

EVOLUÇÃO PEDOLÓGICA DE UMA SEQUÊNCIA DE SOLOS EM LONDRINA - PR

Pedological evolution of a sequence of soils in Londrina - PR

Tulio Roberto Pavelhão*

José Paulo Peccinini Pinese**

Francisco Carlos Mainardes da Silva***

Luís Guilherme Sachs****

***Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP**

Professor Adjunto do Centro de Ciências Biológicas / Campus Luiz Meneghel

Br 369, Km 54 – Bandeirantes, Paraná, Brasil – CEP: 86360-000

tulio@uenp.edu.br

****Universidade Estadual de Londrina - UEL**

Professor Associado do Departamento de Geociências

Rodovia Celso Garcia Cid (PR-445), Km 380 – Londrina, Paraná, Brasil – CEP: 86051-990 – Caixa Postal: 6001

pinese@uel.br

*****Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP**

Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias / Campus Luiz Meneghel

Br 369, Km 54 – Bandeirantes, Paraná, Brasil – CEP: 86360-000

fmsilva@uenp.edu.br

******Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP**

Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias / Campus Luiz Meneghel

Br 369, Km 54 – Bandeirantes, Paraná, Brasil – CEP: 86360-000

sachs@uenp.edu.br

RESUMO

Desde outubro do ano 2000, 42 famílias de trabalhadores rurais “sem terra” encontram-se assentados numa área de 465,84 ha denominada “Fazenda Akolá”, localizada no município de Londrina-PR. O presente estudo objetivou caracterizar a evolução pedológica numa topossequência para possibilitar inferências utilizáveis no seu manejo racional. Assim, foram escolhidos quatro perfis pedológicos, posicionados no topo do morro e nos terços superior, médio e inferior da vertente, respectivamente identificados por P1, P2, P3 e P4. Os óxidos de Si, Fe e Al foram determinados por ataque sulfúrico, os argilominerais foram identificados por difratometria de raios X e a os minerais da fração areia fina por microscopia óptica. A mineralogia da fração argila dos solos estudados revelou-se bastante similar, com predomínio de caulinita, seguido de gibbsita e raros cristais de clorita e/ou vermiculita dioctaedral (aluminosa), além de quartzo. As fotomicrografias da fração areia muito fina, por sua vez, mostraram no geral, um predomínio de minerais opacos (magnetita, ilmenita, hematita/maghemita e goethita), raros grãos de quartzo detrítico, anatásio, zircão, turmalina e argilominerais, com ou sem impregnação de óxidos/hidróxidos de ferro. Os índices de intemperismo (Ki e Kr) e o teor de ferro extraído pelo ditionito de sódio revelaram que a evolução pedogenética dos solos é crescente no sentido jusante a montante (P4→P3→P2→P1) e decrescente em profundidade. Também evidenciaram que os índices de intemperismo estão mais correlacionados com a quantidade do que com a variabilidade dos minerais encontrados na fração argila, e que os solos estudados estão sofrendo predominantemente o processo de dessilicatização em relação ao da ressilicatização. A presença de quartzo na fração argila e quartzo detrítico na fração areia sugere que o material de origem dos solos teve contribuições de outras formações geológicas.

Palavras-chave: Caulinita. Areia. Intemperismo.

ABSTRACT

Since October 2000, 42 families of rural workers "landless" are settled in an area of 465.84 ha, called "Farm Akola", located in the city of Londrina. This study aimed to characterize the pedological evolution to allow inferences usable in its rational management. Thus, in a sequence representative soil in the study area, four were selected soil-related profiles, positioned on hilltop and in the upper, middle and lower, respectively identified by P1, P2, P3 and P4. The oxides of Si, Fe and Al were determined by sulfuric attack, the clay minerals were identified by X-ray diffraction and the minerals of the fine sand fraction was by optic microscopy. The clay mineralogy of soils proved to be quite similar with a predominance of kaolinite followed by gibbsite and rare chlorite crystals and / or dioctahedral vermiculite (aluminous) as well as quartz. The photomicrographs of very fine sand fraction, in turn, showed overall a predominance of opaque minerals (magnetite, ilmenite, hematite / maghemite and goethite), rare detrital quartz grains, anatase, zircon, tourmaline and clay minerals with or without impregnation oxides / hydroxides of iron. The weathering index (Kr and Ki) and the iron content extracted by sodium dithionite pedogenetic revealed that the evolution of the soil is increased in downstream direction upstream (P4 → P3 → P2 → P1) and decreasing in depth. Also demonstrated that the weathering indices are correlated with the amount more than the variability of minerals in the clay fraction of the soils which are predominantly suffering desilicization the process in relation to the ressilicização. The presence of quartz in the clay fraction and detrital quartz in sand fraction suggests that the soil parent material was sandstone contributions.

Keywords: Kaolinite. Sand. Weathering.

1 INTRODUÇÃO

Uma comunidade rural composta por 42 (quarenta e duas) famílias de trabalhadores rurais “sem terra” encontra-se assentada numa área de 485,64 hectares pertencente ao antigo “Banco da Terra”, atual “Crédito Agrário” (Fazenda Akolá), distrito de São Luiz, Município de Londrina, Estado do Paraná, e basicamente dependem da exploração da atividade agropecuária nesta área para sobreviver. Contudo, as informações a respeito das características e propriedades dos solos existentes na área ainda são de cunho bastante generalizado, baseado no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984).

Informações mais detalhadas, no entanto, são imprescindíveis para possibilitar inferências sobre o manejo racional dos solos com vistas a garantir-lhes a autopreservação da capacidade produtiva para o presente e para as gerações futuras.

Acrescente-se a isso, a significativa importância que os solos desenvolvidos sobre rochas básicas apresentam no contexto rural e urbano do Estado do Paraná, já que mais de 50% da superfície terrestre paranaense, o equivalente a 100.000 km², é constituído por solos originados e evoluídos a partir do intemperismo sobre esse tipo de rocha (BHERING; SANTOS, 2008).

Ademais, considera-se que nas últimas décadas a Pedologia cada vez mais vem aprimorando a recomendação de manejo racional e conservação dos solos de acordo com suas características e propriedades, haja vista os trabalhos de Oliveira (2005) e Resende et al., (2007).

Assim, neste estudo objetivou-se inventariar atributos químicos e mineralógicos bem como avaliar a gênese dos solos representativos da área em apreço, estabelecendo as suas interdependências em função do posicionamento que possuem ao longo de uma vertente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

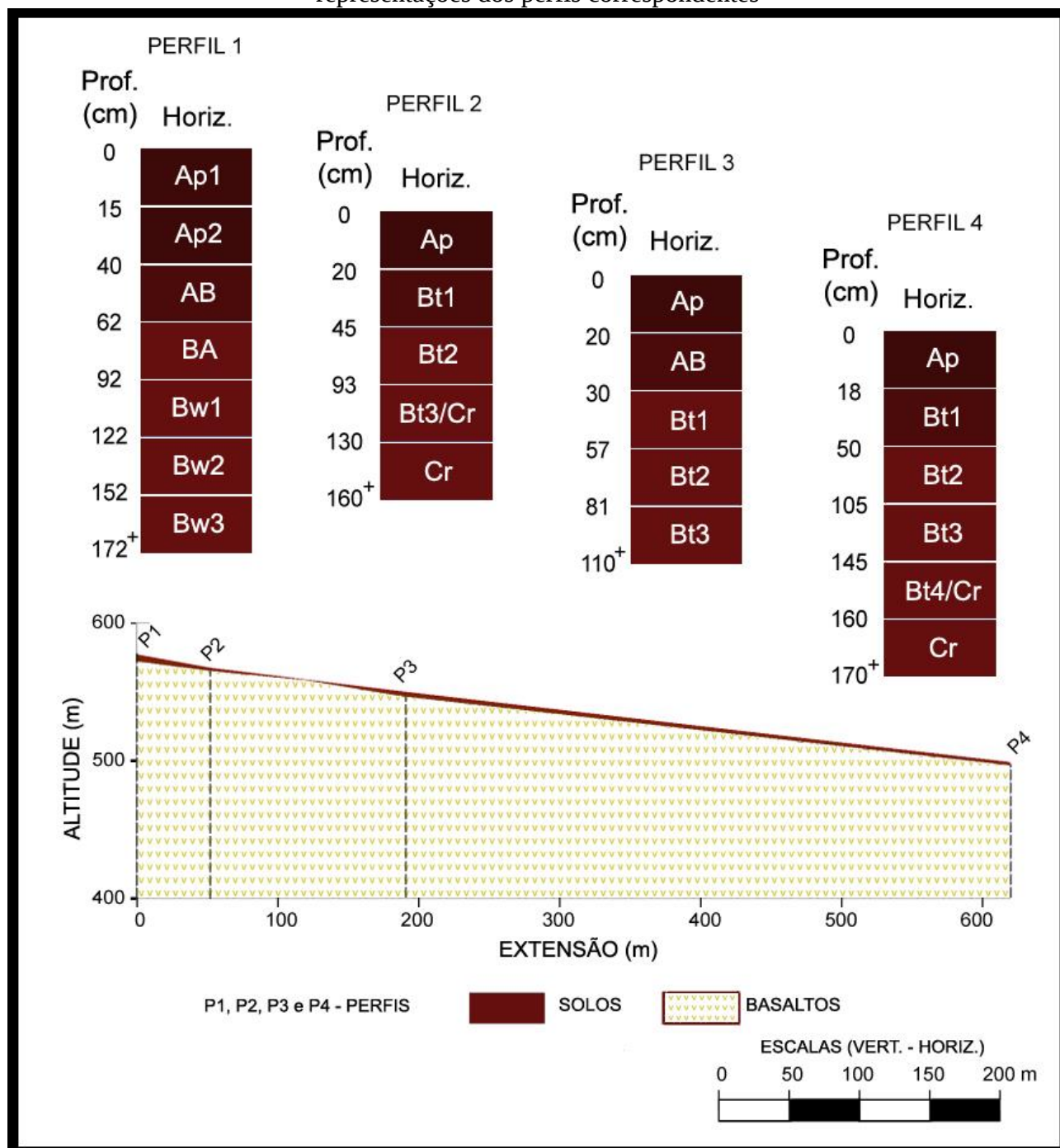
A área de estudo está localizada entre as coordenadas UTM, N = 7394000; O = 477500 e N = 7393000; O = 479500, SAD 69, Meridiano Central 51° W Gr.

A partir da extração de elementos de imagem de satélite, que correspondem a atributos espaciais como as redes hidrográficas e viárias, uso e ocupação das terras, coordenadas geográficas, unidades de mapeamento das propriedades rurais, geologia, aliadas às observações de campo, foi selecionada uma vertente com uma topossequência para o estudo.

A vertente escolhida tem declividade média de 10%, comprimento de rampa de aproximadamente 650 metros e nela os solos foram amostrados e descritos em 4 (quatro) perfis da seguinte maneira: perfil P1, topo do morro; perfil P2, terço superior da vertente; perfil P3, terço médio da vertente e perfil P4, terço inferior da vertente.

Após fez-se a divisão dos perfis em seus respectivos horizontes (Figura 1) e coletou-se amostras com estrutura deformada de cada uma dessas seções, e, inclusive dos horizontes Cr, dos perfis P2 e P4. Os perfis foram descritos morfologicamente segundo Santos et al. (2005).

Figura 1 – Seção geopedológica mostrando o posicionamento dos pédonos na vertente e as representações dos perfis correspondentes



Obs: perfil 1 = LVe; perfis 2, 3 e 4 = NVe

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas amostras coletadas foram determinados os teores de SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 pelo ataque sulfúrico e ferro livre, segundo metodologia descrita por Embrapa (1997).

Para identificação dos argilominerais, o preparo das amostras baseou-se na metodologia descrita por Jackson (1979), sendo que a determinação foi procedida por difratometria de raios X, sendo os difratogramas obtidos no Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro. O aparelho usado na irradiação das argilas saturadas com K e Mg foi um Siemens Diffractometer D 5000, controlado por computador, com goniômetro vertical e radiação de cobre, operando nas seguintes condições: tensão de 40 kV e corrente de 30 mA; uso de filtro de níquel para eliminação de radiação $\text{K}\beta$; faixa de varredura de 3 a 66° (2 θ); e passo de 0,02° (2 θ), com tempo de acumulação de 1s por passo; para as amostras glicoladas, os difratogramas foram obtidos na faixa de 3° a 36° (2 θ).

Para a identificação dos minerais da fração areia fina, seguiu-se a metodologia preconizada pelo Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 1997). Montadas as lâminas, procedeu-se a análise microscópica utilizando Microscópio Óptico monocular Leitz (Wetzlar, Sm – Lux Pol, com aumentos de 40X, 100X, 250X e 630X) através de luz transmitida. Com uma câmara fotográfica digital acoplada a este aparelho óptico foram obtidas algumas fotos para ilustrar as observações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ataque sulfúrico em profundidade nos diversos perfis estudados revelaram um alto teor de óxidos de ferro (Fe_2O_3), suficiente para enquadrar os respectivos solos nos níveis categóricos dos eutroféricos LVe e NVe (OLIVEIRA, 2005; EMBRAPA, 2013); também revelaram relativa homogeneidade de distribuição, somente sofrendo uma diminuição significativa nos horizontes Bt3/Cr e Cr do perfil P2 e Bt4/Cr e Cr do perfil P4 (Tabela 01).

Tais resultados estão coerentes com a composição de rocha de origem básica, rica em minerais ferromagnesianos, que, por conseguinte, originaram os solos igualmente ricos em óxidos de ferro distribuídos ao longo da sequência ora em estudo.

Nos citados horizontes intermediários Bt3/Cr (Perfil P2) e Bt4/Cr (Perfil P4), bem como nos horizontes Cr desses perfis, percebe-se, como esperado, que os teores de Fe_2O_3 sofressem um decréscimo, vez que essas seções estão mais protegidas da ação da pedogênese e, consequentemente, menos óxidos foram liberados da rocha de origem para compor a fase sólida do solo.

Os teores de óxido de ferro ao longo dos perfis P2, P3 e P4 foram muito semelhantes e um pouco inferiores ao do perfil P1, o que está de acordo com o maior grau intempérico deste solo, posicionado em relevo mais plano, conclusão esta, que se confirma pelas mais baixas relações molares Ki e Kr deste solo em relação àqueles outros (Tabela 1).

Os teores de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) aumentaram em profundidade ao longo de todos os perfis da sequência, sendo que tal aumento foi mais discreto no perfil P1 e mais evidente nos horizontes Bt dos perfis P2, P3 e P4.

Este comportamento da sílica e alumina ao longo do perfil provavelmente possa ser creditado ao aumento do teor da fração argila, uma vez que a distribuição desta fração em profundidade segue uma tendência muito semelhante a dos teores dos óxidos, como também foi observado no trabalho de Campos et al (2011) e Silva et al (2013).

Comparando-se as relações moleculares Ki e Kr no mesmo perfil, por sua vez, percebe-se um aumento destes índices em profundidade, o que está coerente com uma esperada menor atuação da pedogênese no mesmo sentido.

Cotejando-se as relações molares entre perfis, por sua vez, verifica-se que há no sentido jusante-montante, um crescente grau de atuação da pedogênese, o que está em sintonia com a diminuição da declividade e favorecimento da percolação da água, tornando mais larga a relação

Pedogênese/Morfogênese. Assim, a tendência do processo de dessilicatização é ser crescente em direção à superfície relativamente mais estável, refletindo a interferência da topografia sobre o movimento da água e sua drenagem (BRADY; WEIL, 2013). Por outro lado, os solos em posições mais baixas do relevo recebem fluxos subsuperficiais laterais de soluções ricas em cátions básicos (Ca^{+2} e Mg^{+2}) e sílica solúvel (ácido silícico), conforme assinala Lepsch (2011).

Tabela 1 – Teores totais de óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3)

Perfil	Horizonte	Prof.	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Fed ¹	At ²	Fed/At ³	Índices de Intemperismo	
		cm	-----g.kg ⁻¹ -----						Ki	Kr
P1	Ap1	0-15	321	205	200	202	740	0,27	1,66	0,83
	Ap2	15-40	312	208	212	200	830	0,24	1,73	0,88
	AB	40-62	301	207	213	203	830	0,24	1,75	0,91
	BA	62-92	308	210	215	204	800	0,26	1,74	0,90
	Bw1	92-122	325	212	220	202	830	0,24	1,76	0,89
	Bw2	122-152	330	215	232	201	800	0,25	1,83	0,93
	Bw3	152-172 ⁺	335	220	242	202	850	0,24	1,87	0,95
P2	Ap	0-20	320	139	190	202	790	0,26	2,32	0,94
	Bt1	20-45	318	180	248	201	930	0,22	2,34	1,10
	Bt2	45-93	295	199	274	200	910	0,22	2,34	1,20
	Bt3/Cr	93-130	270	161	232	140	410	0,34	2,45	1,18
	Cr	130-160 ⁺	240	131	220	120	390	0,31	2,85	1,31
P3	Ap	0-20	297	158	214	171	830	0,21	2,30	1,05
	AB	20-30	290	163	236	173	870	0,20	2,46	1,15
	Bt1	30-57	286	176	258	168	930	0,18	2,49	1,22
	Bt2	57-81	290	179	263	174	930	0,19	2,50	1,23
	Bt3	81-110 ⁺	294	180	278	175	910	0,19	2,63	1,28
P4	Ap	0-18	290	161	235	162	730	0,22	2,48	1,15
	Bt1	18-50	284	183	270	159	890	0,18	2,50	1,26
	Bt2	50-105	288	185	286	160	890	0,18	2,63	1,32
	Bt3	105-145	290	199	316	158	870	0,18	2,70	1,40
	Bt4/Cr	145-160	281	181	308	122	830	0,15	2,89	1,45
	Cr	160-170 ⁺	230	192	328	110	550	0,20	2,90	1,64

¹óxido de ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) da fração argila; ²Argila Total; ³relação do ferro livre (DCB)/argila total; ⁴Ki=1,7 x $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; Kr = 1,7 x $\text{SiO}_2/[\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$.

Fonte: Elaborado pelo autor

Isso mostra, a exemplo do que constatarem Campos et al (2011), que os solos representados pelos perfis P2, P3 e P4 estão possivelmente posicionados em ambiente de menor estabilidade geomórfica quando comparados ao ambiente de topo, onde se situa o P1.

A relação Fed/Argila (ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio/argila), por sua vez, é bastante uniforme ao longo dos perfis. Tal característica, aliada a pouca variabilidade de Fe_2O_3 proveniente do ataque sulfúrico verificada em todos os perfis, sugere que não houve movimentação do óxido de Ferro (Fe_2O_3) em profundidade (Tabela 1), mesmo nos perfis com Bt.

Os óxidos de ferro livre mostraram valores relativamente altos e quase constantes em profundidade em todos os perfis, registrando-se decréscimo acentuado somente nos horizontes Bt/Cr e Cr dos Perfis P2 e P4; tal decréscimo nestes horizontes deve-se ao posicionamento dos mesmos no perfil que os tornam mais protegidos da ação da pedogênese, o que está de acordo com a tendência esperada (Tabela 1).

Da mesma forma registrada para o processo de dessilicatização e índices de Ki e Kr, o teor de Fed também cresceu da jusante à montante, ou seja, no sentido das superfícies mais estáveis da sequência, também sugerindo uma intensificação da pedogênese nesta direção.

Verificou-se que os valores mais elevados de Fed ocorreram no P1, na área do topo, reduzindo-se nas áreas de encosta e, de maneira mais pronunciada, no seu terço inferior, resultados que concordam com o que verificaram Campos et al (2011).

Houve grande diferença entre ferro total e ferro livre para todos os perfis (ΔFe). Os óxidos de ferro presentes nos minerais magnetita e ilmenita praticamente não são extraídos por DCB (ditionito, citrato e bicarbonato de sódio) e podem ser explicar as diferenças (RESENDE, 1976; RAUEN, 1980; SILVA, 1985).

Ferro, como componente estrutural dos silicatos também é mencionado por Jefferson et al. apud Rauen (1980), que encontrou 2,46% de ferro como um componente estrutural da caulinita, o que indica que este mineral de argila também pode ter contribuído para a amplitude da diferença entre ferro total e ferro livre (ΔFe).

De modo geral, a mineralogia detectada na fração argila desferrificada dos perfis estudados mostrou-se idêntica quanto as espécies mineralógicas. Os minerais mais abundantes foram a caulinita, seguida da gibbsita, raros cristais de argilominerais estratificados inexpandíveis, provavelmente variedade de clorita e/ou vermiculita dioctaedral (aluminosa) e quartzo (Tabela 2).

Tabela 2 – Características selecionadas de horizontes diagnósticos

Perfil	Horiz.	Prof.	Relevo	Posição ⁽¹⁾	V	Ki ⁽²⁾	Mineralogia ⁽³⁾			
							Ct	Gb	Cl/Ve	Qz
P1	Bw2	122-152	Plano	TE	70,1	1,83	X	X	X	X
	Bw3	152-172 ⁺			62,8	1,87	X	X	X	X
P2	Bt1	20-45	Suave Ondulado	TSE	62,3	2,34	X	X	X	X
	Bt2	45-93			65,8	2,34	X	X	X	X
P3	Bt1	30-57	Suave Ondulado	TME	61,4	2,49	X	X	X	X
	Bt2	57-81			67,7	2,50	X	X	X	X
P4	Bt1	18-50	Suave Ondulado	TIE	68,2	2,50	X	X	X	X
	Bt2	50-105			59,5	2,63	X	X	X	X

⁽¹⁾ Posição – localização do perfil na paisagem: TE, TSE, TME, TIE – topo, terço superior, terço médio e inferior de vertente, respectivamente. ⁽²⁾ Índice de Intemperismo; ⁽³⁾ Mineralogia: Ct - Caulinita, Gb - Gibbsita, Cl/Ve - Clorita/Vermiculita, Qz - Quartzo.

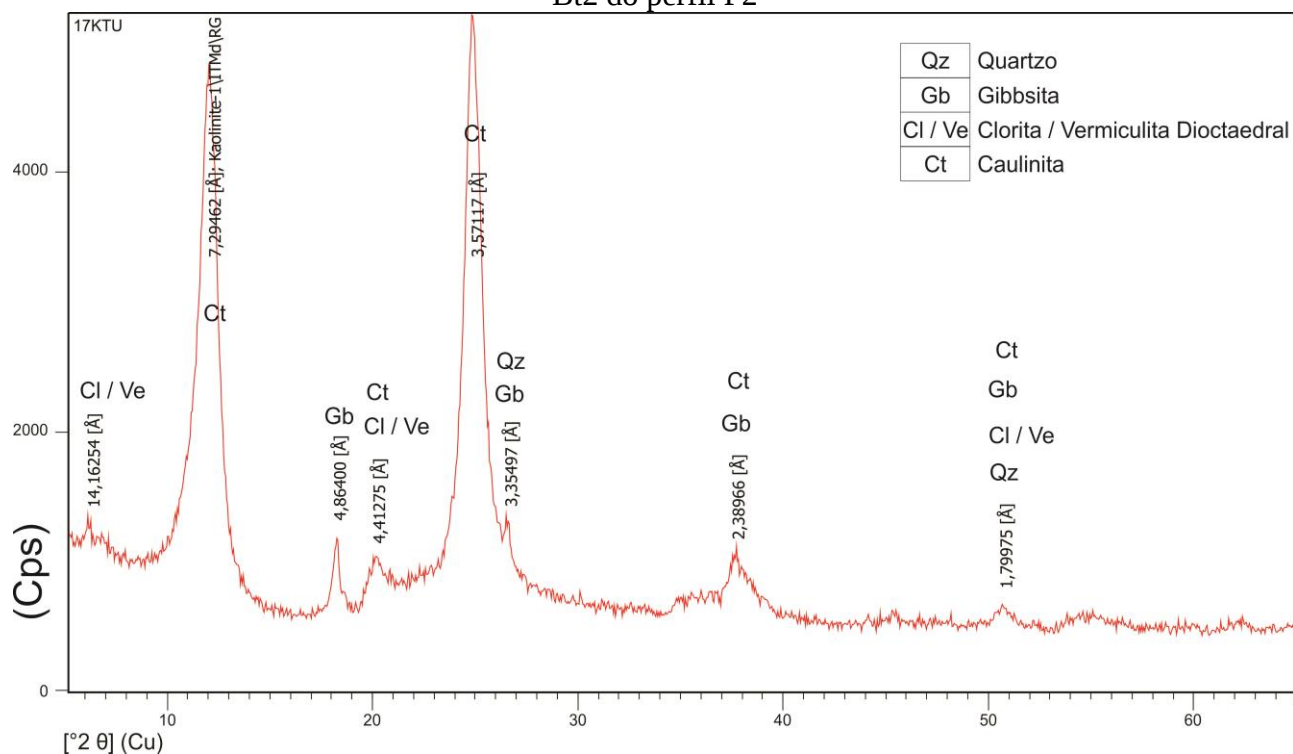
Fonte: Elaborado pelo autor

Podem ser vistos nos difratogramas, argilominerais que apresentam pequenos picos correspondentes a espaçamento reticular ao redor de 14,5 Å e que poderiam corresponder a espaçamento basal de argilominerais expansivos. Entretanto, algumas amostras foram submetidas à atmosfera de etilenoglicol por 48 horas e os picos não sofreram alterações (Figuras 2 e 3), fato este que sugere que os argilominerais presentes na fração argila são inexpandíveis; dentre os argilominerais que apresentam picos principais próximos de 14,5 Å, podem ser citados a vermiculita aluminosa (2:1) e a clorita (2:1:1). Entretanto, é mais provável a ocorrência deste último, uma vez que nas análises microscópicas do material de origem, foram observados vários agregados de filossilicatos verde que poderiam ser clorita. Tentar colocar as figuras o mais próximo possível de onde foram mencionadas no texto.

Os minerais encontrados na fração argila dos perfis estudados não demonstra estreita relação com os resultados obtidos com o ataque sulfúrico, pois em todos os perfis foram detectados os mesmos tipos de minerais nesta fração granulométrica, inobstante as variações de Ki e Kr. Ressalta-se, todavia, que a quantificação dos minerais não foi avaliada e nenhum dos valores de Ki e Kr encontrados são incompatíveis com a mineralogia detectada.

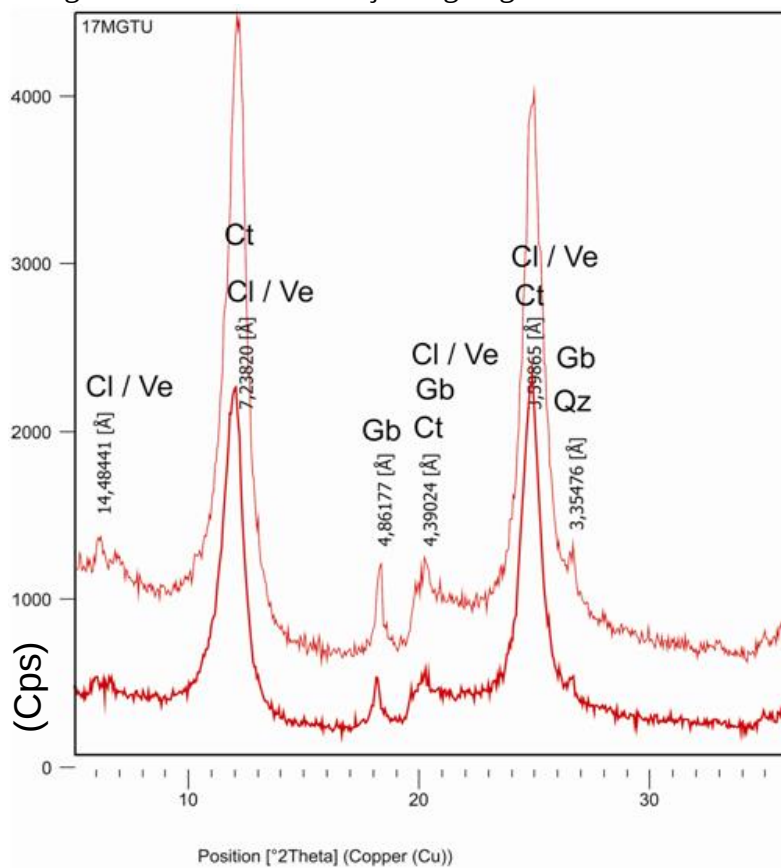
A presença de gibbsita, caulinita e os óxidos de ferro atestam o elevado grau de intemperismo de todos os solos da sequência.

Figura 2 – Difratoograma de raios-X da fração argila desferrificada, saturada por K, em horizonte Bt2 do perfil P2



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 – Difratoograma de raios X da fração argila glicolada em horizonte Bt2 do perfil P2



Fonte: Elaborado pelo autor

Na presença de quartzo na fração argila há a tendência de não ocorrer gibbsita, pois segundo Goedert et al. (1975), a habilidade dos solos no fornecimento de H_4SiO_4 à solução a partir de sílica amorfa ou quartzo, origina um processo de ressilicatização do óxido de alumínio, o que contrabalança o processo de dessilicatização, mantendo caulinita estável. Essa tendência foi encontrada nos trabalhos de Kampf e Klant (1978), Lima (1979) e Silva (1985).

No presente trabalho, embora ocorra quartzo na fração argila, isso, contudo, não inibiu a presença de gibbsita, sendo possível que nos trabalhos nos quais esse óxido não foi encontrado, possa, na verdade, encontrar-se sob a forma “amorfa” ou mal cristalizada, ou ainda em pequenas quantidades, não sendo detectável por difração de raios x (SILVA, 1985; KÄMPF et al, 2012).

Estes últimos autores citados, embora admitam que o exato mecanismo de origem da gibbsita no solo ainda não seja bem conhecido, categoricamente afirmam que é inquestionável que a gibbsita forma-se sob ambiente de forte dessilicatização.

De qualquer forma, os valores de K_i e a presença de gibbsita, apesar da ocorrência de quartzo, permite inferir que se verifica nos solos estudados um predomínio do processo de dessilicatização sobre o de ressilicatização.

A caulinita pode ter se originada a partir da intemperização de minerais primários (minerais ferromagnesianos: olivinas e piroxênios; feldspatos, micas, cloritas) ou de minerais secundários (esmectitas e cloritas), enquanto que gibbsita, a partir dos feldspatos e micas (KÄMPF et al, 2012).

Já em relação aos óxidos/hidróxidos de ferro, Kämpf et al (2009) afirmam que sua origem está no Fe originalmente presente na forma de Fe^{+2} na estrutura de minerais primários (olivinas, piroxênios, anfibólios, micas e outros), que se oxida a Fe^{+3} antes ou depois de sua liberação do mineral fonte pela intemperização, precipitando como óxidos e oxihidróxidos de Fe^{+3} . Ressaltam também que em pedoambientes aeróbicos, como o que ocorre nos solos estudados, a goethita e a hematita são os óxidos de ferro dominantes por sua estabilidade termodinâmica.

A clorita, que possivelmente também foi detectada na fração argila, pode se originar tanto a partir de rochas metamórficas ou ígneas, ou produtos da alteração de minerais ferromagnesianos, como hornblenda, biotita e outros.

A vermiculita dioctraedral, que por sua vez possivelmente também foi detectada na fração argila, é originada da transformação da muscovita (DOUGLAS, 1989) e a possibilidade da sua presença em solo muito intemperizado, como ocorreu neste estudo, decorre do fato das vermiculitas poderem possuir hidróxi-metal entrecamadas, que as tornam termodinamicamente mais estáveis que a caulinita, sendo compatível sua ocorrência associada com gibbsita (KARATHANASIS, 1988).

Kämpf et al (2012) corroboram com esta conclusão afirmando que é rara a menção de argilominerais com o comportamento padrão de vermiculita em solos brasileiros; geralmente, são mencionadas as vermiculitas aluminosas ou “cloritizadas”, ou, ainda, chamadas de clorita-vermiculita, e atualmente, de vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas (VHE). Afirma, ainda, que em solos ácidos, sob condições de intenso intemperismo, a transformação da mica pode ser diretamente para VHE, sem estágio intermediário de vermiculita propriamente dita. Os VHE são minerais pedogênicos formados em ambientes ácidos, pela intercalação de polímeros de Al no espaço entrecamadas da estrutura 2:1.

O quartzo, mineral também detectado pelo difratograma de raios-X na fração argila, está presente no solo principalmente como mineral primário, herdado do material de origem. Em relação a outros minerais, a sua maior estabilidade deve-se ao fato de cristalizar-se a partir do magma em condições próximas ao ambiente de superfície, sendo um dos últimos minerais a cristalizar-se na série de Bowen. Sua origem em condições próximas ao ambiente, também pode ser atribuída ao envelhecimento de géis de sílica (KÄMPF et al, 2009).

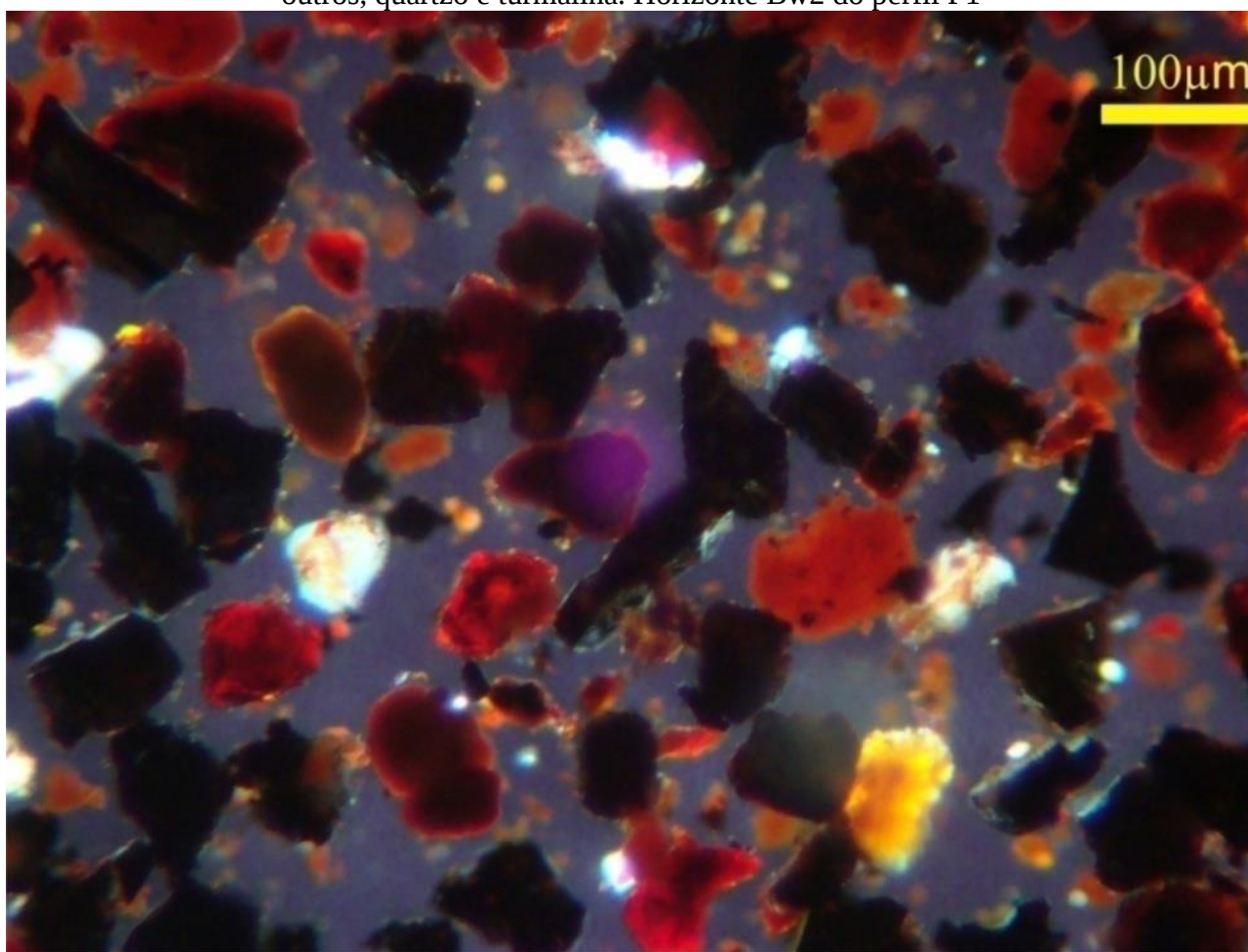
A composição mineralógica semelhante da fração argila de todos os solos estudados, aparentemente, não se coaduna com a clara diferenciação no estágio de evolução pedogenética revelado pelas relações molares K_i e K_r , as quais decrescem no sentido jusante/montante. Isto leva

a inferir que a diferenciação mineralógica entre os solos estudados se dá, tão somente, no aspecto quantitativo, diminuindo a quantidade de argilominerais e aumentando a quantidade de óxidos no sentido jusante-montante.

Dessa forma, genericamente, pode-se afirmar que a pedogênese teve uma influência maior na diferenciação morfológica e nos teores totais de sílica, alumina e óxidos de ferro do que nas características mineralógicas, tendência esta que, também foi encontrada no trabalho de Silva (1985), que igualmente estudou solos derivados de rochas básicas no norte do Paraná.

A mineralogia da fração areia muito fina mostrou-se homogênea em todos os perfis dos solos da sequência avaliada. De um modo geral, ocorreu um amplo predomínio de minerais opacos representados por magnetita, que pode estar parcialmente alterada para maghemita, hematita e goethita. Ilmenita, grãos de argilominerais resultantes provavelmente de uma dispersão pouco eficiente e raros cristais de quartzo entre outros minerais, também foram devidamente fotomicrografados (Figuras 4 e 5).

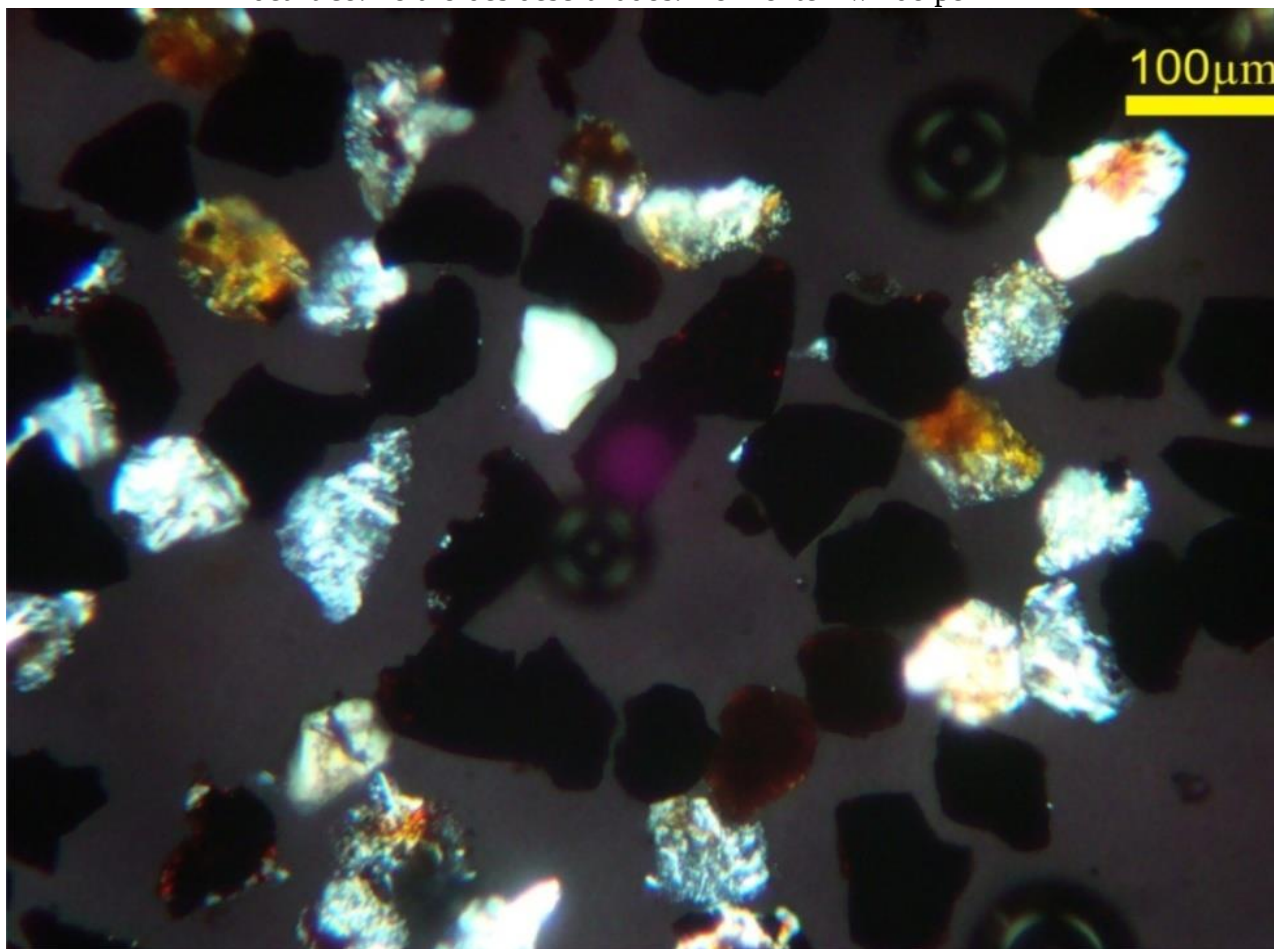
Figura 4 – Fotomicrografia da fração areia muito fina que mostra predomínio de minerais opacos representados por magnetita, hematita, anatásio, zircão, goethita e minerais transparentes, entre outros, quartzo e turmalina. Horizonte Bw2 do perfil P1



Fonte: Elaborado pelo autor

A presença de quartzo na forma de grãos arredondados e minerais pesados a exemplo da turmalina, conforme revelado nas fotomicrografias (Figuras 4 e 5), sugere que houve contribuição de materiais de origem de outras formações geológicas na formação dos solos estudados. A quantidade de grãos de quartzo encontrada mostra que esta contaminação foi pequena e até mesmo desprezível.

Figura 5 – Fotomicrografia da fração areia muito fina mostrando o amplo predomínio de minerais opacos (magnetita, hematita e goethita), seguido por grãos constituídos por agregados de filossilicatos microcristalinos incolores ou impregnados/tingidos por hidróxidos e óxidos de ferro (predomina caulinita sobre gibbsita e outros argilominerais) e alguns grãos de quartzo, na maioria detrítico. Polaroides descruzados. Horizonte Bw2 do perfil P1



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram observados também, agregados de filossilicatos e/ou hidróxidos de alumínio microcristalinos incolores (caulinita e gibbsita) e coloridos de alta e baixa birrefringência, que tanto podem ser clorita/ilita trioctaédrica/biotita verde ou saponita/nontronita.

No geral, os minerais presentes na fração areia muito fina também comprovam a grande atuação da pedogênese nos solos estudados.

A identificação da origem dos solos a partir do magma básico fica evidente observando-se a espécie e, principalmente, a quantidade de minerais opacos encontrados na fração areia (magnetita, maghemita, hematita, goethita e ilmenita) com evidente predomínio sobre os transparentes, turmalina, zircão, anatásio e quartzo anguloso e subarredondado, o que sugere que estes sejam detríticos, atestando transporte e envolvimento na gênese dos solos da sequência, porém com pequena expressão.

Cabe ressaltar, que várias amostras analisadas microscopicamente acusaram a presença de agregados (grãos) com argilominerais verdes interpretados como filossilicatos.

De um modo geral, houve amplo predomínio de minerais opacos e secundariamente agregados de filossilicatos de baixa e alta birrefringência, sendo que os grãos de agregados de cor verde são raros, sendo mais comum os de cor laranja a marrom avermelhado. Grãos de turmalina e quartzo detríticos, que são muito raros, quase desprezíveis, também evidenciam uma pequena contaminação na formação desses solos com material oriundo de outras formações geológicas.

Entre os minerais opacos, ocorre predomínio de magnetita, que pode estar parcialmente alterada para maghemita, hematita e goethita.

A caulinita é o filossilicato dominante em forma de grãos de agregados; não seria comum a presença de minerais secundários tais como caulinita, hematita e goethita na fração areia muito fina, entretanto, esta ocorrência foi detectada, talvez em função de uma dispersão pouco eficiente obtida através do hidróxido de sódio (NaOH).

No horizonte subsuperficial do P1 a ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis, detectados nas fotomicrografias, aliado a outras características, tais como estrutura granular e Ki mais baixo entre os solos estudados, confirmam tratar-se de solo com maior evolução pedogenética na sequência.

4 CONCLUSÕES

Os solos da topossequência estudada são tipicamente derivados de rochas basálticas.

Os índices de intemperismo Ki e Kr e o teor de Fed revelam que a evolução pedogenética dos solos estudados é crescente no sentido jusante a montante (P4 → P3 → P2 → P1) e decrescente em profundidade em cada um desses perfis.

De um modo geral, a mineralogia dos solos estudados é bastante similar, sendo que na fração argila os principais minerais encontrados são: caulinita, seguido de gibbsita, raros cristais de quartzo e, provavelmente, traços de clorita/vermiculita aluminosa; na fração areia muito fina há predomínio de minerais opacos: magnetita, ilmenita, hematita/maghemita e goethita e, em menor proporção, os transparentes e/ou translúcidos: quartzo detrítico, turmalina, anatásio e zirconita.

As variações dos índices de intemperismo (Ki e Kr) estão mais relacionadas à quantidade do que aos tipos de minerais presentes nas frações argila e areia muito fina.

Os solos da sequência estão sofrendo um predomínio do processo de dessilicatização sobre o de ressilicatização.

Os óxidos de ferro como hematita/maghemita e goethita tiveram sua origem diretamente da alteração dos minerais primários (piroxênios e/ou olivinas) presentes no material de origem.

A presença de quartzo na fração argila e quartzo detrítico na fração areia sugere que outras formações geológicas também contribuíram na formação dos solos estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHERING, S. B.; SANTOS, H.G. (Ed.). **Mapa de Solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. CD-ROM.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R.; **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª ed., Porto Alegre-RS, 2013, 685 p.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C. Relações solo-paisagem em uma topossequência sobre substrato granítico em Santo Antonio Matupi, Manicoré (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 13-23, jan/fev. 2011.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Ministério da Agricultura, 1984. 414 p. (Embrapa. Boletim de Pesquisa, 27).

GOEDERT, W.J.; SYERS, J.K.; COREY, R.B. Relações caulinita-quartzo-gibbsita em solos desenvolvidos de basaltos no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1975, Campinas. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1975. p. 495-498.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**: advanced course. Madison: Prentice-Hall, 1979.

KÄMPF, N.; CURI, N. & MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, [V. F.; ALLEONI, L.R.F.; eds. **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. 1, cap. 09, p. 573-610.

KÄMPF, N.; KLANT, E. Mineralogia e gênese de latossolos (oxisols) e solos podzólicos da região nordeste do Planalto Sul Riograndense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n.1, p. 68-73, jan. 1978.

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.; eds. **Pedologia**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012, p. 81-145.

KARATHANASIS, A. D.; Structural and solubility relationships between Al-hydroxyinterlayered soil smectites and vermiculites. **Soil Science Society America Journal**, 52: 1500-1508, 1988.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. 1ª ed., São Paulo, 2011. 456p.

LIMA, V. C. **Caracterização e classificação de solos derivados de eruptivas básicas do terceiro planalto paranaense**. 1979. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574p.

RAUEN, M.J. **Mineralogical identification of a toposequence of soils from basaltic rocks in the state of Parana, Brazil**. 1980. Thesis (Ms) - Purdue University, Purdue.

RESENDE, M. **Mineralogical, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. 1976. Thesis (PhD) - Purdue University, Purdue.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Centro Nacional de Pesquisa de Solos/EMBRAPA, 2005.

SILVA, F. C. M. **Mineralogia e gênese de uma sequência de solos no município de Bandeirantes-PR**. 1985. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R. S. Gênese e classificação dos solos de uma topossequência em área de carste na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, n. 37, p. 1464-1480, 2013.

Data de submissão: 30.09.2015

Data de aceite: 16.11.2016

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.