

Mineralogia da fração argila e suas relações com o comportamento dos solos da 1ª Reunião de correlação e classificação de solos e vegetação fluvial (RCCSVF)⁽¹⁾

Alberto Vasconcellos Inda^(2,6), Gustavo Ribas Curcio⁽³⁾, João Bosco Vasconcellos Gomes⁽³⁾, Sérgio Henrique Godinho Silva⁽⁴⁾, Julia Pinzon Backes⁽⁵⁾, Nicholas Harb Bizzi⁽⁵⁾ e Nilton Curi⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho realizado com apoio financeiro da Embrapa, Governo do Estado do Paraná e Itaipu Binacional ⁽²⁾ Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. ⁽³⁾ Pesquisadores, Embrapa Florestas, Colombo, PR. ⁽⁴⁾ Professores, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. ⁽⁵⁾ Estudantes de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. ⁽⁶⁾ alberto.inda@ufrgs.br

Introdução

Em comparação com solos de regiões temperadas, a mineralogia da fração argila dos principais solos brasileiros na região tropical é reconhecidamente mais simples, em função principalmente das temperaturas mais altas nos trópicos, propiciando grau mais elevado de intemperismo-lixiviação e consequente maior concentração residual de minerais mais resistentes em comparação aos minerais mais facilmente intemperizáveis.

Nesses solos, a fração argila é constituída predominantemente por diferentes proporções de argilominerais do tipo 1:1 (caulinita), óxidos de alumínio (gibbsita), óxidos de ferro (goethita, hematita, maghemita, ferrihidrita), óxidos de silício (quartzo) e argilominerais do tipo 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas (2:1HE) (Kämpf; Curi, 2003; Schaefer et al., 2008; Kämpf et al., 2012; Oliveira et al., 2020).

Em função disso, as relações de causa e efeito envolvendo a mineralogia da fração argila e o comportamento químico e físico dos solos brasileiros são mais fáceis de serem compreendidas e extrapoladas para condições similares.

Vale a pena destacar as associações dessa mineralogia da fração argila, dependendo principalmente do balanço entre filossilicatos e óxidos de ferro e alumínio, com a estrutura dos principais solos brasileiros, o que vai ser somado ao teor de argila da fração terra fina, de extrema importância aos aspectos tais como dinâmica de C orgânico, retenção de água, consistência seca e úmida, além dos aspectos associados à quantidade e qualidade de cargas e disponibilidade de nutrientes do solo.

Nos solos mais intemperizados, com predomínio de caulinita sobre a gibbsita, o ajuste face a face das placas de caulinita favorece a formação da estrutura em blocos (Resende, 1985; Resende et al., 1992; Ferreira et al., 1999a). Nos solos com maior presença de gibbsita, em forma de cunha, o ajuste face a face é dificultado, favorecendo a formação da estrutura granular, de elevada estabilidade, no horizonte B (Resende et al., 2014), constituindo uma feição única em solos brasileiros, particularmente naqueles mais desenvolvidos e de textura argilosa e muito argilosa, em comparação aos solos de regiões temperadas, prevalentemente com estrutura em blocos nos horizontes subsuperficiais.

Nos solos com estrutura granular verificam-se maiores proporções de macroporos, condição que favorece as baixas densidades, além de dar suporte a outros comportamentos desejáveis aos solos agrícolas, tais como a elevada conexão de poros menos tortuosos, que são responsáveis pela maior infiltração de água (Ferreira et al., 1999a, 1999b).. Consequentemente, registram-se comportamentos de maior resistência dos solos à erosão laminar, mas não a erosão em sulcos, bem como amplia-se o potencial de recarga de aquíferos.

Nos solos com estrutura em blocos, os agregados pequenos tendem a se aglutinar em agregados maiores (Lima, 1988), o que aumenta a densidade do solo e a microporosidade, onde os macroporos são mais descontínuos e tortuosos, e a infiltração de água tende a ser menor (Ferreira et al., 1999b). Nessa situação, a resistência à erosão laminar é menor e a erosão em sulcos é maior, e o potencial de recarga de aquíferos é menor.

Dentro desta premissa, este capítulo objetiva realçar as relações existentes entre a mineralogia da fração argila e o comportamento dos solos contemplados pela *1ª Reunião de correlação e classificação de solos e vegetação fluvial* (RCCSVF), com ênfase na explicação e no entendimento dos resultados obtidos.

Pedossequências selecionadas



Figura 1. Pedossequência 1 – Representação da Província Convexada constituída por rochas eruptivas do Grupo Serra Geral, Formação Paranapanema, Subplano Cascavel, com altitudes entre 625 e 500 m, superfície mais antiga: Pedons P2 e P3.

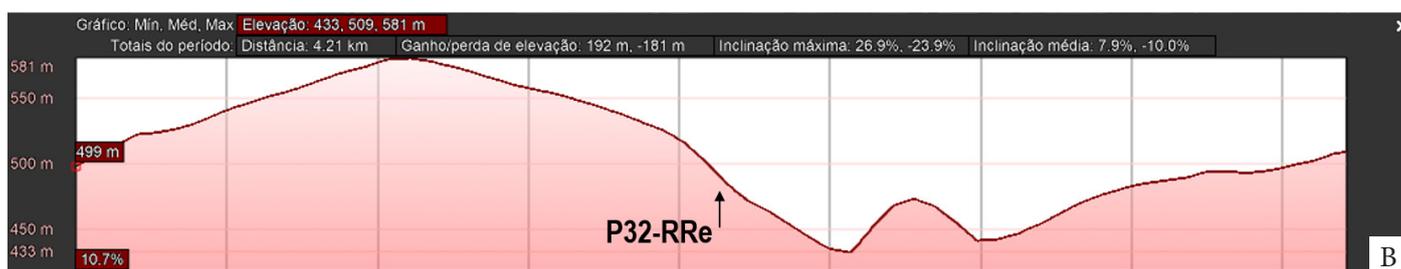


Figura 2. Pedossequência 2 – Representação da Província Patamarizada constituída por rochas eruptivas do Grupo Serra Geral, Formação Pitanga, Subplano São Francisco, com altitudes entre 505 e 350 m, superfície rejuvenescida: (A) Pedons P55, P56 e (B) P32.

As pedossequências estudadas foram selecionadas como representantes dos principais ambientes de solos e vegetação distribuídos na Bacia Hidrográfica Paraná III, onde acontece a *1ª RCCSVF* (Figuras 1 a 5).

As amostras de solos coletadas foram submetidas à separação granulométrica, e a fração argila foi selecionada para análises de difratometria de raios X (DRX) e de suscetibilidade magnética (SM).

Para as análises por DRX, as amostras de argila foram maceradas em um almofariz de ágata e posteriormente passadas por uma peneira com malha de 0,25 mm. Lâminas com material sem orientação (em pó) foram analisadas com um difratômetro Bruker D2 Phaser (radiação Cu K α e filtro de Ni, detector LynxEye® e slit primário com abertura de 0,3 mm), em que a irradiação variou de 4 a 50 $\circ 2\theta$ a 0,02 $\circ 2\theta$ s $^{-1}$. A posição das reflexões nos difratogramas e as áreas relativas das reflexões de cada mineral foram obtidas utilizando-se o programa DifracPlus EVA. A identificação dos minerais foi baseada nos parâmetros mineralógicos constantes em Brindley e Brown (1980). Os minerais na fração argila foram semiquantificados com base na área relativa da principal reflexão de cada mineral (p.ex. ARcaulinita), em relação à soma das áreas dos principais minerais presentes nos solos estudados (ATARcaulinita + ARGibbsita + ARquartzo + ARmaghemita + ARhematita+goethita), denominada área total (Oliveira et al., 2020).

A suscetibilidade magnética (SM) das frações areia e argila foi determinada em baixa (SM_{BF}) em magnetômetro Bartington com sensor de frequência dual (Sistema MS2), conforme Dearing (1999).

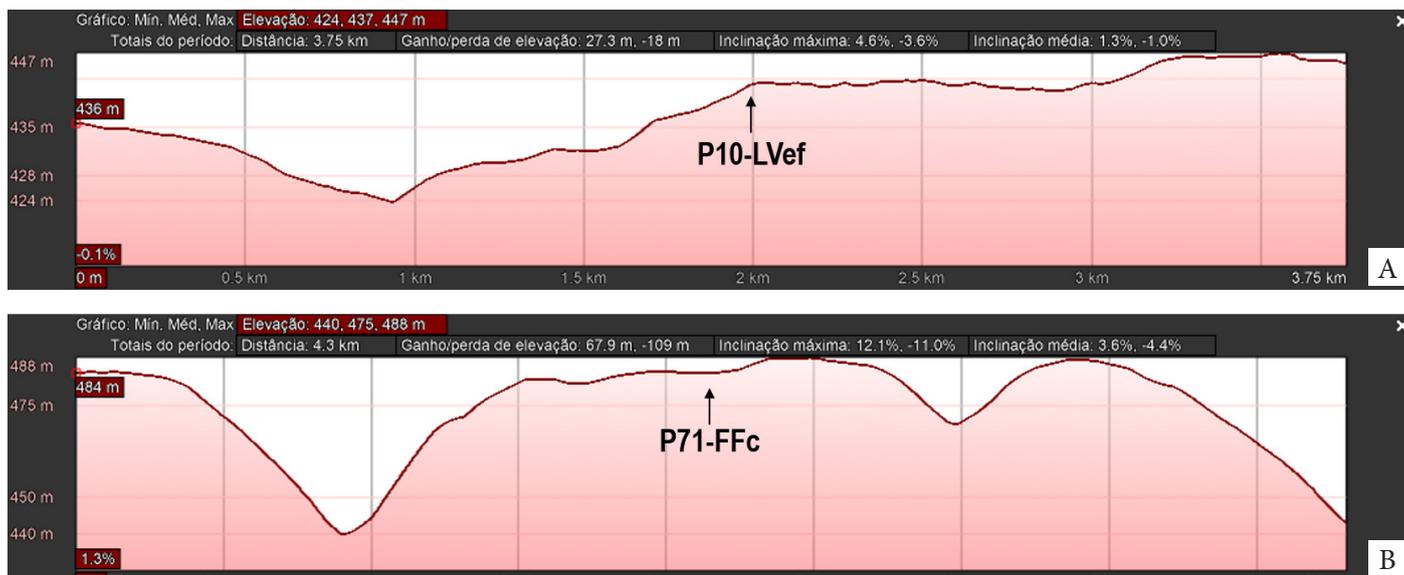


Figura 3. Pedossequência 3 – Representação da Província Convexada constituída por rochas eruptivas da Formação Paranapanema, Subplanalto Cascavel, com altitudes entre 485 e 400 m, superfície planar próxima de divisor de água das BHP III e BHP: (A) Pedons P10 e (B) P71.

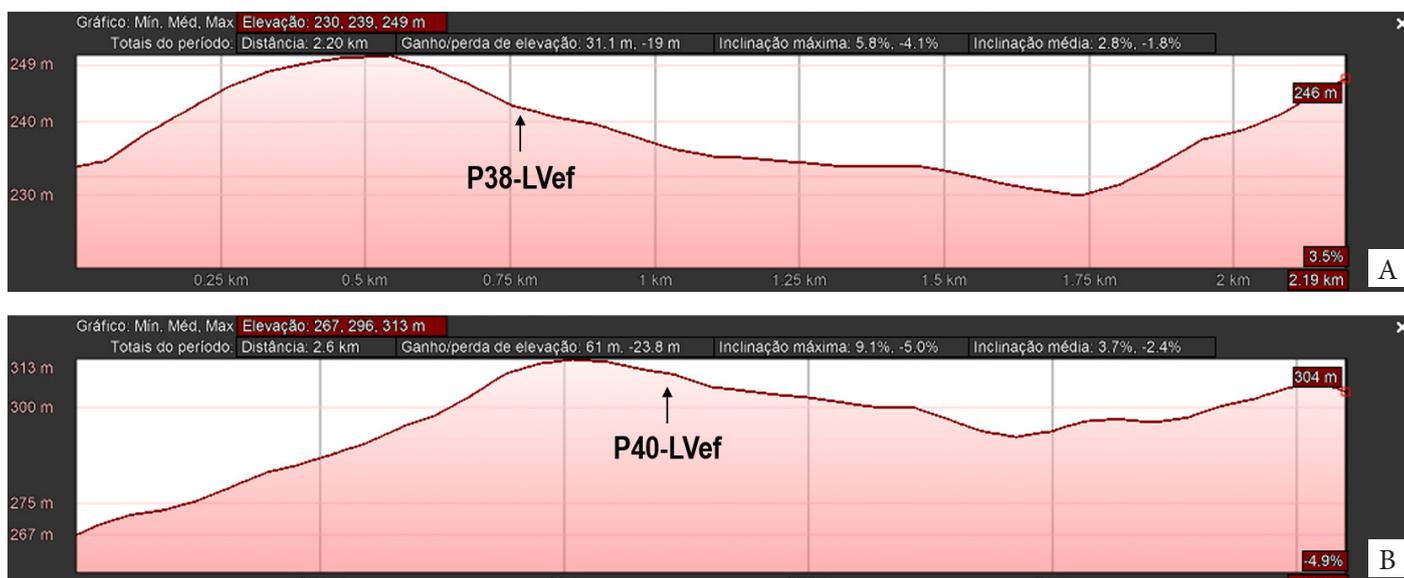


Figura 4. Representação da Província Convexada constituída por rochas eruptivas, Formação Paranapanema, com as altitudes mais baixas de toda a BHP III (menos de 300 m). (São as paisagens mais próximas do reservatório da Itaipu. Estes perfis de solos não serão visitados no campo, por ficarem distantes do percurso planejado) (A) Pedons P38 e (B) P40.



Figura 5. Pedossequência 4 – Representação da Província Convexada constituída por arenitos do Grupo Caiuá, Subplanalto Umuarama, com altitudes entre 340 e 285 m; Pedons P47 e P48.

Pedossequência 1

A pedossequência 1 apresenta dois perfis de solos de encosta, P2 – Latossolo Vermelho e P3 – Nitosolo Vermelho (Tabela 1 e Figura 6). Está localizada na Província Convexada derivada de rochas eruptivas

básicas e fazendo parte dos ambientes de maior altitude da Bacia Hidrográfica Paraná III (vide artigo *Provincias geomorfológicas da área foco da 1ª RCCSVF: características e funcionalidades*).

Tabela 1. Dados pedoambientais, estrutura dos solos e valores de suscetibilidade magnética (SM) dos pedons P2 (Latosolo Vermelho) e P3 (Nitossolo Vermelho) da pedossequência 1.

Perfil/ Horiz.	Altitude (m)	Declividade (%)	Estrutura do solo	SM areia $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	SM argila $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
P2-Ap11	625	1	moderada e forte pequena e muito pequena granular	629	782
P2-Bw2					
P3-Ap11	565	12	fraca grande blocos subangulares se desfaz em forte pequena granular	1048	974
P3-Bt2					

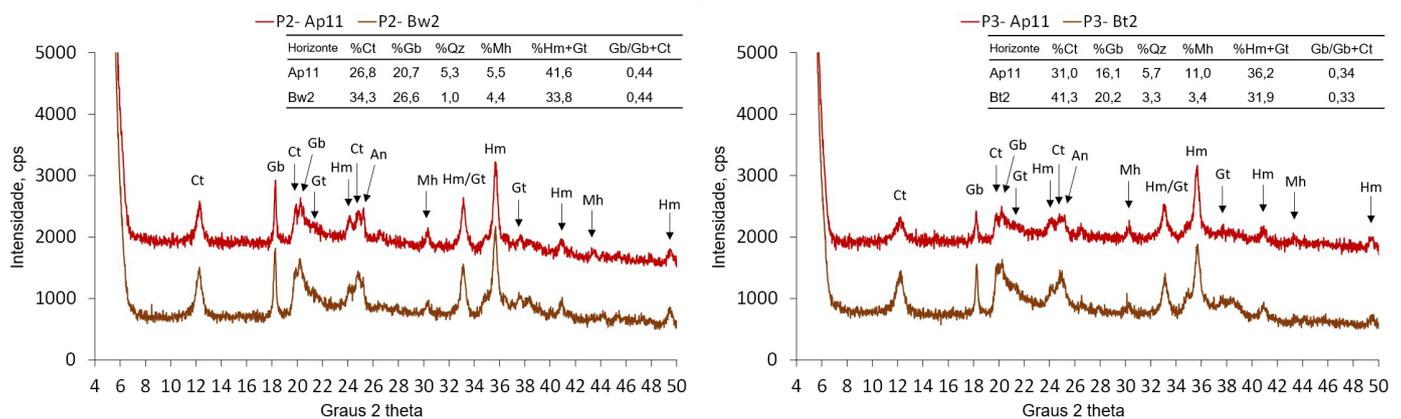


Figura 6. Resultados de difratometria de raios x dos Pedons P2 (Latosolo Vermelho) e P3 (Nitossolo Vermelho) da pedossequência 1. Ct-caulinita; Gb-gibbsita; Qz-quartzo; Mh-maghemita; Hm-hematita; Gt-goethita; An-anatásio.

Nesta superfície geomórfica mais antiga, chama a atenção a estrutura granular do horizonte Bw do pedon P2 (Latosolo Vermelho Distroférico retrático) em comparação à estrutura intermediária entre blocos e granular do horizonte Bt do pedon P3 (Nitossolo Vermelho eutroférico retrático). A maior proporção de Gb (gibbsita) do horizonte Bw em P2, em relação ao horizonte Bt em P3, explica em parte a estrutura granular bem desenvolvida do LV e parcialmente bloqueada no NV, com reflexos diretos para maior infiltração de água, portanto, apresentando menor vulnerabilidade à erosão hídrica (também influenciada pelo relevo mais suave) e maior potencial de recarga de aquíferos.

O Latossolo Vermelho é mais resistente à erosão laminar por apresentar, originalmente, elevada taxa de infiltração de água, porém, sua baixa coesão torna-o vulnerável à erosão em sulcos. Essa situação requer a adoção de práticas sustentáveis de conservação do solo e, destacadamente, da água, como o terraceamento em nível, associado ao sistema de plantio direto na palha, além de incluir um planejamento de rotação de culturas que incorporem raízes em abundância e em maior profundidade, tal como aveia-branca (*Avena sativa* L.).

A proporção ligeiramente mais elevada de maghemita (Mh) no horizonte Bw em P2 está condizente com seu valor um pouco mais elevado de SM quando comparado ao horizonte Bt em P3.

A proporção ligeiramente mais elevada de hematita (Hm) + goethita (Gt) no horizonte Bw em P2, além dos seus valores mais elevados da razão Gb/(Gb+Ct), podem ser explicados pelo seu grau de intemperismo-lixiviação mais elevado, favorecido pelo relevo mais suavizado, condicionando maior tempo de exposição das suas partículas aos agentes bioclimáticos, quando comparado ao horizonte Bt em P3. A maior fertilidade natural neste último caso é consequência disto (caráter eutrófico) quando comparado ao caráter distrófico do Latossolo, condições especificadas na classificação destes solos no 3º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS).

A prevalência da hematita, subordinadamente maghemita, encontra-se consonante às condições de drenagem – acentuadamente drenado – fato reflexo em sua cor vermelha (2,5YR 3/5).

Pedosequência 2

A pedosequência 2 é formada pelos Pedons P55 – Luvisolo Crômico, P56 – Luvisolo Ebânico e P32 – Neossolo Regolítico, e está localizada na Província Patamarizada associada a rochas eruptivas básicas. Os resultados para estes perfis podem ser vistos na Tabela 2 e na Figura 7.

A superfície patamarizada apresenta solos menos desenvolvidos (mais jovens) em relevos muito movimentados que retratam alto grau de dissecação.

A ausência de Gb nos DRXs confirma tratar-se de solos mais jovens, uma vez que ela tende a se concentrar nos solos mais velhos, mais intemperizados. Essa ausência também é coerente com a estrutura em blocos do horizonte Bt dos dois Luvisolos, a qual está mais associada à caulinita e aos minerais de argila 2:1, cuja identificação no difratogramas pode ter sido dificultada devido a análise ter sido realizada em material sem orientação. Saliente-se que as maiores capacidades de troca catiônica registrada em RR e RL (vide artigo *Solos da Bacia Hidrografia Paraná III e parte da Bacia Hidrográfica Piquiri*), assim como TC e TE, decorrem das características físico-químicas desses argilominerais 2:1.

Tabela 2. Dados pedoambientais, estrutura dos solos e valores de suscetibilidade magnética (SM) dos Pedons P55 (Luvisolo Crômico), P56 (Luvisolo Ebânico) e P32 (Neossolo Regolítico).

Perfil/ Horiz.	Altitude (m)	Declividade (%)	Estrutura do solo	SM areia $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	SM argila $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
P55-Ap	505	22	moderada pequena e média blocos subangulares se desfaz em moderada pequena granular	997	294
P55-Bt2			forte média e grande blocos subangulares e forte pequena blocos angulares	102	132
P56-Ap11	350	9	moderada pequena granular e moderada pequena blocos subangulares	113	41
P56-Bt2			forte grande e muito grande blocos angulares e subangulares	243	28
P32-Ap11	480	25	moderada e forte pequena granular	435	339

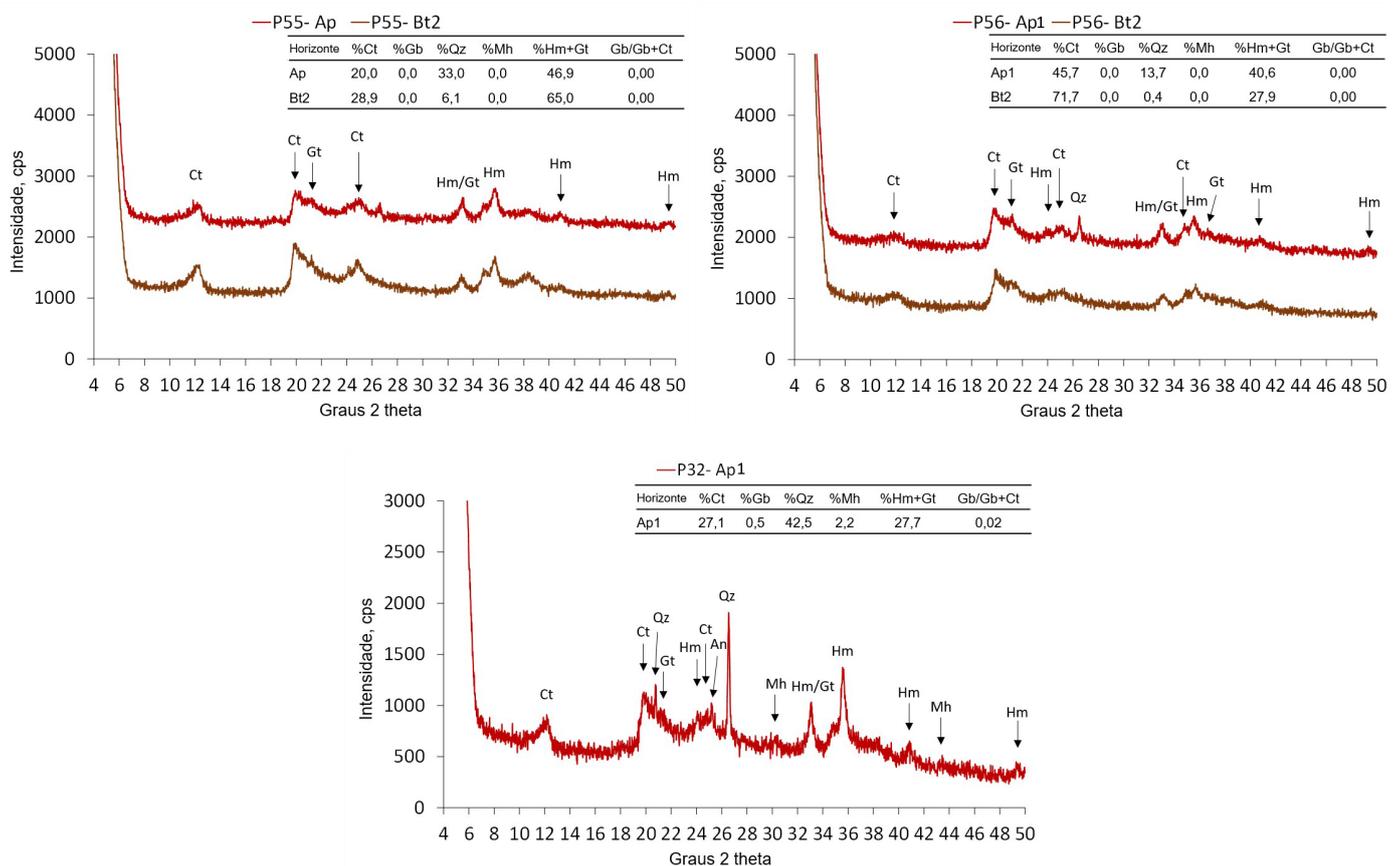


Figura 7. Resultados de difratometria de raios x dos Pedons P55 (Luvisolo Crômico), P56 (Luvisolo Ebânico) e P32 (Neossolo Regolítico) da pedosequência 2. Ct-caulinita; Gb-gibbsita; Qz-quartzo; Mh-maghemita; Hm-hematita; Gt-goethita; An-anatásio.

Esta estrutura em blocos infere a possibilidade de se deparar com menores taxas de infiltração de água, favorecendo a erosão laminar e, contrariamente, diminuindo o potencial de recarga de aquíferos. Nesse sentido, é importante citar a conjunção de efeitos mineralógicos e morfológicos — menores espessuras — sobre a recarga hidrológica de freático (vide artigo *Potencial de recarga hidrológica em duas pedossequências da Bacia Hidrográfica Paraná III*). Portanto, necessita-se de cuidados redobrados nas práticas de conservação do solo e, particularmente da água, com destaque para o terraceamento em gradiente e o sistema de plantio direto para garantir maior eficácia das funcionalidades dos solos nas paisagens.

Os valores relativamente mais elevados de SM no pedon P32 em relação ao horizonte Bt dos perfis P55 e P56 encontram respaldo nas maiores proporções de Mh (metaestável em relação à Hm e Gt), consequência do menor grau de intemperismo-lixiviação daquele, além de indicar o baixo acúmulo de água presente nesse pedossistema, fato inerente do substrato rochoso ser altamente fraturado (fuga hídrica para aquífero), combinado com os relevos movimentados de ocorrência (alto deflúvio).

No tocante aos dois Luvisolos, chamam atenção as proporções bem mais elevadas de Hm+Gt em P55 em comparação com P56. A posição no terço inferior de encosta, mais especificamente em rampa coluvionar basal (vide artigo *Províncias geomorfológicas da área foco da 1ª RCCSVF: características e funcionalidades*) em associação à menor declividade, indica a possibilidade da ocorrência de processos redoximórficos sazonais no P56 (Kämpf; Curi, 2000), reduzindo formas de Fe(III) para Fe(II) e removendo parte destes minerais de óxidos de Fe do solo. Essa hipótese é reforçada pelos menores valores de SM da fração argila no P56 em relação ao P55.

Ao mesmo tempo, a posição de terço inferior de encosta do P56 e o seu relevo relativamente menos declivoso (9%) em relação aos terços médio e superior da encosta, permitem que os solos locais recebam grande volume de íons e argila (fração dispersa e mais fina) de posições à montante, com parte da argila conseguindo se estabelecer localmente na forma de filmes (cutãs) que se localizam entre pedos dos volumes dos horizontes Bt do Luvisolo local. Ainda mais, eles se apresentam escurecidos, mostrando marcante conteúdo de óxidos de manganês (comprovado no campo pela efervescência dos materiais de solo em água oxigenada), manganês que foi remobilizado de posições à montante, sendo que a mesma lógica serve para os óxidos de ferro também presentes nestes cutãs.

A estrutura granular no horizonte A do pedon P32 (Neossolo Regolítico) está associada ao seu teor mais elevado de matéria orgânica (MO) e elevada fertilidade, expressa no terceiro nível categórico do SiBCS, sendo relacionada à maior reserva em nutrientes da rocha eruptiva básica e ao menor grau de intemperismo-lixiviação do solo.

Pedossequência 3

Os solos representativos da pedossequência 3 (Pedons P10 e P71) estão localizados na Província Convexada associada às rochas eruptivas básicas, próxima do divisor de águas das Bacias Hidrográficas Paraná III e Piquiri. Os resultados constam na Tabela 3 e na Figura 8.

O pedon P10 (Latossolo Vermelho Eutrófico) tem estrutura granular, apesar das baixas proporções de Gb, talvez relacionada, neste caso, às proporções mais elevadas de Hm+Gt e de Mh. A estrutura granular nos Latossolos é favorecida por Gb, óxidos de ferro e MO, nesta ordem (Resende et al., 2011, 2014). A superfície mais rejuvenescida desses Latossolos, em altitudes inferiores àquelas da pedossequência 1, ajudam a explicar as menores proporções de Gb em P10. O caráter eutrófico, expresso no 3º nível categórico do SiBCS, corrobora o menor grau de intemperismo-lixiviação em P10 relativamente ao perfil P2, da pedossequência 1.

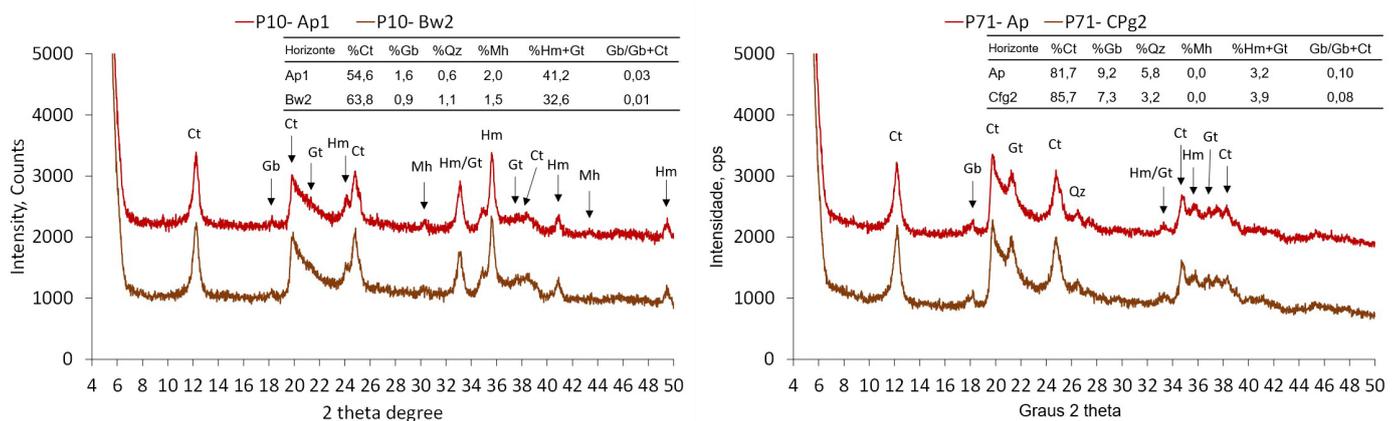
As proporções de Mh ajudam a explicar os valores de SM, fato esperado para Latossolos derivados de rochas eruptivas básicas que, em função de suas estruturas granulares muito desenvolvidas, suportam as excelentes condições de drenagem desses volumes.

Os comentários feitos em relação às implicações da estrutura granular no comportamento do perfil P2 aplicam-se aqui ao perfil P10.

Tabela 3. Dados pedoambientais, estrutura dos solos e valores de suscetibilidade magnética (SM) dos Pedons P10 (Latossolo Vermelho Eutroférico) e P71 (Plintossolo Pétrico) da pedossequência 3.

Perfil/ Horiz.	Altitude (m)	Declividade (%)	Estrutura do solo	SM areia $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	SM argila $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
P10-Ap11	440	1	moderada e forte pequena granular	351	433
P10-Bw2			forte pequena e muito pequena granular	328	353
P71-Ap	485	1	moderada pequena granular e moderada média blocos subangulares	36	11
P71-Cfg2			moderada e fraca grande e muito grande blocos subangulares	34	4

O perfil P71 (Plintossolo Pétrico), com drenagem imperfeita, expressa pelo caráter gleissólico no 4º nível

**Figura 8.** Resultados de difratometria de raios x dos Pedons P10 (Latossolo Vermelho Eutroférico) e P71 (Plintossolo Pétrico) da pedossequência 3. Ca-caulinita; Gb-gibbsita; Qz-quartzo; Mh-maghemita; Hm-hematita; Gt-goethita; An-anatásio.

categórico do SiBCS, traz reflexões importantes, particularmente no tocante à dinâmica da água no solo em ambientes áquicos tais como são os relevos doliniformes. A drenagem imperfeita em relevo doliniforme (depressão fechada) propicia processos redoximórficos, com consequente desestabilização dos óxidos de ferro e sua parcial remoção do sistema e, ou formação de segregações ferruginosas pétricas (petroplintitas). Esta remoção só não foi mais intensa devido aos teores originais mais elevados de Fe no solo, uma herança da rocha eruptiva básica.

Para que o ferro seja removido do solo em solução ele precisa ser reduzido (passar a Fe(II)) para, em seguida, ser removido. O Fe(III) é um oxidante, apto a receber os elétrons; onde existe muito Fe(III) torna-se difícil a presença de altos teores de Fe(II), pois os elétrons são recebidos com facilidade. Parece ocorrer um processo contínuo de troca de elétrons entre Fe(II) e Fe(III), não permitindo que o mesmo átomo se mantenha reduzido por muito tempo (Resende et al., 2014). Isso ajuda a explicar porque esse Plintossolo Pétrico, mesmo sendo submetido ao encharcamento, permaneça ainda com Hm (muito pouca) e Gt. A maior substituição isomórfica de Fe^{3+} por Al^{3+} na estrutura da Gt explica sua maior estabilidade termodinâmica em comparação à Hm em condições de encharcamento (Kämpf et al., 2012), uma vez que o Al^{3+} não se reduz.

Mh não foi detectada, condição esperada em pedossistemas áquicos, em consonância com o baixíssimo valor de SM nos horizontes do pedon P71.

As implicações ambientais decorrentes do manejo incorreto deste Plintossolo Pétrico são importantes. A drenagem excessiva destas áreas pode causar endurecimento irreversível da plintita, transformando-a em petroplintita, o que diminui ainda mais a profundidade efetiva deste solo no período seco. Caso a aplicação de agroquímicos atinja o lençol freático, o dano ao ambiente por contaminantes será enorme.

Dentro desse contexto, a sugestão é que estas áreas, que podem atingir abaciados de 12 hectares ou mais, sejam mantidas como Áreas de Preservação Permanente (APPs), a fim de se evitar riscos de danos ambientais. Áreas doliniformes (pseudo-dolinas) da Formação Barreiras nos Tabuleiros Costeiros brasileiros têm sido mantidas como tal (Curi; Ker, 2004).

Pedons P38 e P40 – perfis de solos não incluídos no roteiro do evento

Os pedons P38 (Latosolo Vermelho Eutroférico) e P40 (Latosolo Vermelho Eutroférico) também se localizam na Província Convexada e têm sua origem vinculada às rochas eruptivas, porém em altitudes mais baixas (próximas de 300 m) dentro da Bacia Hidrográfica Paraná III, constituindo as paisagens mais próximas ao reservatório de Itaipu. Embora não façam parte da 1ª RCCSVF, foram aqui incluídos para referência, e serão abordados a seguir. Os dados dos pedons P38 e P40 são mostrados na Tabela 4 e na Figura 9.

Tabela 4. Dados pedoambientais, estrutura dos solos e valores de suscetibilidade magnética (SM) dos Pedons P38 (Latosolo Vermelho Eutroférico) e P40 (Latosolo Vermelho Eutroférico).

Perfil/ Horiz.	Altitude (m)	Declividade (%)	Estrutura do solo	SM areia $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	SM argila $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
P38-Ap	285	1	fraca grande blocos subangulares se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular	639	344
P38-Bw2			fraca muito grande e grande blocos subangulares se desfaz em forte pequena e muito pequena granular	708	387
P40-Ap	310	1	moderada grande e média blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena blocos subangulares	325	470
P40-Bw2			moderada grande e média blocos subangulares se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular	373	397

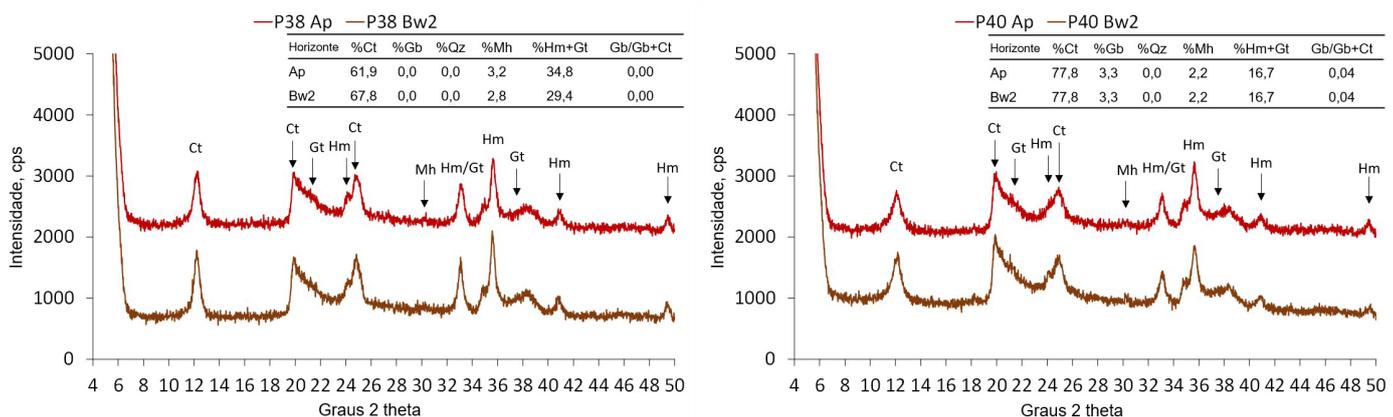


Figura 9. Resultados de difratometria de raios x dos Pedons P38 (Latosolo Vermelho Eutroférico) e P40 (Latosolo Vermelho Eutroférico). Ct-caulinita; Gb-gibbsita; Qz-quartzo; Mh-maghemita; Hm-hematita; Gt-goethita; An-anatásio.

A estrutura granular em P38 comparada à estrutura em blocos em P40, ambos classificados como Latossolos Vermelhos Eutroféricos, está relacionada às maiores proporções de Mh e de Hm+Gt no P38.

Explica este comportamento diferenciado o subgrupo subespesso do P40, caracterizando-se como um Latossolo fora do conceito central da Ordem, menos desenvolvido.

A ausência de Gb e o caráter eutrófico desses solos, expresso no 3º nível categórico do SiBCS, podem ser explicados pelo menor tempo de exposição das partículas desses solos aos agentes bioclimáticos (Rezende et al., 2022). Reflexo disso é o predomínio da estrutura em blocos desses Latossolos em comparação com a estrutura granular dos Latossolos de maiores altitudes. Em outras palavras, somente após a remoção do pacote de material alterado situado acima deles é que foram efetivamente iniciados os processos de intemperismo-lixiviação. A presença de Mh na fração argila desses solos ajuda a explicar seus valores de SM.

Pedossequência 4

Os dados dos solos representativos da pedossequência 4 (Pedons P47 e P48), localizados em Província Convexada e derivados de rocha sedimentar arenito, com altitudes entre 340 m e 285 m (Subplanalto Umuarama), são apresentados na Tabela 5 e na Figura 10.

As diferenças de drenagem, condicionadas pelo relevo, sendo mais intensa no pedon P47 (Argissolo Vermelho-Amarelo) e imperfeita (restringida) no pedon 48 (Plintossolo Argilúvico), constituem atributos diferenciais importantes em termos pedoambientais.

Tabela 5. Dados pedoambientais, estrutura dos solos e valores de suscetibilidade magnética (SM) dos Pedons P47 e P48 da pedossequência 4.

Perfil/ Horiz.	Altitude (m)	Declividade (%)	Estrutura do solo	SM areia $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	SM argila $\times 10^{-7} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
P47-Ap	330	5	fraca grande e média blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular	nd	20
P47-Bt2			fraca muito grande e grande blocos subangulares se desfaz em moderada e fraca pequena e muito pequena granular	nd	67
P48-Ap	285	14	fraca grande e média blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular	nd	52
P48-Bf			fraca muito grande prismática	nd	3
P48-Bfg2			moderada e fraca muito grande prismática	nd	1

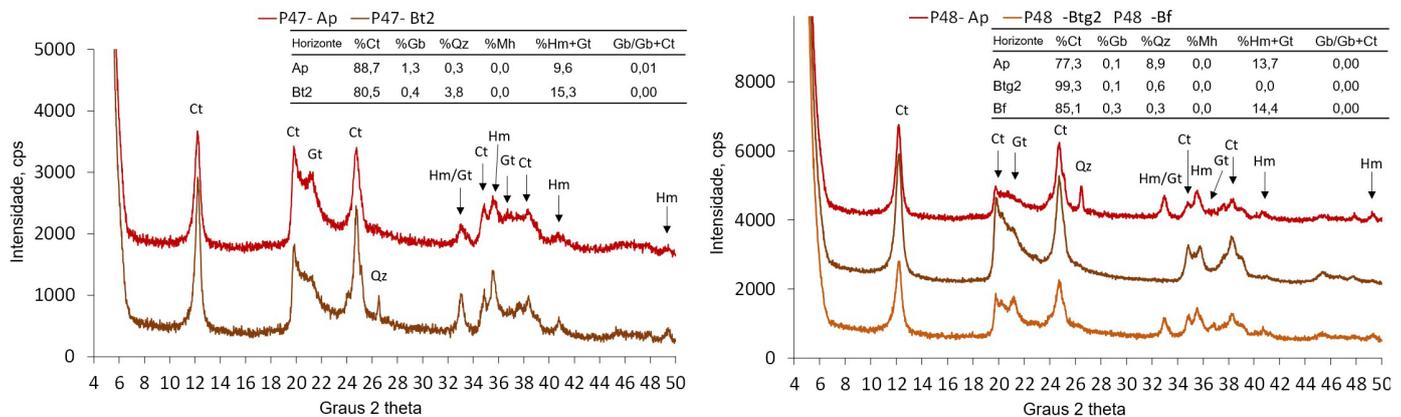


Figura 10. Resultados de difratometria de raios x dos Pedons P47 e P48 da pedossequência 4. Ct-caulinita; Gb-gibbsita; Qz-quartzo; Mh-maghemita; Hm-hematita; Gt-goethita; An-anatásio.

Ambos solos são essencialmente cauliniticos. A liberação de sílica em solução, a partir das partículas mais finas e reativas de quartzo (Silva et al., 2023), tende a inibir a formação de Gb (Resende et al., 2021), face à recombinação de óxidos neoformando os argilominerais cauliniticos. No que diz respeito ao pedon P48, o posicionamento do solo em terço inferior, portanto, sujeito à oscilação do lençol freático, também ajuda a explicar o porquê de não ser alcançado o estágio gibbsítico (Santos et al., 2023).

Os valores nulos de Mh e de Hm+Gt no horizonte Bfg2 do pedon P48 são devidos às condições redoximórficas registradas em solos posicionados nas porções inferiores da encosta, causando desestabilização e remoção total de formas de Fe(III), facilitadas pelos baixos teores de Fe no arenito e neste solo (Kämpf; Curi, 2000; Resende et al., 2011, 2014). Em comparação ao pedon P71, na pedossequência 3, também classificado como Plintossolo, as proporções remanescentes de Hm+Gt daquele solo são devidos aos valores mais elevados de Fe no basalto e naquele solo, dificultando a remoção completa destes minerais de óxidos de Fe do sistema (Resende et al., 2014).

Os baixos valores de SM, particularmente no perfil P48, estão relacionados aos teores nulos de Mh, condição totalmente dessemelhante e antagônica quando comparados aos Latossolos derivados de rochas máficas.

No tocante ao pedon P47, a vulnerabilidade à erosão hídrica, favorecido por sua posição de paisagem próximo à cabeceira de drenagem, a despeito de minimizado pelo relevo suave ondulado, deve ser levada em consideração, devido à textura arenosa superficial com proporções inferiores a 10% de Hm+Gt e situar-se logo acima da textura média subsuperficial no perfil do solo. Isto favorece fluxos superficiais (enxurradas) e subsuperficiais (laterais) de água no perfil do solo (Curi et al., 2022), requerendo cuidados especiais no controle dos processos erosivos, minimizando as perdas de produtividade e de área plantada, e a contaminação dos cursos d'água.

Considerações finais

Os solos derivados das rochas eruptivas básicas constituem meios agrícolas e ambientais muito distintos dos solos derivados do arenito. A mineralogia da fração argila e o comportamento dos solos expressam nitidamente essas tendências. Na primeira condição, de forma geral, os solos são mais gibbsíticos e contém maiores concentrações de minerais de óxidos de Fe, resultando em maior potencial agrícola, maior resistência à erosão hídrica, maior valor agregado da terra e maior potencial de recarga de aquíferos.

No ambiente sob influência das eruptivas básicas, as pedossequências convexadas de cotas mais baixas (maior proximidade do reservatório da Itaipu), relativamente as de maior altitude (Subplanalto de Cascavel), apresentam Latossolos menos gibbsíticos e mais caulíníficos, têm estrutura mais diferenciada da granular, menor infiltração de água e menor potencial de recarga de aquíferos. A variação dos minerais de óxidos de Fe neste mesmo sentido foi mais evidente nos teores decrescentes de Mh, um mineral de argila metaestável em comparação à Hm e Gt (Kämpf; Curi, 2000). A fertilidade natural do solo, expressa pelo caráter eutrófico dos solos, tendeu a aumentar com a diminuição da altitude.

A explicação geral destas tendências esperadas e aqui confirmadas no tocante às pedossequências convexadas derivadas de eruptivas básicas, está associada ao decréscimo do tempo de exposição das partículas do solo aos agentes bioclimáticos como consequência dos solos que se encontram em cotas altimétricas mais baixas. Deve ser ressaltado que, mesmo as temperaturas mais elevadas nas altitudes inferiores, não superaram a capacidade de variação dessas tendências.

A posição do solo na paisagem também revelou importância fundamental dentro de cada pedossequência, conferindo condições ambientais diferenciadas no tocante à melhor drenagem nas partes mais elevadas e suavizadas, e à drenagem imperfeita (restringida) nas partes mais baixas e deprimidas (receptoras) da paisagem. A exceção digna de registro para esta importante constatação se refere à paisagem doliniforme expressa no perfil P71, na pedossequência 3, com relevantes informações em termos agrícolas e ambientais, particularmente nestes últimos, reforçando a sugestão dessas áreas serem incorporadas às APPs, visando a diminuição dos riscos de perda de produção das culturas e, sobretudo, de danos ao ambiente como um todo.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a associação entre a mineralogia da fração argila e o comportamento dos solos da 1ª RCCSVF, e apresentam uma substancial aplicação prática, em termos agrícolas e ambientais, decorrente do conhecimento técnico-científico e da experiência prática acumulada pelos pedólogos do Brasil.

Referências

- BRINDLEY, G. W. BROWN, G. **Crystal structures of clays minerals and their X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.
- CURI, N.; KER, J. C. **Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S.A. nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais e sua interpretação para o cultivo de eucalipto e para o ambiente em geral**. Lavras: UFLA; Viçosa, MG: UFV, 2004. 105 p.
- CURI, N.; SILVA, S. H. G.; INDA, A. V. Humid subtropical ecozone with emphasis on Acrisols and Alisols. In: BAEUMLER, R.; OLIVER, M. (org.). **Reference module in earth systems and environmental sciences**. Amsterdam: Elsevier, 2022.
- DEARING, J. **Environmental magnetic susceptibility: using the bartington MS2 system**. 2nd ed. Kenilworth: Chi Publishing, 1999.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 507-514, 1999a.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999b.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMAS, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p.1-54.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 107-138.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; TORRADO, P. V. (ed.). **Pedologia**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. v. 4. p. 81-145.

LIMA, P. C. Micromorfologia de "horizonte B" de Latossolos do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1984. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS/SBCS, 1988. p.391-411. (SNLCS Documentos, 12)

OLIVEIRA, J. S.; INDA, A. V.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; TIECHER, T.; CAMARGO, F. A. O. Soil properties governing phosphorus adsorption in soils of Southern Brazil. **Geoderma Regional**, e00318, v. 22, 2020.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, v. 11, p. 3-18, 1985.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J. L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais [...]**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 32-67.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. de. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2011. 201 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; POGGERE, G. C.; BARBOSA, J. Z.; POZZA, A. A. A.; TEIXEIRA, A. F. S. **Pedologia, fertilidade, água e planta: inter-relações e aplicações**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2021.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. 2014. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.

REZENDE, S. B. de; FRANZMEIER, D. P.; RESENDE, M.; MANCINI, M.; CURI, N. Pedogenic processes in a chronosequence of very deeply weathered soils in southeastern Brazil. **CATENA**, v. 215, p. 106362, 2022.

SANTOS, T. E. D.; GOMES, F. H.; MANCINI, M.; NÓBREGA, G. N.; AVANZI, J. C.; MARQUES, J. J.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; INDA, A. V.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. Detailed characterization of plinthic soils in Southern Mali, Sub-Saharan Africa, as a secure basis for specific soil management and food security. **CATENA**, v. 226, p. 107088, 2023.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, v. 43, p. 137-154, 2008.

SILVA, S. H. G.; RIBEIRO, D.; DIJAI, T. S. B.; SILVA, F. M.; TEIXEIRA, A. F. S.; ANDRADE, R. M.; MANCINI, M.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Different quartz varieties characterized by proximal sensing and their relation to soil attributes. **Minerals**, v. 13, p. 529, 2023.