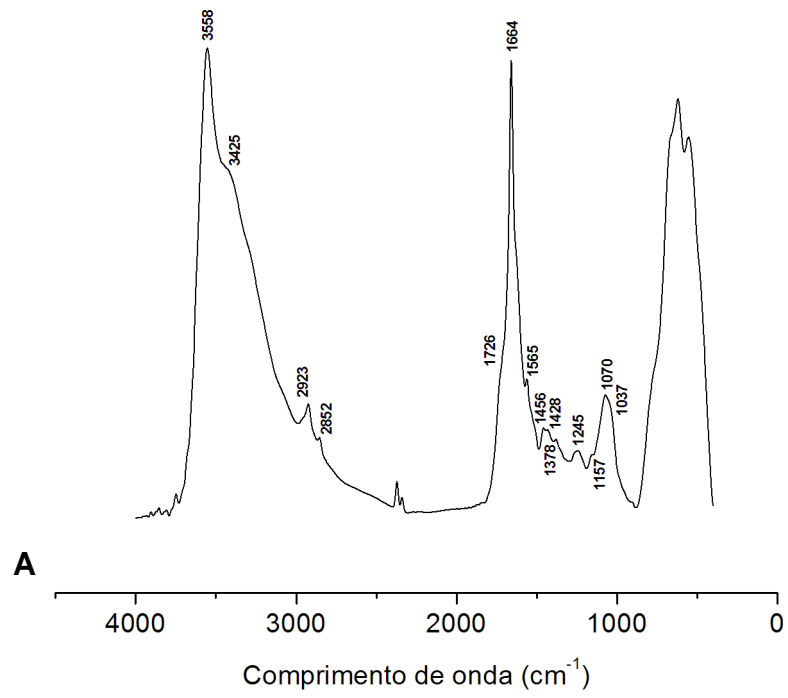
Horizonte AB



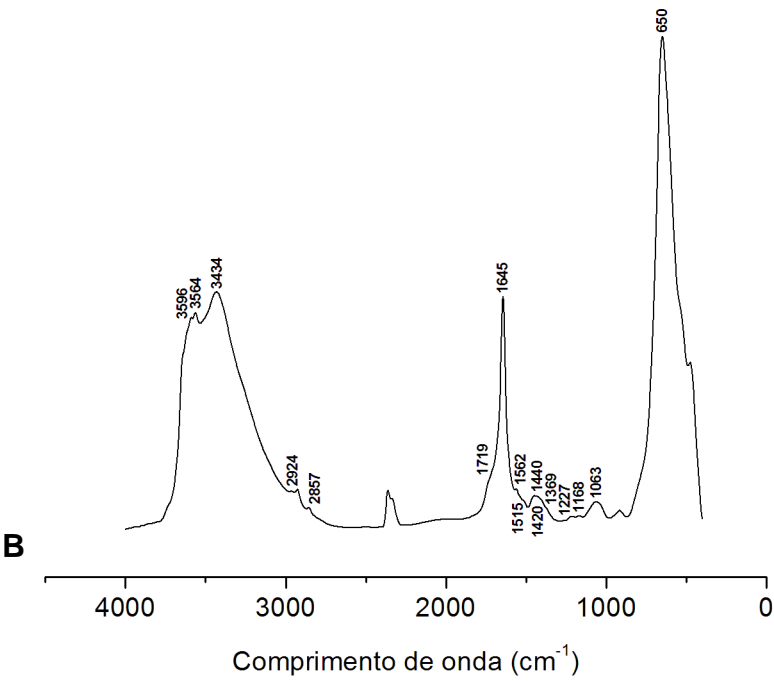
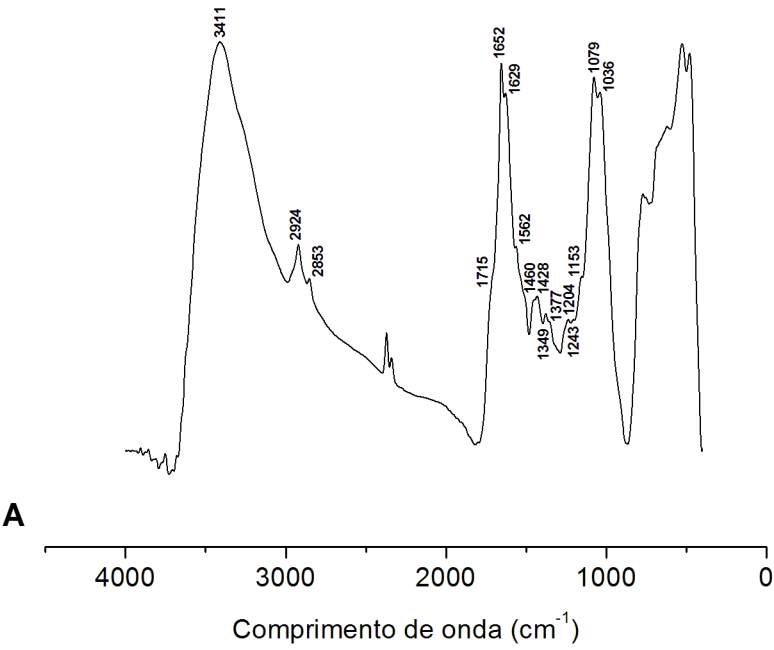
Horizonte BA



Horizonte Be

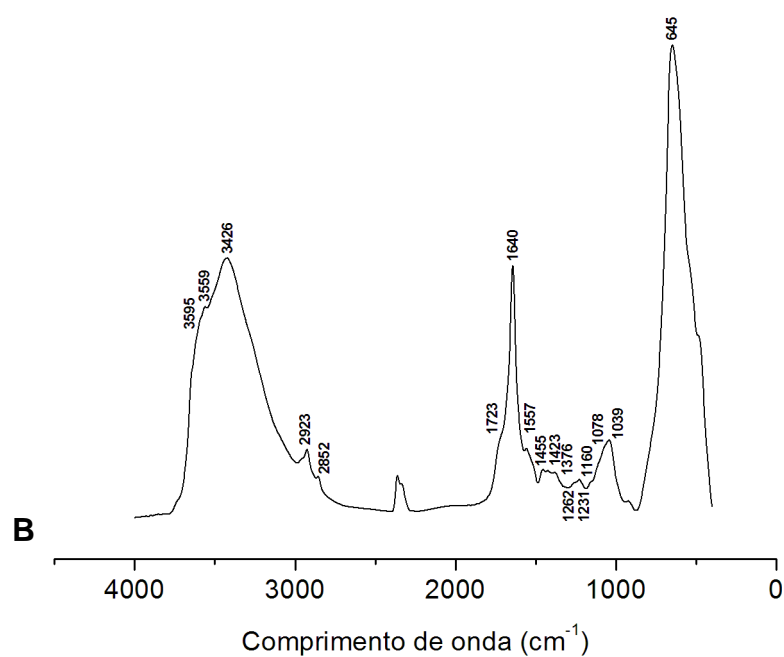
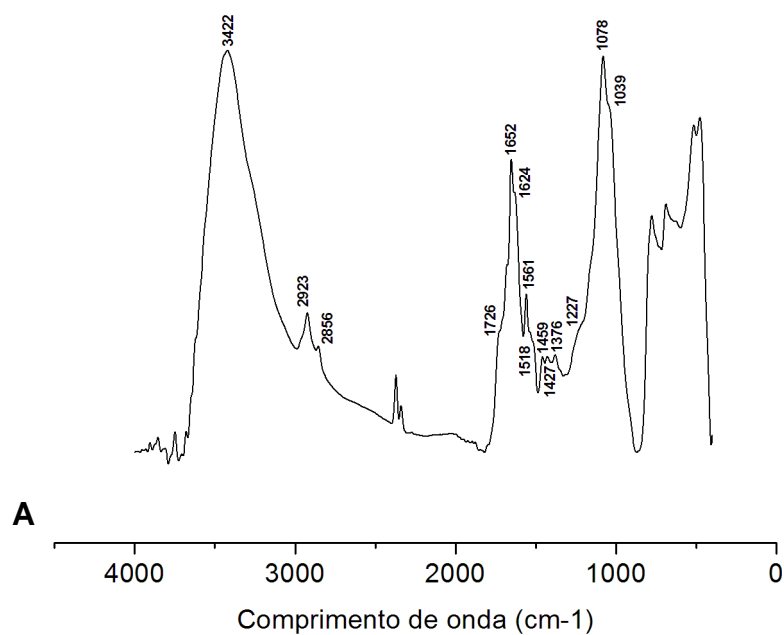


Horizonte Bi

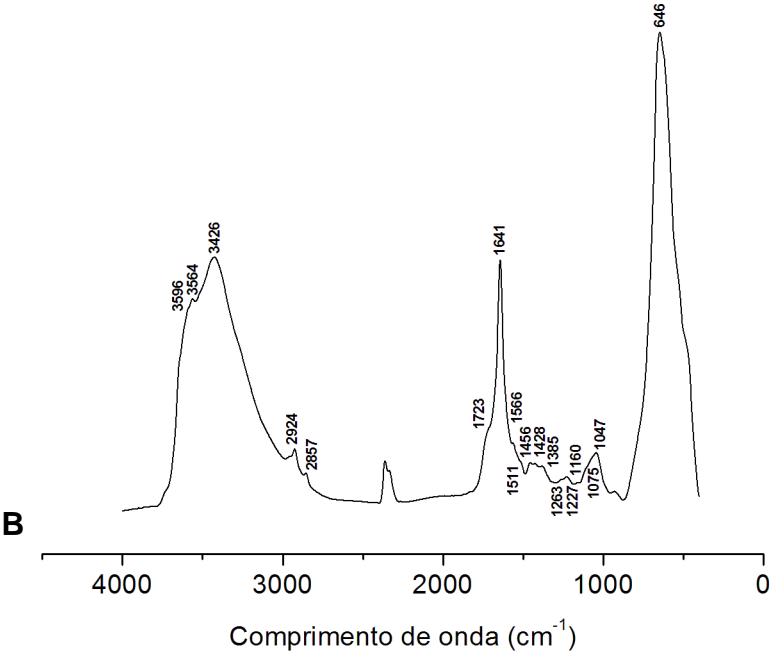
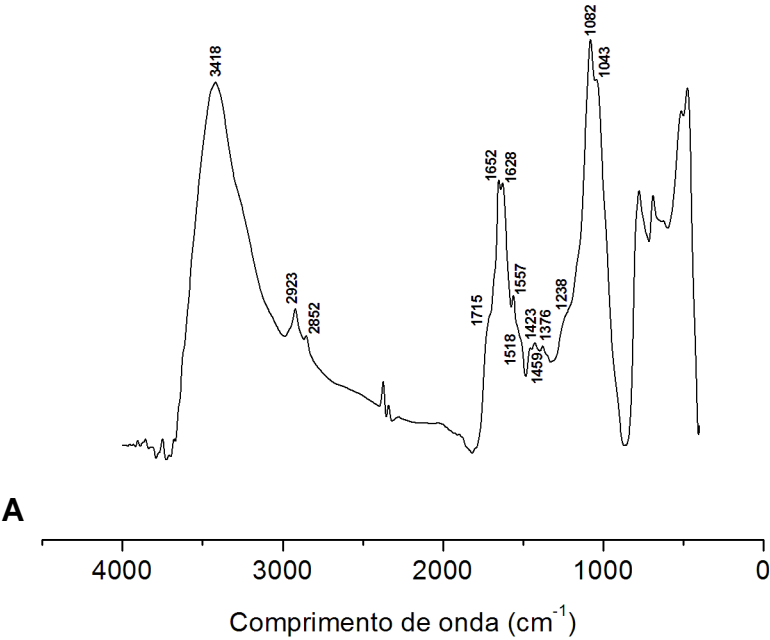


APÊNDICE R — Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de alguns horizontes do perfil PBAC - AW. A: Material escurecido remanescente da TSFE após o tratamento com o HF 10%. B: Material remanescente da argila do solo após o tratamento com o HF 10%.

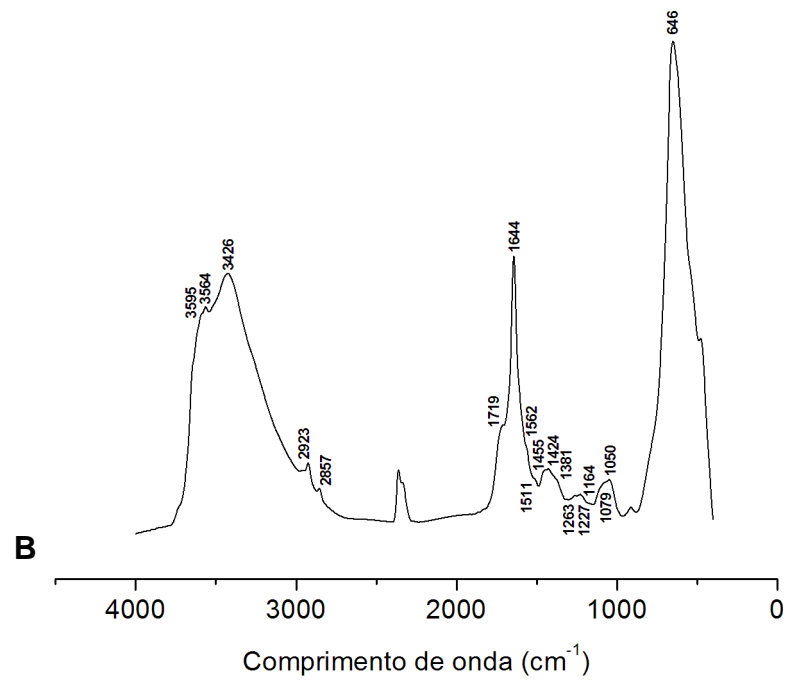
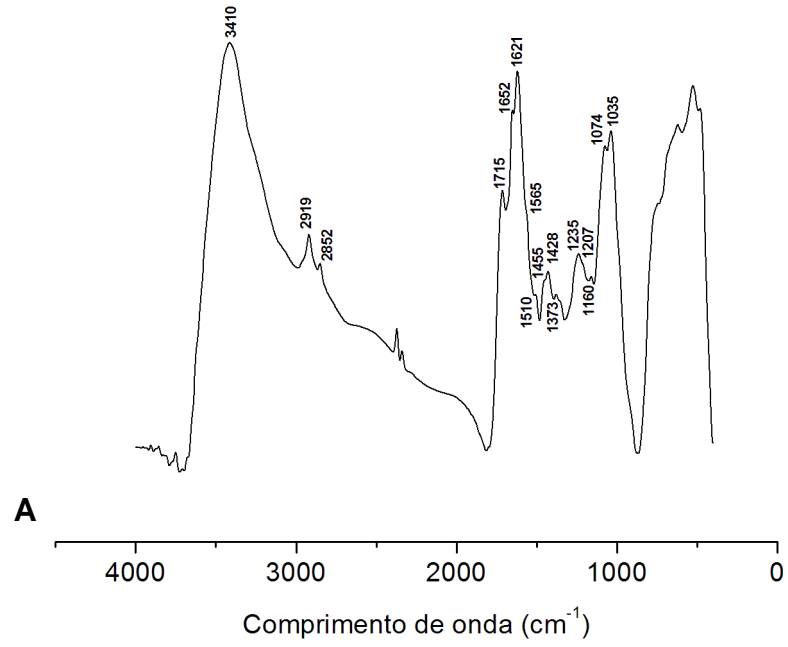
Horizonte A2



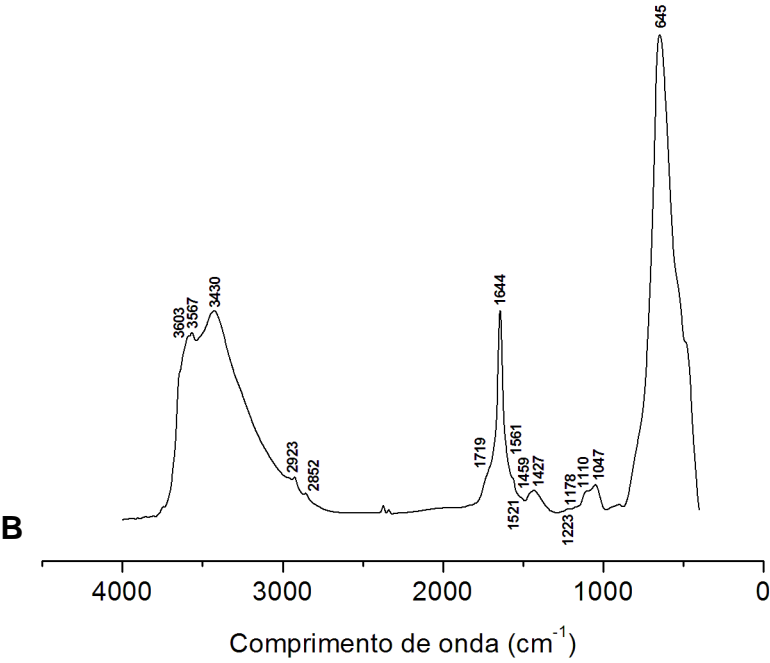
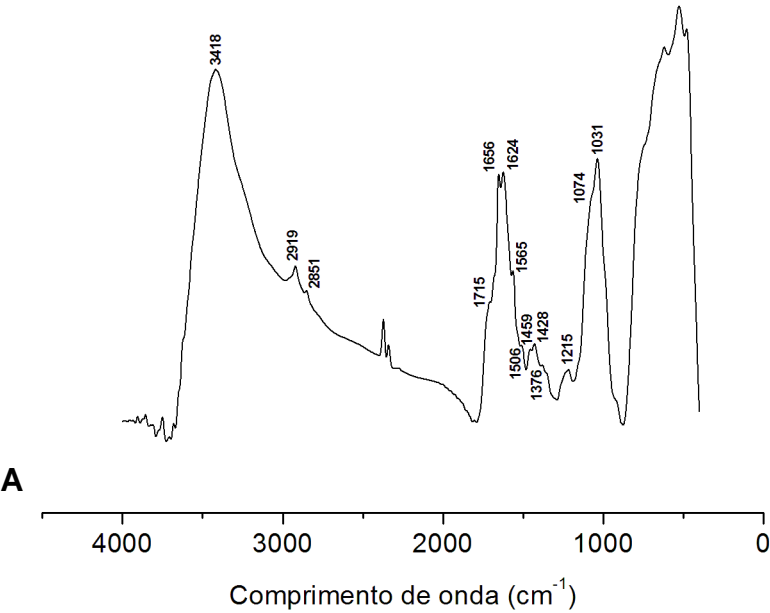
Horizonte AB



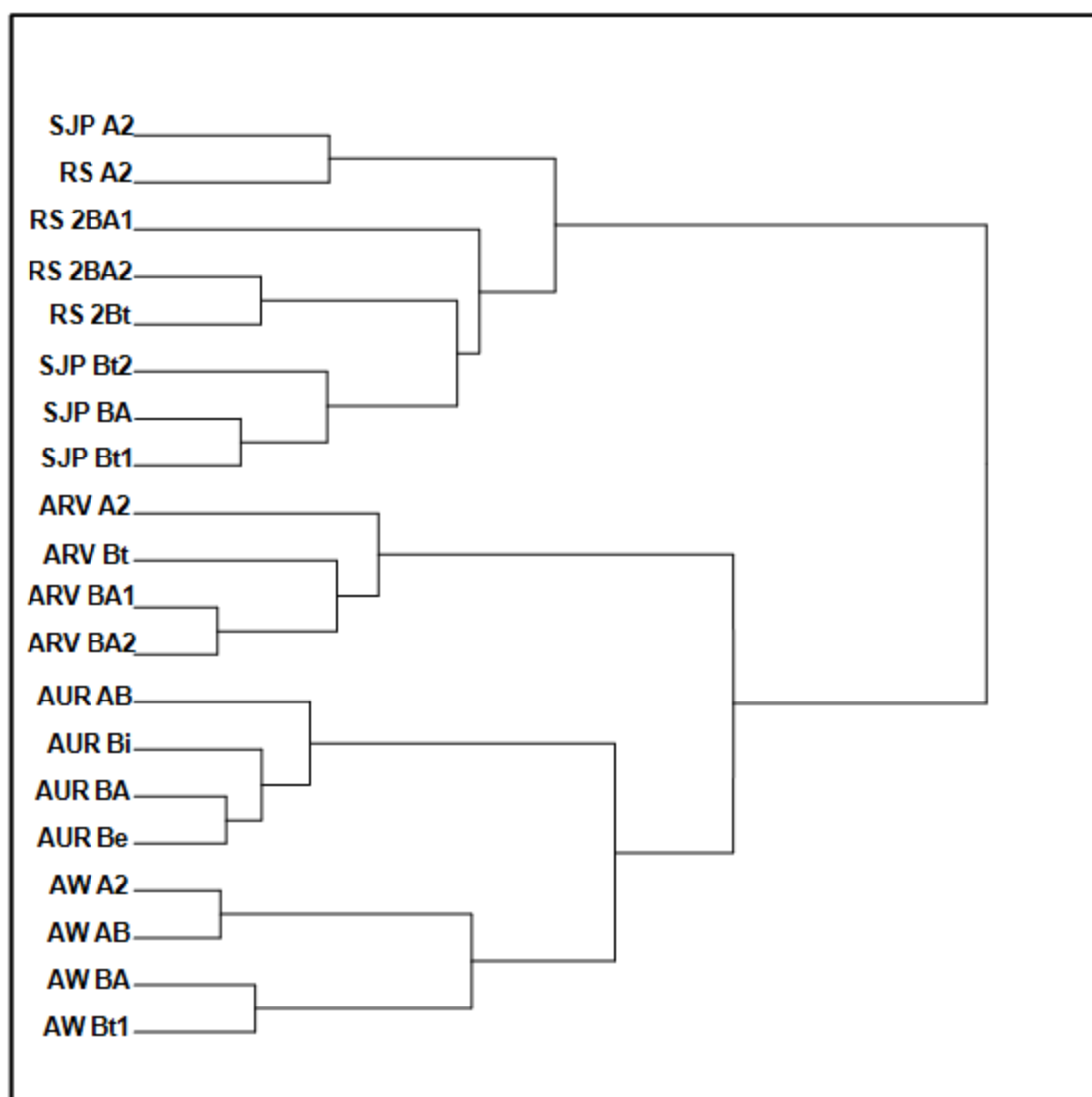
Horizonte BA



Horizonte Bt1



APÊNDICE S — Agrupamento hierárquico aglomerativo, sendo reunidas 80 variáveis de alguns horizontes dos perfis PBAC - SJP, PBAC - RS, PBAC - ARV, PA - AUR e PBAC - AW.



ANEXOS

ANEXO A — Aspectos da matéria orgânica do solo quanto à absorção de radiação na região do infravermelho. Adaptado de Parikh (2014).

ANEXO B — Efetividade de diferentes soluções extratoras em dissolver componentes de solos: boa > 80%, moderada entre 10-80% e pobre < 10%. Adaptado de Parfitt e Childs (1988).

ANEXO C — Descrição da utilidade de vários parâmetros em detectar descontinuidades litológicas em solos. Adaptado de Schaetzl (1998).

ANEXO D — Evidência micromorfológica dos revestimentos pretos na superfície dos agregados, em consequência da migração dos complexos quimicamente estáveis constituídos dos argilominerais (haloisita), ferro e matéria orgânica. Representação da climatoposequência. Adaptado de Faivre (1990).

ANEXO E — Características gerais do carbono pirogênico como um *continuum*. Adaptado de Masiello (2004).

ANEXO F — Trecho da classificação de solos proposta por Baldwin et al. (1938), com um maior detalhamento para o grande grupo *Gray-Brown Podzolic*. Adaptado.

ANEXO G — Características gerais dos grandes grupos *Podzol*, *Brown Podzolic*, *Gray-Brown Podzolic*, *Yellow Podzolic* e *Red Podzolic*. Adaptado de Baldwin et al. (1938).

ANEXO H — Características gerais dos grandes grupos *Gray Wooded (Gray Podzolic)* e *Red-Yellow Podzolic*. Adaptado de Thorp e Smith (1949).

ANEXO I — Conceituação preliminar dos Podzólicos Bruno-Acinzentados que consta em Olmos e Camargo (1982). Texto original.

ANEXO J — (A) Perfis idealizados de cinco subordens dos solos zonais. Os diagramas ilustram o grau de diferenciação dos horizontes e certas características adicionais dos principais grandes grupos zonais. As profundidades estão apresentadas em polegadas. (B) Perfis de solos desenvolvidos na região do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*, a partir de materiais de origem similares, porém com diferenças quanto à topografia. Os cinco perfis correspondem às séries *Miami*, *Crosby*, *Rodman*, *Brookston* e *Carlisle*, no sentido esquerda-direita. Adaptado de Winters e Simonson (1951).

ANEXO K — Descrição da cor (estado úmido) de dois perfis do solo *Miami silt loam*. Adaptado de Thorp et al. (1959) e NRCS (2014).

ANEXO L — Descrição da cor (estado úmido) de quatro perfis do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*, todos da família *Miami*. Adaptado de Brown e Thorp (1942).

ANEXO M — Descrição dos Podzólicos Bruno-Acinzentados que consta em Oliveira et al. (1992). Texto original.

ANEXO N — Descrições sucintas dos Podzólicos Bruno-Acinzentados identificados no estado de Santa Catarina, em viagens realizadas pelo SNLCS para fins de classificação e correlação de solos. Adaptadas de SNLCS (1980a).

ANEXO O — Descrições sucintas dos Podzólicos Bruno-Acinzentados identificados no estado do Rio Grande do Sul, em viagens realizadas pelo SNLCS para fins de classificação e correlação de solos. Adaptadas de SNLCS (1980b).

ANEXO P — Critérios de enquadramento da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados nas edições de número 2 e 3 do SiBCS. Textos originais.

ANEXO Q — Definições do *sombric horizon* na edição original da *Soil Taxonomy* e edição atual da *Keys to Soil Taxonomy*. Adaptado de Soil Survey Staff (1975 e 2014).

ANEXO R — Critério de enquadramento do caráter sômbrico da edição de número 3 do SiBCS. Texto original.

ANEXO A — Aspectos da matéria orgânica do solo quanto à absorção de radiação na região do infravermelho. Adaptado de Parikh (2014).

Comprimentos de onda (cm ⁻¹)	Estruturas moleculares > tipos de vibração	Tipos de amostra
3700–3200	O–H e N–H > estiramento	Ácidos húmicos e humina do solo
3690–3619	O–H (livre) e N–H > estiramento	Ácidos fúlvicos e húmicos do solo
3450–3300	O–H e N–H > estiramento	Ácidos húmicos e extrato do pirofosfato, ambos do solo
3110–3000	C–H de compostos aromáticos > estiramento	Ácidos húmicos e humina do solo; extrato da piridina do carvão (<i>coal</i>)
3000–2800	C–H de compostos alifáticos > estiramento	Ácidos húmicos do solo
2925	C–H de compostos alifáticos > estiramento antisimétrico	Ácidos húmicos do carvão (<i>charcoal</i>)
2855–2850	C–H de compostos alifáticos > estiramento simétrico	Ácidos húmicos do solo e carvão (<i>charcoal</i>)
2600–2500	OH de ácidos carboxílicos	Ácidos húmicos do solo
1765–1700	C=O de carbonilas > estiramento	Ácidos húmicos e matéria orgânica solúvel em água, ambos do solo
1720	C=O de ácidos carboxílicos > estiramento	Ácidos húmicos do solo e turfa
1710	C=O de ácidos carboxílicos livres	Turfa
1700	C=O de ácidos carboxílicos, cetonas e aldeídos > estiramento	Ácidos húmicos do solo
1660–1630	C=O de amidas > estiramento (amida I)	Ácidos húmicos do solo
1650	C=O de quinonas e cetonas > estiramento	Ácidos húmicos do solo
1650–1600	C=C de compostos aromáticos > estiramento; C–O de carboxilatos > estiramento assimétrico; C=O de cetonas conjugadas > estiramento	Frações húmicas e horizontes orgânicos do solo, e turfa
1590–1500	N–H de amidas > deformação; C=N > estiramento (amida II)	Ácidos húmicos do solo
1570	C–H de compostos aromáticos > deformação	Ácidos húmicos do carvão (<i>charcoal</i>)
1550–1500	C=C de compostos aromáticos > estiramento	Ácidos húmicos do solo
1470–1370	C–H de compostos alifáticos > deformação	Ácidos húmicos do solo e turfa
1410–1380	C–O de compostos fenólicos > estiramento; OH > deformação	Ácidos húmicos do solo e turfa
1400–1380	C–O de carboxilatos > estiramento simétrico	Ácidos húmicos do solo
1330–1315	C–O de ésteres	Ácidos húmicos do solo
1280–1200	C–O de ácidos carboxílicos > estiramento; OH > deformação; C–O de ésteres e fenóis > estiramento assimétrico	Ácidos húmicos do solo
1190–1127	C–O–C de álcoois, éteres e fenóis > estiramento; poli OH > estiramento	Ácidos húmicos do solo e carvão (<i>charcoal</i>)
1170–1120	O–H e C–OH de compostos alifáticos > estiramento	Ácidos húmicos do solo
≅ 1160	C–C, C–O–C e C–OH atribuídos à polissacarídeos > estiramento	Ácidos húmicos e horizontes orgânicos do solo, e composto

Fonte: adaptado de Parikh (2014).

ANEXO B — Efetividade de diferentes soluções extratoras em dissolver componentes de solos: boa > 80%, moderada entre 10-80% e pobre < 10%. Adaptado de Parfitt e Childs (1988).

Componentes de solos	Soluções extratoras		
	Pirofosfato (pH 10)	Oxalato (pH 3)	Citrato-ditionito
Al-matéria orgânica	boa	boa	boa
Ferridrita	alguma dispersão	boa	boa
Goethita	alguma dispersão	nenhuma	boa
Hematita	nenhuma	nenhuma	boa-moderada
Lepidocrocita	nenhuma	pobre-moderada	boa
Maghemita	nenhuma	pobre-moderada	boa
Magnetita	nenhuma	pobre-moderada	moderada
Alofana	pobre	boa	moderada
Imogolita	pobre	boa	moderada
Gibbsita	nenhuma	pobre	nenhuma
Haloisita	nenhuma	nenhuma	nenhuma
Nontronita	nenhuma	pobre	pobre

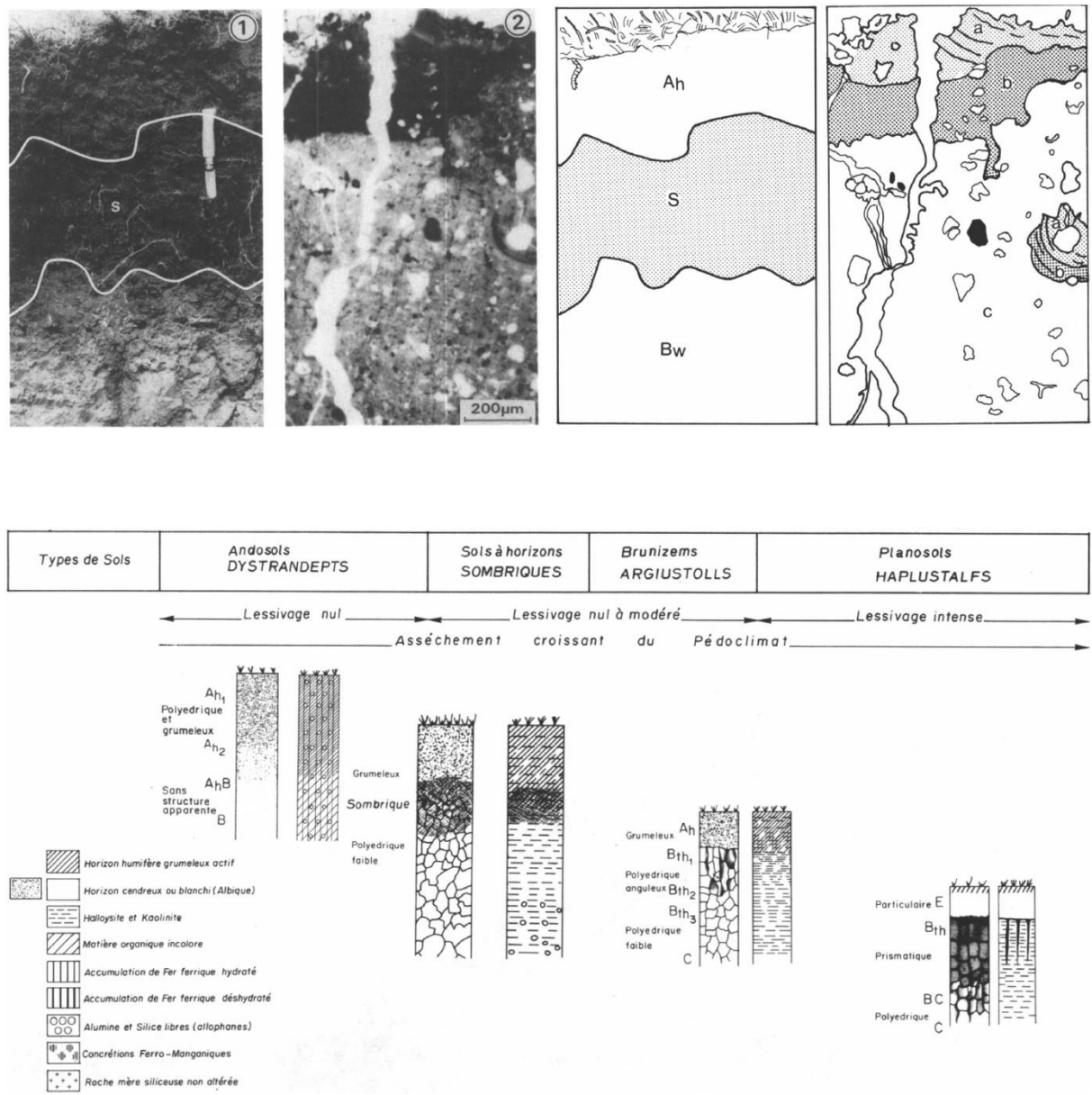
Fonte: adaptado de Parfitt e Childs (1988).

ANEXO C — Descrição da utilidade de vários parâmetros em detectar descontinuidades litológicas em solos. Adaptado de Schaetzl (1998).

Considerados muito úteis na maioria dos casos	Considerados úteis em alguns casos	Considerados raramente úteis. Não devem ser utilizados isoladamente	Considerados geralmente não úteis
Quantidade das frações (tamanho das partículas) livres da argila	Quantidade das frações (tamanho das partículas) maiores do que a argila	Mineralogia da argila	pH, condutividade elétrica, CTC e saturação por bases
Composição elementar das frações (tamanho das partículas) maiores do que a argila, imóveis e resistentes ao intemperismo	Presença ou ausência de determinados minerais	Suscetibilidade magnética	Teor do carbono orgânico, argila e vários elementos
Teor dos minerais resistentes em frações (tamanho das partículas) maiores do que a argila	Teor dos minerais leves ou pesados	Evidências paleobotânicas ou paleontológicas	Índices do desenvolvimento do solo
Presença de uma linha ou zona das frações grossas horizontalmente	Forma (arredondamento, esfericidade etc.) das frações (tamanho das partículas) maiores do que a argila		Indicadores morfológicos (estrutura, consistência, cores, densidade, transição entre horizontes etc.)



Fonte: adaptado de Schaetzl (1998).

ANEXO D — Evidência micromorfológica dos revestimentos pretos na superfície dos agregados, em consequência da migração dos complexos quimicamente estáveis constituídos dos argilominerais (haloisita), ferro e matéria orgânica. Representação da climatoposequência. Adaptado de Faivre (1990).



Fonte: adaptado de Faivre (1990).

ANEXO E — Características gerais do carbono pirogênico como um *continuum*. Adaptado de Masiello (2004).

Características gerais	Biomassa parcialmente carbonizada	Carvão (<i>char/charcoal</i>)	Fuligem (<i>soot</i>)	Grafite (<i>graphitic black carbon</i>)
Tempo da formação	Baixo  Elevado			
Dimensão	≥ mm	≥ mm	mm - μm	< μm
Estrutura dos precursores	Abundante	Presença significativa	Pouca	Nenhuma
Reatividade	Baixa  Elevado			
Reservatório inicial	Solos	Solos	Solos e atmosfera	Solos e atmosfera
Alcance da dispersão	Muito curto (m)	Curto (m - km)	Curto (m - km)	Longo (até 1000 km)

Fonte: adaptado de Masiello (2004).

ANEXO F — Trecho da classificação de solos proposta por Baldwin et al. (1938), com um maior detalhamento para o grande grupo *Gray-Brown Podzolic*. Adaptado.

Category					
VI	V	IV	III	II	I
Order	Suborder	Great soils groups	Family	Series	Type
Zonal soils	Light-colored podzolized soils of the timbered regions	Podzol			
		Brown Podzolic			
		Gray-Brown Podzolic	Miami	Miami	Miami silt loam
				Fox	Fox silt loam
				Bellefontaine	Bellefontaine loam
			Plainfield	Plainfield	Plainfield loamy sand
				Coloma	Coloma loamy sand
			Chester	Chester	Chester loam
				Frederick	Frederick silt loam
			Porters	Porters	Porters loam
	Lateritic soils of forested warm-temperate and tropical regions	Yellow Podzolic			
		Red Podzolic (Terra Rossa)			
		Yellowish-Brown Lateritic			
		Reddish-Brown Lateritic			
		Laterite			

Fonte: adaptado de Baldwin et al. (1938).

ANEXO G — Características gerais dos grandes grupos *Podzol*, *Brown Podzolic*, *Gray-Brown Podzolic*, *Yellow Podzolic* e *Red Podzolic*. Adaptado de Baldwin et al. (1938).

Podzol

Camada de algumas polegadas de serrapilheira e húmus ácido, horizonte A₁ cinzento-escuro pouco espesso, horizonte A₂ cinzento-esbranquiçado também pouco espesso, horizonte B₁ escuro (ou cor do café), e um horizonte B₂ bruno-amarelado. Solo fortemente ácido. Clima: frio-temperado e úmido. Vegetação primária: floresta de coníferas ou mistura de coníferas e decíduas. Processo da formação: podzolização.

Brown Podzolic

Camada de serrapilheira e húmus ácido, horizonte A cinzento-escuro pouco espesso, horizonte A₂ bruno-acinzentado ou bruno-amarelado também pouco espesso, horizonte B bruno ligeiramente mais argiloso. Solum raramente maior do que 24 polegadas. Clima: frio-temperado e úmido (menos do que os *Podzols*). Vegetação primária: floresta de decíduas ou mistura de decíduas e coníferas. Processo da formação: podzolização.

Gray-Brown Podzolic

Camada de serrapilheira pouco espessa e húmus menos ácido, horizonte superficial escurecido com espessura entre 2 e 4 polegadas, horizonte bruno-acinzentado lixiviado, horizonte B bruno mais argiloso. Solo menos ácido em relação aos *Podzols*. Clima: temperado e úmido. Vegetação primária: predominantemente floresta de decíduas com mistura de coníferas em alguns locais. Processo da formação: podzolização.

Yellow Podzolic

Cobertura orgânica pouco espessa, horizonte cinzento-amarelado pálido e lixiviado com espessura entre 6 polegadas e 3 pés, horizonte B amarelo mais

argiloso, material de origem com coloração variegada (amarelo, vermelho e cinza). Solo ácido. Clima: quente-temperado a tropical, e úmido. Vegetação primária: floresta de coníferas ou mistura de coníferas e decíduas. Processo da formação: podzolização com alguma laterização.

Red Podzolic

Cobertura orgânica pouco espessa, horizonte lixiviado bruno-amarelado ou bruno-acinzentado, horizonte B vermelho-profundo. Material de origem com coloração variegada frequentemente reticulada (amarelo, vermelho e cinza). Solo ácido. Clima: quente-temperado a tropical e úmido. Vegetação primária: floresta de decíduas com algumas coníferas. Processo da formação: podzolização e laterização.

ANEXO H — Características gerais dos grandes grupos *Gray Wooded* (*Gray Podzolic*) e *Red-Yellow Podzolic*. Adaptado de Thorp e Smith (1949).

Gray Wooded (Gray Podzolic)

Solos bem desenvolvidos, bem drenados, horizonte orgânico moderadamente espesso (A_0), horizonte orgânico-mineral (A_1) pouco espesso, horizonte lixiviado de coloração clara (A_2), horizonte B_2 bruno mais argiloso, com estrutura em blocos, horizontes B_3 e C mais friáveis e com coloração clara. A cor é similar em relação aos *Podzols*, mas o horizonte A_2 do *Gray Wooded* é geralmente duas vezes mais espesso, e o horizonte B geralmente tem croma inferior. O *Gray Wooded* difere do *Gray-Brown Podzolic* por ter o horizonte A_2 mais acinzentado e mais claro, além de ser menos ácido. Quando desenvolvido a partir de um material calcário, o *Gray Wooded* apresenta reação variável entre neutra a medianamente ácida (ou fortemente ácida em condições excepcionais), sendo comum o acúmulo do carbonato de cálcio abaixo do horizonte B_2 . Clima: frio-temperado e subúmido a semiárido. Vegetação primária: floresta de coníferas, decíduas ou ambas.

Red-Yellow Podzolic

Solos bem desenvolvidos, bem drenados, ácidos, horizonte orgânico pouco espesso (A_0), horizonte orgânico-mineral (A_1), horizonte lixiviado de coloração clara (A_2), horizonte B mais argiloso vermelho, vermelho-amarelado ou amarelo.

ANEXO I — Conceituação preliminar dos Podzólicos Bruno-Acinzentados que consta em Olmos e Camargo (1982). Texto original.

Trata-se de classe de solo cuja caracterização circunstanciada e conceituação desenvolvida, constituem propósito de um projeto do SNLCS, em fase de finalização, e do qual se deriva a presente conceituação preliminar.

Compreende solos minerais, não hidromórficos, mais tipicamente de argila de atividade alta, com horizonte B textural nem sempre bem perceptível, argiloso ou muito argiloso, brunado geralmente tendo composição cromática heterogênea e singular escurecimento na porção superior, precedido de horizonte A bem eluvial, podendo mesmo apresentar um horizonte A2 (E).

É feição muito peculiar destes solos a particularidade do horizonte A (A1, A2 e A3) ser bastante claro quando seco, mesmo quando sejam relativamente altos os teores de matéria orgânica, tornando-se porém expressivamente escuro quando úmido ou molhado. Essa circunstância leva a confundi-lo com horizonte A proeminente, ou chernozêmico quando alta a saturação de bases. Além disso, em observações pouco atentas ou desprevenidas, essa peculiaridade induz à identificação enganosa da parte superior do horizonte B como se pertencesse ao A.

São solos moderadamente drenados, que têm sequência de horizontes A1, A2 (presente ou não), Bt, C e profundidade média da ordem de 1 m, sendo que A+B em geral perfazem cerca de 80 cm.

O horizonte A1 é moderado. Com menor frequência, não chega a ser chernozêmico devido à insuficiência de espessura. Mais comumente, não se qualifica como proeminente, devido à tonalidade não ser suficientemente escura quando seco. Em alguns casos, o A já satisfaz o requisito de tonalidade quando seco para A proeminente, estando o valor próximo do limite convencionado; nessa circunstância são os solos tidos como intermediários (atípicos).

O horizonte A1 usualmente tem espessura entre 10 e 20 cm, coloração quando úmido variando entre bruno muito escuro e bruno-escuro, predominantemente com matiz 10YR, valor e croma entre 2 e 3; quando seco a cor é variável entre bruno-acinzentado e cinzento-brunado-claro de matiz dominante 10YR, valor 5,5 a 6 (atipicamente 5) e croma 2 a 3. A textura é variável desde franco-arenosa, a franco-argilo-arenosa até argila siltosa, porém sensivelmente menos argilosa que o B. A estrutura é granular, moderada ou fraca e mais raramente forte, de tamanho muito

pequeno até médio. A consistência é dura ou menos resistente quando seco, friável ou muito friável quando úmido e ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a muito pegajoso, quando molhado.

O horizonte A2 (E) nem sempre existe. Quando presente tem sido constatada espessura entre 12 e 20 cm. A cor quando úmido varia entre bruno muito escuro e bruno-amarelado-escuro, com matiz 10YR a 9YR, valor 2 a 3,5 e croma 2 a 4; quando seco tem cor entre bruno e cinzento-brunado-claro, com matiz 10YR a 9YR, valor 5 a 6 e croma 2 a 3. A textura varia de franco-argilo-arenosa até argila, sendo distintamente menos argilosa do que o B. A estrutura é fraca ou moderada, granular ou em blocos subangulares, muito pequena a pequena. Tem consistência dura quando seco, friável quando úmido, plástico e pegajoso a muito pegajoso quando molhado.

A mudança de A1 para o Bt pode ser menos ou mais evidenciada, ou de maior contraste quando de A2 (E) para Bt. Em qualquer caso, é perceptivelmente mais contrastante ao se secar o solo, clareando o horizonte A1 e A2 (E).

O horizonte Bt tem sua porção superior geralmente mais escura, bruno-escuro ou bruno-amarelado-escuro, com matiz 10YR a 7.5YR, valor 3 a 3,5, croma 2 a 4. Tal escurecimento usual nessa parte superior do B, torna-a muito confundível com o horizonte A quando o solo esteja úmido ou molhado, condição responsável por escurecimento geral de A1 e A2 (E), com ocultação deste.

No restante o horizonte B é usualmente policrômico, com variáveis componentes bruno muito escuro, bruno, bruno-amarelado-escuro, bruno-amarelado e bruno-avermelhado, de matizes 9YR a 7.5YR, indo até 4YR; valor entre 4 e 3 e croma 4 a 2. A textura é argilosa ou muito argilosa e nem sempre é muito distintivo o aumento de teor de argila de A para B. A estrutura é normalmente forte em blocos subangulares e angulares, de tamanho pequeno a grande, podendo se compor em congregados prismáticos. Apresenta cerosidade moderada até forte, geralmente abundante, revestindo agregados estruturais. Tem consistência muito dura até extremamente dura, firme quando úmido, plástico e muito pegajoso quando molhado. Há certa tendência a algum avermelhamento na porção inferior do B.

A diferenciação de horizontes é grande nas variedades de solos que têm sequência de horizontes A1, A2, A3 e B1 presentes ou não, Bt, C; enquanto que em solos sem A2 é mais fraca. De resto, a diferenciação é muito evidenciada nos solos intermediários com Planossolo e pouco nos intermediários com Terra Bruna

estruturada ou Cambissolo. Em qualquer instância, o contraste se torna bem mais perceptível com a secagem do solo.

Verificações preliminares da constituição mineralógica das argilas de horizontes B, têm acusado coexistência de argilas 1:1 e 2:1, com prováveis argilominerais de camada mista e ocasionais pequenas quantidades de gibbsita. Ainda referente a horizontes B, têm sido encontrados valores de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, variando de 3,09 a 2,37, com valores de mais ou menos 2,20 no caso de intermediários com Terra Bruna Estruturada Álica ou Cambissolo Álico, ou Podzólico Vermelho-Amarelo de argila de atividade baixa e saturação de bases baixa. Para $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, os valores encontrados variam de 2,59 a 1,94; no caso dos citados intermediários, são de 1,53 a 1,90 os valores verificados. A capacidade de troca de cátions (a pH 7,0) da argila de horizontes B descontada a contribuição da matéria orgânica, varia de 36 a 24 meq/100 g; no caso dos citados intermediários verificaram-se valores não inferiores a 17 meq/100 g.

Tomada por termo de referência a conceituação de há muito estabelecida para Podzólico Bruno-Acinzentado, conforme exposto por Thorp, Cady & Gamble (1959), Winters & Simonson (1951), Cline (1949), além de outros trabalhos anteriores, que remontam a 1927, o modal (ortotipo) desta classe é representado por solos com A moderado, horizonte A2, B textural, argila de atividade alta (predominância de ilita), um tanto desbasificados nos horizontes eluviais, mas com saturação de bases alta e crescente do B para C, com certa movimentação de matéria orgânica afetando a parte superior do Bt, escurecendo-o.

Contudo, os conhecimentos atuais dos solos do país, levam à identificação de variedades correlatas, indicando que equivalentes álicos e com argila de atividade um tanto mais baixas, sejam de mais larga distribuição territorial no Brasil, embora essas variedades possam ser tomadas como intermediárias com outras classes de solos, como por exemplo Terra Bruna Estruturada e Podzólico Vermelho-Amarelo.

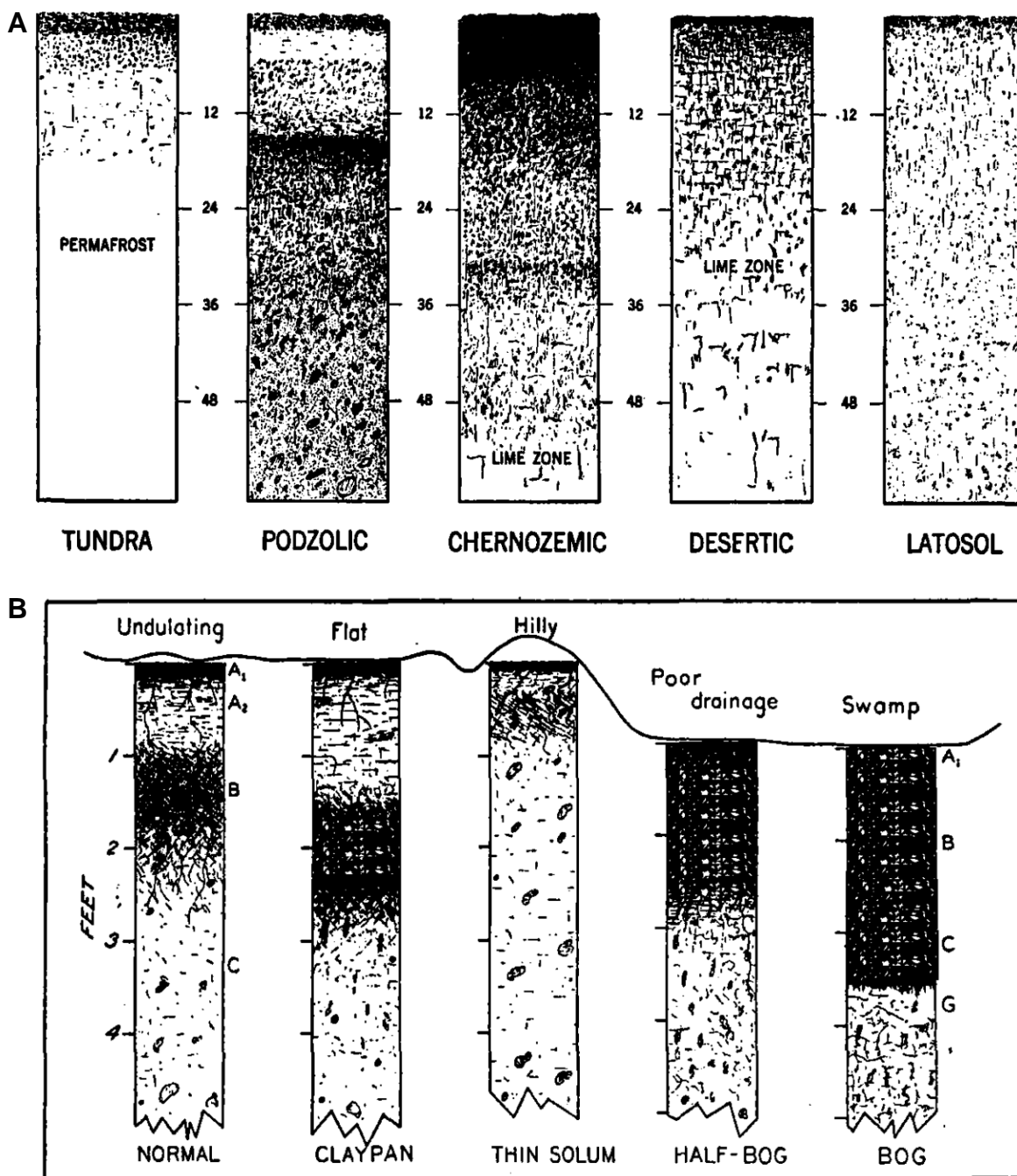
No estágio presente de visualização desses solos, são admitidas variedades com argila de atividade alta, ou de atividade baixa; com saturação de bases alta, ou saturação baixa; com horizonte A moderadamente desenvolvido, ou mais raramente com horizonte A proeminente, tidos estes como atípicos intermediários com Terra Bruna Estruturada ou Cambissolo Húmico.

No global têm sido reconhecidos solos intermediários com Planossolo, Brunizem, Podzólico Vermelho-Amarelo, Terra Bruna Estruturada, Cambissolo Húmico e, presumivelmente Podzólico Bruno.

De qualquer modo são solos com cores pouco vivas, francamente tendentes a matizes amarelados ou mais tipicamente ainda brunos, de valor e croma baixos, quando muito algo avermelhadas apenas na parte inferior (B/C), dando a conhecer que são de colorido menos vivo que os PODZÓLICOS VERMELHO-AMARELOS e PODZÓLICOS VERMELHO-ESCUROS, tipicamente mais avermelhados.

São solos que ocorrem no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, formados a partir de sedimentos pelíticos ou seus derivados de baixo grau de metamorfismo, de rochas do embasamento cristalino, de rochas efusivas ácidas ou mesmo de caráter intermediário, referidas à Formação Serra Geral. Encontram-se distribuídos nas regiões do Planalto Meridional, Serra de Sudeste e Campanha Gaúcha, sob condições de clima subtropical, com verão brando ou quente, e cobertura vegetal primária predominantemente florestal.

ANEXO J — (A) Perfis idealizados de cinco subordens dos solos zonais. Os diagramas ilustram o grau de diferenciação dos horizontes e certas características adicionais dos principais grandes grupos zonais. As profundidades estão apresentadas em polegadas. (B) Perfis de solos desenvolvidos na região do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*, a partir de materiais de origem similares, porém com diferenças quanto à topografia. Os cinco perfis correspondem às séries *Miami*, *Crosby*, *Rodman*, *Brookston* e *Carlisle*, no sentido esquerda-direita. Adaptado de Winters e Simonson (1951).



Fonte: adaptado de Winters e Simonson (1951).

ANEXO K — Descrição da cor (estado úmido) de dois perfis do solo *Miami silt loam*. Adaptado de Thorp et al. (1959) e NRCS (2014).

<i>Miami silt loam</i> (Thorp et al., 1959)		<i>Miami series (Miami silt loam)</i> (NRCS, 2014)	
A ₁	cinzento muito escuro a bruno-acinzentado-escuro (10YR3/1 a 4/2)	Ap	bruno (10YR4/3)
A ₂	bruno (10YR5/3)	Bt1	bruno-amarelado-escuro (10YR4/4)
A ₂ -B ₁	bruno-amarelado-claro a bruno (10YR 6/4 a 5/4)	2Bt2	bruno-amarelado-escuro (10YR4/4)
B ₂₁	bruno (10YR5/3, 4/3)	2Bt3	bruno-amarelado-escuro (10YR4/4)
B ₂₂	bruno-escuro (7.5YR3/2 a 10YR3/4)	2BCt	bruno (10YR4/3)
C ₁	bruno-amarelado-claro (2.5Y6/4 a 10YR6/4)	2Cd	bruno (10YR5/3)
C ₂	bruno-claro-acinzentado a bruno-acinzentado (10YR6/3 a 10YR5/3)		

Presença de revestimentos escurecidos nos horizontes B₂₂, C₁ e C₂.

Fonte: adaptado de Thorp et al. (1959) e NRCS (2014).

ANEXO L — Descrição da cor (estado úmido) de quatro perfis do grande grupo *Gray-Brown Podzolic*, todos da família *Miami*. Adaptado de Brown e Thorp (1942).

Great soil group	<i>Gray-Brow Podzolic</i>							
Family	<i>Miami</i>							
Series	<i>Miami</i>		<i>Wooster</i>		<i>Hillsdale</i>		<i>Fox</i>	
Type	<i>Miami silt loam</i>		<i>Wooster silt loam</i>		<i>Hillsdale fine sandy loam</i>		<i>Fox silt loam</i>	
	A ₁	cinzento-brunado muito escuro	A ₁	cinzento muito escuro	A ₁	cinzento-brunado-escuro	A ₁	cinzento muito escuro
	A ₂	cinzento-brunado-claro	A ₁	cinzento-escuro	A ₂	bruno-amarelado muito pálido	A ₂	bruno-amarelado pálido
	A ₃	bruno-amarelado pálido ou amarelo-brunado	A ₂	bruno-amarelado-claro	A ₃	cinzento muito claro	A ₃	bruno-amarelado-claro
	B ₁	bruno-amarelado-claro	A ₃	bruno-claro	B ₂	bruno (forte)*	B ₂	bruno-amarelado brilhante
	B ₂	bruno-amarelado*	B ₁	bruno-claro	B ₃	bruno*	B ₃	bruno-escuro
	B ₃	bruno-escuro*	B ₂	bruno	C ₁	oliva-claro	C ₁	cinzento e bruno-amarelado pálido
	C ₁	cinzento-oliváceo	B ₃ 1	oliva-amarelado*				
			C ₁	amarelo-brunado-claro				

* Horizontes com a presença de revestimentos escurecidos.

Fonte: adaptado de Brown e Thorp (1942).

ANEXO M — Descrição dos Podzólicos Bruno-Acinzentados que consta em Oliveira et al. (1992). Texto original.

A conceituação dessa classe de solos deriva com algumas variantes da classe de mesma denominação constante da classificação americana de 1938, modificada em 1949 (Baldwin et al., 1938; Thorp e Smith, 1949), tendo sido objeto de consideração particularizada (Olmos & Camargo, 1982) por serem solos pouco conhecidos no país e, até começo da década de 1980, foram indiscriminadamente incluídas com os Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Conceito — São solos minerais pouco profundos, não-hidromórficos, moderadamente drenados, mais tipicamente com argila de atividade alta, horizonte A moderado ou, mais raramente, proeminente e B textural de coloração brunada comumente heterogênea, com topo singularmente escurecido, podendo ser precedido por um horizonte E, o que realça a diferenciação de horizontes.

Características principais — São solos de sequência A-E (pode faltar) - Bt-C, raramente atingindo profundidade superior a 100 cm.

Uma das suas características principais é apresentar, entre o estado seco e o úmido, apreciável mudança na tonalidade da cor do horizonte A. Este, quando úmido, é bem escuro, tornando-se bem mais claro quando seco. Numa observação pouco atenta, olhando apenas a cor úmida, é possível confundi-lo com um proeminente ou chernozêmico. Ademais, em vista do singular escurecimento do topo do horizonte B, é preciso bastante atenção nos solos desprovidos de horizonte E para não confundir aquela porção do horizonte B com a base do horizonte A, principalmente quando os solos estejam úmidos ou molhados.

O horizonte A tem espessura de 10 a 20 cm e cor úmida, bruno muito escura ou bruno-escura (10YR2/2, 10YR3/3), passando, quando seco, para bruno-acinzentada ou cinzento-brunado-clara (10YR5/2, 10YR6/3). Sua textura varia desde franco-arenosa ou argilo-arenosa até argilo-siltosa, enquanto a do Bt é argilosa ou muito argilosa. Nos casos extremos de aumento de argila do A para o B, as diferenças texturais entre esses dois horizontes são marcantes, mas podem se tornar bem menos evidentes, requerendo verificação cuidadosa da textura “de campo” para perceber as diferenças.

Na ausência do horizonte E, a delimitação entre o A e o topo do Bt, requer particular atenção quando essas camadas estiverem úmidas, ou molhadas, pois,

como mencionado anteriormente, nessas circunstâncias ambas as seções apresentam tonalidades escuras. Todavia, a evidenciação de contraste entre elas é sensivelmente aumentada quando secas.

Abaixo da camada escurecida do topo, o horizonte Bt possui coloração comumente heterogênea e bastante variada, desde bruno muito escura (9YR4/2) até bruno-amarelada (4YR4/3), sendo comum sua parte basal apresentar-se algo mais avermelhada.

A estrutura do horizonte Bt é geralmente em bloco subangular forte, podendo, contudo, ser composta prismática; a cerosidade, geralmente abundante, varia de moderada a forte, apresentando-se preferencialmente no topo desse horizonte.

São solos mais tipicamente com argila de atividade alta; consequentemente, a CTC é superior a 24 meq/100 g de argila, após desconto da matéria orgânica. Todavia, em alguns solos, esse valor é ligeiramente inferior, podendo chegar a 17 meq/100 g. Não obstante a concepção original de Podzólico Bruno-Acinzentado (Cline, 1949) seja a de solos com saturação por bases alta, no Brasil têm sido incluídos nessa classe solos com saturação mais baixa (Olmos & Camargo, 1982).

Significado agrônomo — É bastante considerável a variação de estado de fertilidade entre os diversos Podzólicos Bruno-Acinzentados. Os de alta saturação por bases e argila de atividade alta, que são formados a partir de materiais de origem relativamente ricos em cátions trocáveis, contam com considerável reserva e boa disponibilidade de nutrientes, aliada à fraca acidez. Ocasionalmente, nesses solos, pequena concentração de alumínio pode ocorrer na parte mais superficial, menos saturada por bases.

As principais limitações vêm a ser de ordem física, devidas a algumas deficiências. São referentes à permeabilidade um tanto lenta, forte retenção de água e eventual encharcamento transitório. A significativa plasticidade e pegajosidade do solo molhado é tanto mais acentuada quanto mais argiloso ele for, podendo constituir, também, atributo restritivo, especialmente quanto à facilidade de preparo do solo, à relação solo-água-planta e à própria trafegabilidade.

Os Podzólicos Bruno-Acinzentados distróficos e com argila de atividade alta, além das limitações das condições físicas citadas, apresentam limitações concernentes à deficiências nutricionais, acidez e concentração de alumínio; está, não só na parte superficial, mais rica em matéria orgânica, como, sobretudo, na

parte mais interna, onde seja menor a saturação por bases, perante o habitual aumento da CTC com a profundidade.

Os solos conhecidos com atividade de argila algo inferior a 24 meq/100 têm baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio. Nesses casos, as já citadas limitações das condições físicas apresentam-se atenuadas e agravadas as concernentes à deficiências nutricionais, acidez e toxidez de alumínio.

A principal utilização desses solos compreende a viticultura (mormente na zona serrana do Rio Grande do Sul), reflorestamento com eucalipto e pinus, pastagens, cultura de fumo e fruteiras de clima temperado, afora pequenas lavouras de subsistência.

Área de ocorrência — Distribuição pouco extensiva, em regiões de clima subtropical, circunscrita ao Planalto Meridional no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, também neste estado, à Serra de Sudeste e Campanha.

Solos afins e discriminação — Verificam-se semelhanças entre solos em apreço e solos das classes dos Brunizens, Podzólicos Vermelho-Amarelos, Terras Brunas Estruturadas e Cambissolos Húmicos, podendo ser um tanto mais estreitas as similaridades com Planossolos de drenagem menos restrita.

No caso de solos com alta atividade de argilas e alta saturação por bases, distinguem-se eles dos Brunizens pelo A moderado e não chernozêmico, B textural de coloração heterogênea divergente da cor bruno-escuro até preta dos Brunizens, além da eventual presença de horizonte E inexistente em Brunizens. Como mencionado, é preciso atenção para não confundir o horizonte A moderado dos Podzólicos Bruno-Acinzentados, com o A chernozêmico, devendo a cor do horizonte ser verificada no estado seco.

Distinguem-se dos Podzólicos Vermelho-Amarelos pela coloração mais viva, alaranjada ou avermelhada do horizonte B textural desses solos, enquanto nos assemelhados Podzólicos Bruno-Acinzentados o Bt é, habitualmente, policromático, com expressiva carga de cores bruna e brunadas e peculiar o escurecimento no topo desse horizonte. Ademais, o expressivo contraste do esbranquiçado, quando seco, e escurecimento, quando molhado, é particularmente presente em horizonte A dos Podzólicos Bruno-Acinzentados.

A distinção com a Terra Bruna Estruturada pode tornar-se, em alguns casos, bastante difícil, devendo-se buscá-la na combinação de vários atributos. Assim, as Terras Brunas Estruturadas apresentam pequena ou virtualmente nenhuma

diferença textural entre os horizontes A e B; não se verifica o escurecimento do topo do horizonte B no qual não há ou é pequena a expressão de cor heterogênea; ausência de horizonte E; e presença de horizonte A húmico ou proeminente, que pode ser mais espesso e escuro, facilitando a distinção. E, em qualquer caso, não se verifica clareamento relevante com a secagem do A.

É das mais problemáticas a distinção entre certos Podzólicos Bruno-Acinzentados com horizonte Bt de colorido pouco vivo e Planossolos com Bt de colorido algo mais vivo que o normal. As poucas diferenças podem ficar limitadas tão-somente à condição de os Planossolos terem (1) mudança textural abrupta sempre em conjunção com fendilhamento de disjunção-desligadura na interface do A e o Bt ou do E e o Bt, quando o solo está seco, e ainda estrutura forte em blocos angulares tendente a “cúbica” grande no topo do horizonte Bt e ademais (2) apresentarem cores mais aproximadas a neutras ou propriamente neutras na composição policromática do Bt, imprimindo-lhe feição menos colorida.

Tanto o escurecimento no topo do horizonte B como a expressiva troca de tonalidade escura para clara com a secagem do A são particularidades que podem se apresentar em Planossolos.

Dos Cambissolos Húmicos, distinguem-se pelo horizonte B textural e não câmbico, pela maior diferença textural de A para o Bt, pela ausência de horizonte A húmico, diagnóstico desses Cambissolos, nos quais não se produz clareamento relevante com a secagem do A, nem se verifica o escurecimento no topo do horizonte B. Ademais, a estrutura em blocos, geralmente mais forte, aliada à usual coloração heterogênea do horizonte Bt dos Podzólicos Bruno-Acinzentados, concorrem para distingui-los dos Cambissolos Húmicos.

ANEXO N — Descrições sucintas dos Podzólicos Bruno-Acinzentados identificados no estado de Santa Catarina, em viagens realizadas pelo SNLCS para fins de classificação e correlação de solos. Adaptadas de SNLCS (1980a).

Exame 60 (pág. 105 a 107)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de siltitos argilosos e folhelhos sílticos, do Grupo Tubarão (Subgrupo Guatá), do Permiano.

Localização = A 56,9 km de Dr. Pedrinho, na estrada para Itaiópolis.

Altitude = 900 m.

Exame 61 (pág. 107 a 109)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de siltitos argilosos e folhelhos sílticos. Grupo Tubarão (Subgrupo Guatá), do Permiano.

Localização = a 62,9 km de Dr. Pedrinho, na estrada para Itaiópolis.

Altitude = 915 m

Exame 62 (pág. 109)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado.

Litologia e material originário = material retrabalhado oriundo de siltitos argilosos e folhelhos sílticos revestindo as mesmas rochas. Grupo Tubarão (Subgrupo Guatá), do Permiano.

Localização = a 65,4 km de Dr. Pedrinho, na estrada para Itaiópolis, no entroncamento para Papanduva.

Altitude = 940 m.

Viagem complementar (pág. 120)**LAJES-SÃO JOAQUIM-URUBICI-ALFREDO WAGNER-ITUPORANGA-RIO DO
SUL-BLUMENAU****Exame 3 (pág. 126 a 129)**

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A proeminente textura argilosa fase campo subtropical relevo ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de siltitos argilosos e folhelhos silticos, do Grupo Tubarão, do Permiano.

Localização = a 5 km da saída de Urubici, na estrada para Bom Retiro.

Exame 4 (pág. 129 a 132)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A proeminente textura argilosa fase floresta tropical/subtropical perenifólia relevo ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de siltitos argilosos, do Grupo Tubarão, do Permiano.

Localização = a 54 km de Alfredo Wagner, na estrada para Ituporanga.

BLUMENAU-TIMBÓ-ITAIÓPOLIS-MAFRA-RIO NEGRINHO-JOINVILE-BLUMENAU

* Do km 120 ao km 158 - Já no planalto de Canoinhas, com altitude entre 900 e 950 metros, em relevo suave ondulado e ondulado e com vegetação tipo floresta subtropical perenifólia, predomina o PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO formado a partir dos produtos da alteração de siltitos argilosos e folhelhos siltosos, do Grupo Tubarão (pág. 140).

ANEXO O — Descrições sucintas dos Podzólicos Bruno-Acinzentados identificados no estado do Rio Grande do Sul, em viagens realizadas pelo SNLCS para fins de classificação e correlação de solos. Adaptadas de SNLCS (1980b).

Exame 43 (pág. 54 a 58)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo forte ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de rochas eruptivas básicas, do Grupo São Bento, do Juro-Cretáceo.

Localização = a 11 km de Caxias, na estrada para Farroupilha.

Altitude = 740 m.

Exame 50 (pág. 64 a 68)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo forte ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de rochas eruptivas intermediárias, do Grupo São Bento, do Juro-Cretáceo.

Localização = corte do lado esquerdo da estrada, a 17 km da ponte do arroio Fão, em direção à Soledade.

Altitude = 500 m.

Exame 51 (pág. 68)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de rochas eruptivas intermediárias, do Grupo São Bento, do Juro-Cretáceo.

Localização = a 33 km da ponte do arroio Fão, em direção à Soledade.

Altitude = 690 m.

Exame 69 (pág. 95 a 97)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A moderado textura argilosa fase campo subtropical úmido/subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de arenitos eólicos, do Grupo São Bento, da Formação São Bento, do Juro-Cretáceo.

Localização = a 35 km da saída de Santa Maria ou a 8 km da ponte sobre a RFFSA, em direção à São Pedro do Sul; km 37 da RST-453.

Altitude = 135 m.

Exame 103 (pág. 138 a 140)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO abrúptico A moderado textura média/argilosa fase campo subtropical subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de arenitos médios e siltitos, da Formação Rosário do Sul, do Triássico.

Localização = na altura do km 65 da BR-158, 1 km antes do entroncamento com a BR-293.

Altitude = 140 m.

Exame 105 (pág. 143 a 144)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO abrúptico A moderado textura média/argilosa fase campo subtropical subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = cobertura de retrabalhamento de \pm 30 cm sobre produtos da alteração de arenitos médios e siltitos, da Formação Rosário do Sul, do Triássico.

Localização = na altura do km 273,5 da BR-293, trecho Santana do Livramento-Dom Pedrito.

Altitude = 130 m.

Exame 110 (pág. 149 a 151)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO A proeminente textura média/argilosa fase campo subtropical subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de migmatitos heterogêneos e homogêneos, afetados provavelmente por retrabalhamento superficial, do Grupo Porongos, do Subgrupo Vacaraí, do Pré-cambriano A.

Localização = na altura do km 186 da BR-293, trecho Dom Pedrito-Bagé.

Altitude = 320 m.

Exame 116 (pág. 156 a 159)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO abrupto planossólico A moderado textura média/muito argilosa fase campo subtropical subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = cobertura de aproximadamente 40 cm (praticamente e coincidente com o horizonte A) de material retrabalhado, sobre produtos da alteração de migmatitos do Pré-cambriano.

Localização = km 173 da BR-293, no contorno da cidade de Bagé.

Altitude = 280 m.

Exame 117 (pág. 159 a 160)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO planossólico A moderado textura média com cascalho/argilosa com cascalho fase campo subtropical subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = cobertura de aproximadamente 30 cm de material retrabalhado, sobre produtos da alteração de migmatitos, do Pré-cambriano.

Localização = km 170,5 da BR-293, no trecho Bagé-Pelotas.

Altitude = 280 m.

Exame 132 (pág. 180 a 181)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO abrúptico planossólico A moderado textura média/argilosa fase campo subtropical úmido/subúmido relevo suave ondulado.

Litologia e material originário = produtos da alteração de folhelhos e siltitos, afetados por retrabalhamento superficial.

Localização = a 37 km de Santa Maria, na estrada para São Sepé, na altura do km 253 da BR-392.

Altitude = 160 m.

Exame 143 (pág. 193 a 194)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO A moderado textura arenosa cascalhenta/argilosa cascalhenta fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado e forte ondulado.

Litologia e material originário = cobertura de 60 cm de material retrabalhado, sobre produtos da alteração de migmatitos, do Grupo Porongos e Pedras Grandes, do Subgrupo Cambaí, do Pré-cambriano A.

Localização = a 19 km de Canguçu, em direção a Pelotas, pela BR-471.

Altitude = 225 m.

Exame 144 (pág. 194 a 196)

Classificação = PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO abrúptico, A moderado textura média/argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado.

Litologia e material originário = cobertura de 60 cm de material retrabalhado, sobre produtos da alteração de migmatitos, do Grupo Porongos e Pedras Grandes, do Subgrupo Cambaí, do Pré-cambriano.

Localização = a 24 km de Canguçu, em direção a Pelotas, pela BR-471.

Altitude = 120 m.

ANEXO P — Critérios de enquadramento da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados nas edições de número 2 e 3 do SiBCS. Textos originais.

CNPS (2006)

Solos que apresentam a parte superior do horizonte B (inclusive BA) pouco mais escurecida (bruno-escuro ou bruno-avermelhado-escuro) em relação aos subhorizontes inferiores, com matiz 5YR ou mais amarelo, valor 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 e espessura do solum normalmente entre 60 e 100 cm.

Santos et al. (2013)

Solos com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) e que apresentam expressivo escurecimento da porção superior desse horizonte, cujas cores devem atender aos seguintes critérios:

- a) no estado úmido, os valores e/ou cromas devem ser inferiores aos do sub-horizonte imediatamente subjacente; e
- b) no estado seco, os valores e/ou cromas devem ser inferiores aos de pelo menos um dos sub-horizontes acima do horizonte B escurecido, de tal forma que, com o solo seco, a presença do horizonte subsuperficial escuro seja claramente evidenciada.

ANEXO Q — Definições do *sombric horizon* na edição original da *Soil Taxonomy* e edição atual da *Keys to Soil Taxonomy*. Adaptado de Soil Survey Staff (1975 e 2014).

Sombric horizon (Soil Survey Staff, 1975)

O *sombric horizon* é um horizonte subsuperficial dos solos minerais formados sob uma drenagem livre, e contém húmus iluvial que não está associado ao alumínio, como é o húmus no *spodic horizon*, nem está disperso pelo sódio, como é comum no *natric horizon*. Consequentemente, o *sombric horizon* não tem a capacidade de troca de cátions elevada que é característica do *spodic horizon* relativa ao teor da argila, e não tem a saturação por bases elevada que é característica do *natric horizon*. O *sombric horizon* não está subjacente a um *albic horizon*.

Acredita-se que o *sombric horizon* está restrito aos solos frios e úmidos das montanhas e planaltos elevados das regiões tropicais ou subtropicais. Em razão da lixiviação anual, a saturação por bases é baixa ($< 50\% \text{NH}_4\text{OAc}$).

O *sombric horizon* tem valor ou croma, ou ambos, inferior(es) em relação ao horizonte sobrejacente e comumente, mas não necessariamente, contém mais matéria orgânica. O *sombric horizon* pode ter sido formado em um *argillic horizon*, *cambic horizon*, ou, possivelmente, *oxic horizon*. Se os *peds* estão presentes, as cores escuras são mais pronunciadas sobre a superfície dos *peds*.

Um *sombric horizon* é facilmente confundido no campo com um horizonte A1 soterrado, podendo ser diferenciado de alguns *epipedons* enterrados pela continuidade lateral. Em lâminas delgadas, a matéria orgânica de um *sombric horizon* aparece mais concentrada sobre os *peds* ou em poros do que uniformemente disperso pela matriz.

Sombric horizon (Soil Survey Staff, 2014)

O *sombric* (F. *sombre*, escuro) *horizon* é um horizonte subsuperficial dos solos minerais formados sob uma drenagem livre, e contém húmus iluvial que não está associado ao alumínio, como é o húmus no *spodic horizon*, nem está disperso pelo sódio, como é comum no *natric horizon*. Consequentemente, o *sombric horizon* não tem a capacidade de troca de cátions elevada que é característica do *spodic*

horizon relativa ao teor da argila, e não tem a saturação por bases elevada que é característica do *natric horizon*. Não está subjacente a um *albic horizon*.

Acredita-se que o *sombric horizon* está restrito aos solos frios e úmidos das montanhas e planaltos elevados das regiões tropicais ou subtropicais. Em razão da lixiviação forte, a saturação por bases é baixa ($< 50\% \text{NH}_4\text{OAc.}$).

O *sombric horizon* tem um valor ou croma, ou ambos, inferior(es) em relação ao horizonte sobrejacente e comumente contém mais matéria orgânica. O *sombric horizon* pode ter sido formado em um *argillic horizon*, *cambic horizon*, ou *oxic horizon*. Se os *peds* estão presentes, as cores escuras são mais pronunciadas sobre a superfície dos *peds*.

Um *sombric horizon* é facilmente confundido no campo com um horizonte A soterrado, podendo ser diferenciado de alguns *epipedons* enterrados pela continuidade lateral. Em lâminas delgadas, a matéria orgânica de um *sombric horizon* aparece mais concentrada sobre os *peds* ou em poros do que uniformemente dispersa pela matriz.

ANEXO R — Critério de enquadramento do carácter sômbrico da edição de número 3 do SiBCS. Texto original.

Santos et al. (2013)

É característica ocorrente em certos horizontes subsuperficiais, transicionais ou principais (AB, BA ou B) de solos minerais de drenagem livre e dessaturados, nos quais haja evidência de acumulação de húmus que não atenda à definição de horizonte espódico e tampouco tenha características que indiquem tratar-se de horizonte A enterrado, devendo atender a todos os seguintes critérios:

- a) Apresentar 10 cm ou mais de espessura;
- b) Não possuir, no seu limite superior, um horizonte eluvial E;
- c) Não atender ao conjunto de características exigidas para horizonte espódico;
- d) Apresentar o(s) horizonte(s) subsuperficial(is) escuro(s) em continuidade lateral nos vários segmentos da paisagem, indicando origem pedogenética e descartando a possibilidade de ser um horizonte A enterrado;
- e) Apresentar valores e cromas, nos estados seco e/ou úmido, mais baixos do que os do horizonte sobrejacente;
- f) Ter saturação por bases inferior a 50%; e
- g) Possuir evidências de acumulação de húmus iluvial, seja pela presença de *cutans* preferencialmente depositados na superfície dos *peds* ou nos poros (mais do que uniformemente disseminados na matriz), seja pelo conteúdo maior de carbono em relação ao horizonte imediatamente sobrejacente.