

O papel da litologia nos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos Solos Perférricos do Brasil

The role of lithology in the physical, chemical and mineralogical attributes of Brazilian Perferric Soils

Henrique Amorim Machado

Doutor em Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
henriquegeo@hotmail.com

Cristiane Valéria de Oliveira

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas. Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
crisval_oliveira@yahoo.com.br

Fábio Soares de Oliveira

Doutor em Geologia. Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
fabiosolos@gmail.com

Guilherme Resende Corrêa

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Campus Santa Mônica.
guilhermecorrea@ufu.br

Resumo

No Brasil, a ocorrência de solos que possuem teores de Fe_2O_3 acima de 360 g kg^{-1} , enquadrados como perférricos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, ainda é pouco conhecida, restringindo os perfis coletados e classificados a dez diferentes materiais de origem. Para este trabalho foram selecionados 33 perfis de solos perférricos descritos em levantamentos da EMBRAPA, teses, dissertações e artigos publicados em periódicos. De modo geral, estes solos possuem grande quantidade de partículas agrupadas nas frações finas, com mais de 50% dos perfis enquadrados como argilosos ou franco-siltosos. Estes solos são ácidos, com valor médio de pH em H_2O de 5,37, com uma média de balanço de cargas próximo à zero e com uma CTC altamente dependente da matéria orgânica. A distrofia é uma característica comum, sendo o resultado tanto de um intenso intemperismo ou mesmo de solos que se originam de rochas já muito pobres em bases solúveis. Em relação à química da argila obtida pelo ataque sulfúrico, os solos são pobres em sílica e moderadamente pobres em alumínio. Os solos perférricos, independente do seu material de origem, tendem a uma homogeneização física e química de seus atributos. O controle litológico se expressa principalmente nos solos desenvolvidos de itabiritos, jaspilitos e couraças ferruginosas. Nestas rochas, ainda que a pedogênese seja incipiente, os solos já são perférricos. Nos demais litotipos, como basalto, gabro e tufitos, o caráter perférrico está associado à atuação do intemperismo ao longo do tempo, onde ocorre a lixiviação das bases e sílica e enriquecimento relativo em ferro.

Palavras-chave: gênese de solos, classificação de solos, pedogeomorfologia.

Abstract

In Brazil, the occurrence of soils with Fe_2O_3 levels above 360 g kg^{-1} , classified as perferic in the Brazilian Soil Classification System, is still little known, restricting the profiles collected and classified to ten different parent materials. For this study, 33 profiles of the perferic soils described in EMBRAPA surveys, theses, dissertations and articles published in reviews were selected. In general, these soils have a large number of particles grouped in the fine fractions, with more than 50% of the profiles framed as clay or silt-loam. These soils are acidic, with an average pH value in H_2O of 5.37, with an average balance of loads near zero and with a CEC (Cation Exchange Capacity) highly dependent on organic matter. The dystrophy is a common characteristic, being the result of either an intense weathering or even of soils that originate from already poor rocks in soluble bases. Regarding the chemistry of the clay obtained by the sulfuric attack, the soils are deficient in silica and moderately poor in aluminium. Perferic soils, independent of their parent material, tend to physical and chemical homogenization of their attributes. The lithological control is expressed mainly in developed soils of itabirite, jaspilites and ferruginous duricrusts. In these rocks, although the pedogenesis is incipient, the soils are already perferic. In the other lithotypes, such as basalt, gabbro and tuffs, the perferic character is associated with the weathering action over time, where leaching of the bases and silica and relative enrichment in iron occurs.

Keywords: soil genesis, soil classification, soil-geomorphology.

1. INTRODUÇÃO

O ferro é o elemento químico mais abundante no planeta e está entre os cinco elementos mais presentes na crosta terrestre, estando distribuído em diversos tipos de ambientes graças a sua capacidade de formar compostos estáveis, tanto em sua forma bivalente (Fe^{2+}) quanto trivalente (Fe^{3+}) (MURAD e FISCHER, 1985). No solo, na condição de óxidos e hidróxidos, mesmo em pequenas quantidades, podem influenciar em diversos atributos físicos, químicos, macro e micromorfológicos, como a cor, densidade, cimentação de partículas e cargas dependentes de pH (CORNELL e SCHWERTMANN, 2003).

A importância de considerar a participação do ferro na determinação de atributos do solo ganha projeção na medida em que, no Brasil, a relativa estabilidade tectônica (ALMEIDA et al., 2000) somada a um longo período de exposição a condições intempéricas em clima tropical (PARRISH et al., 1982; TARDY et al., 1991), fez com que o desenvolvimento das coberturas pedológicas se desse preferencialmente pelo aprofundamento do manto de alteração, pela lixiviação das bases (Na, Ca, K e Mg) e pelo enriquecimento relativo e/ou absoluto em ferro e/ou alumínio.

A classificação de solos no Brasil, desde seus primórdios, levou em consideração a influência do ferro na coloração dos solos, atribuindo às classes dos Latossolos, Podzólicos e Terras Roxas Estruturadas, denominações como roxo, vermelho ou amarelo como indicativo macromorfológico importante em suas individualizações. Camargo (1982) propõe ainda a separação de Latossolos com alto teor de ferro e baixa saturação por bases em uma categoria específica, então classificada como ferrífero.

Após sucessivos aprimoramentos, a primeira edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), trouxe avanços na utilização dos teores de óxidos de ferro obtidos pela extração química com o ataque sulfúrico para subdivisão no terceiro nível categórico, separando os solos em hipoférricos, mesoférricos, férricos e perférricos.

Os solos perférricos estão associados à litologias igualmente ricas em ferro. No Brasil, duas regiões se destacam pela grande ocorrência destes solos: (i) o Quadrilátero Ferrífero com Itabiritos e Itabiritos dolomíticos do Paleoproterozóico e (ii) a Serra dos Carajás com os Jaspilitos do Neoarqueano. Além destas, outras áreas com ocorrências pontuais de litologias mais ricas em ferro contribuem para a composição dos solos perférricos do Brasil.

Considerando o interesse em melhor compreender a gênese desses solos, este trabalho objetivou comparar solos perférricos do Brasil associados a distintas litologias, como forma de analisar as semelhanças e diferenças nas propriedades físicas, químicas e mineralógicas entre eles e compreender o papel dos materiais de origem no desenvolvimento destes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados 33 perfis de solos perférricos descritos em levantamentos da EMBRAPA, teses, dissertações e artigos publicados em periódicos. De acordo com o primeiro nível categórico, foram classificados em: Plintossolos – com 12 perfis; Latossolos – com 13 perfis; e Cambissolos – com 8 perfis (Tabela 1).

Para comparação e análise foram selecionados apenas os horizontes diagnósticos de cada perfil, individualizando os que apresentavam maior desenvolvimento vertical.

As unidades de todos os perfis foram padronizadas com a finalidade de comparação entre os dados, do mesmo modo que se procurou trabalhos com metodologias iguais ou muito próximas, evitando assim interpretações dúbias em decorrência de discordâncias metodológicas. O tratamento estatístico foi realizado a partir do software IBM SPSS Statistics 23.

A ocorrência destes perfis se concentra em Minas Gerais, devido à presença de variados tipos de rochas ricas em ferro, como Basaltos, Itabiritos, Migmatitos, Peridotitos, Serpentinóis e Tufitos. Todavia, solos perférricos também foram descritos em Goiás e na Serra dos Carajás – PA.

Tabela 1 - Perfis de solos perférricos selecionados.

Ponto	Classe	Localização	Material de Origem
P1	FFc latossólico ¹	Paraúpebas - PA	Jaspilito + colúvio de couraça
P2	FFlf êndico ¹	Paraúpebas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P3	FFc latossólico ¹	Paraúpebas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P4	FFc Câmbico ²	Canaã dos Carajas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P5	FFc latossólico ²	Canaã dos Carajas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P6	FFc Perférrico léptico ²	Canaã dos Carajas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P19	FFc latossólico ³	Nova Lima-MG	Itabirito dolomítico
P20	FFc cambissólico ³	Nova Lima-MG	Itabirito dolomítico
P21	FFc latossólico ³	Nova Lima-MG	Itabirito dolomítico
P26	FFc latossólico ⁴	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico + c. de couraça
P27	FFlf êndico ⁴	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico + c. de couraça
P28	FFc cambissólico ⁴	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico + c. de couraça
P7	LVj petroplíntico ²	Canaã dos Carajas - PA	Jaspilito + c. de couraça
P8	LVj Perférrico ⁵	Patos de Minas - MG	Tufitos e arenitos cineríticos
P9	LVj típico ⁵	Patos de Minas - MG	Tufitos e arenitos cineríticos
P12	LVj típico ⁶	Pirajuba - MG	Basalto
P13	LVj típico ⁷	Mariana - MG	Itabirito
P14	LVj húmico ³	Nova Lima-MG	Itabirito + c. de couraça
P16	LVjtípico endoconcrecionário ⁷	Barão de Cocais - MG	Itabirito
P17	LVj típico endoconcrecionário ⁷	Gunhães - MG	Itabirito
P18	LVj câmbico ⁷	Belo Horizonte - MG	Itabirito
P23	LVj cambissólico ³	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico
P29	LVA Perférrico típico* ³	Nova Lima-MG	Serpentinito
P30	LVj típico ³	Nova Lima-MG	Serpentinito
P32	LVj ⁸	Nazareno - MG	Migmatito
P10	CXj típico ⁵	Patos de Minas - MG	Tufitos e arenitos cineríticos
P11	CXj típico ⁵	Patrocínio - MG	Peridotito
P15	CXj ⁹	Nova Lima-MG	Couraça Ferruginosa
P22	CXj latossólico ³	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico
P24	CXj latossólico ³	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico
P25	CXj típico ³	Santa Bárbara - MG	Itabirito dolomítico
P31	CXj ¹⁰	Niquelândia -GO	Gabro
P33	CXj latossólico ¹¹	Ouvidor -GO	Anfibólitos e hematita

* Não previsto pelo SiBCS; FFc – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário; FFlf – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico; LVj – LATOSSOLO VERMELHO Perférrico; CXj – CAMBISSOLO HÁPLICO Perférrico; 1 - Corrêa, 2011; 2 - Ribeiro, 2009; 3 - Carvalho Filho, 2008; 4 - Reis, 2014; 5 - Motta et al., 2004; 6 - EMBRAPA, 1982; 7 - Costa, 2003; 8 - Baruqui et al., 2006; 9 - Oliveira, 2013; 10 - Garnier et al., 2009; 11 - EMBRAPA, 1983.

3. RESULTADOS

3.1 Aspectos morfológicos e físicos dos solos perférricos

A coloração dos solos perférricos no Brasil varia de 7,5 YR a 10R, com aproximadamente 90% dos horizontes B sendo classificados com matiz mais vermelha que 2,5 YR, o que condiz com a mineralogia predominantemente oxidada, com predominância dos óxi-hidróxidos de ferro, hematita e goethita. O material de origem não foi o único fator determinante para a coloração, que claramente também sofreu influência das condições de drenagem.

Os solos com alto teor de ferro possuem grande quantidade de partículas agrupadas nas frações finas, com mais de 50% dos perfis nas classes texturais argilosa ou média siltosa (Tab. 1). Entretanto, autores destacam que as análises texturais em solos com alto teor de ferro possuem grandes limitações metodológicas na dispersão das partículas, podendo mascarar os valores de argila e superestimarem

silte e areia (DONAGEMMA et al., 2003; CARVALHO FILHO, 2008). Nos Cambissolos desenvolvidos a partir de anfibólitos e hematitas de Ouvidor-GO, por exemplo, a ausência de colúvio no material de origem assim como a discreta atividade da sílica no sistema faz com que os teores de areia seja possivelmente produto de insuficiências metodológicas para a dispersão de partículas, visto que o levantamento realizado pela EMBRAPA (1983) ainda não dispunha de tecnologias mais eficientes para dispersão de partículas e destruição dos agregados.

Analisando os diferentes materiais de origem, o basalto e o serpentinito se destacam por originarem coberturas mais argilosas que as demais rochas. Tal fato se deve à composição mineralógica destas rochas, que por incluir plagioclásios, piroxênios e serpentina, e baixo teor de quartzo (PICCIRILLO et al., 1988; FONSECA, 2011), são, em condições tropicais, potenciais produtores de argilas.

Em contrapartida, as formações de ferro bandadas como os Jaspilitos, Itabiritos, Itabiritos Dolomíticos e também os Anfibólitos e Hematitas apresentam coberturas associadas a alto conteúdo de areia (Tab.2). Com exceção dos Itabiritos Dolomíticos, a participação de sílica na composição destas rochas é bem mais expressiva que nas demais litologias, o que pode explicar, em parte, um valor elevado de quartzo na fração areia (LINDENMAYER et al., 2001; SPIER et al., 2007).

A densidade de partículas apresentou valores médios entre $3,55 \text{ g cm}^{-3}$ com o menor valor do coeficiente de variação, indicando que independente da classe, do material de origem, ou da textura, os solos perférricos apresentam sua densidade de partículas sempre elevada, aproximando-se dos valores de massa específica da goethita ($4,37 \text{ g cm}^{-3}$) e da hematita ($5,26 \text{ g cm}^{-3}$) (KLEIN e DUTROW, 2012).

Tabela 2 - Síntese dos atributos físicos, químicos e morfológicos dos horizontes B dos solos perférricos.

Perfil	Hz	Prof (cm)	Cor	Composição Granulométrica					Dp	pH			S	T	V	m	C orgânico
				A. G	A.F.	Silte	Argila	S/A		H ₂ O	KCl	ΔPh					
				g kg ⁻¹					g cm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			%			g Kg ⁻¹	
P1	Bwc2	(27-48+)	10R 3/3	540	60	100	300	0,33		4,5	4,5	0	0,1	9,8	1	50	0,2
P2	Bwc	39-58+	2,5 YR 3/3	480	40	110	370	0,30		4,7	4,5	-0,2	0,1	15,2	0,8	76	4,5
P3	Bwc2	39-58+	10 R 3/4	250	50	10	600	0,02		4,6	5	0,4	0,1	7,8	0,6	0	2,4
P4	Bic2	25-60	10 R 3/6	280	60	360	300	1,2		4,19	3,81	-0,38	0,04	11,4	0,3	96,4	21
P5	Bwc1	15-80	10 R 3/6	240	60	470	230	1,83		4,2	4,09	-0,11	0,02	10,2	0,2	97,1	24
P6	Bic	5-50	10 R 2,5/2	600	90	210	100	2,1		3,73	3,6	-0,13	0,5	12,3	0,4	96,9	51
P7	Bwf2	40-70	10 R 3/6	430	60	200	310	0,65		4,69	4,69	0	0,03	8,33	0,4	90,6	58,1
P8	Bw2	121-210 ⁺	2,5YR 3/6	130	80	210	580	0,36	3,23	6	5,9	-0,1	2	5,5	36	0	4,8
P9	Bw	60-100	2,5 YR 3/4	50	100	350	500	0,7		5,7	5,1	-0,6	0,2	4,7	4	0	7,2
P10	Bi	20-50	5 YR 4/6	110	130	330	430	0,77		6	5,6	-0,4	3,1	5,6	55	0	22,7
P11	Bi	40-60	2,5 YR 2,5/4	160	190	310	340	0,91		6,4	5,8	-0,6	3,5	17	59	0	9,5
P12	B23	123-200+	10 R3/4	50	140	120	690	0,17		5,5	5,8	0,3	0,1	1,6	6	0	4,6
P13	Bw	100-120	10R 3/4	180	210	280	330	0,85	3,33	5,3	6,01	0,71	0,71	2,41	30	0	18
P14	Bw	70-95	2,5YR 3/4	298	53	202	447	0,45	3,64	6,1	6	-0,1	0,2	2,4	8		13,4
P15	Bi1	50-110	2,5YR 3/4	180	250	220	350	0,63	4,78	5,66	5,57	-0,09	0,34	4,84	7	0	6
P16	Bw1	40-60	10 R 3/4	450	150	210	190	1,11	4,34	4,92	4,74	-0,18	0,81	4,81	17	11	-
P17	Bw1	40-60	2,5 YR 4/6	180	150	340	330	1,03	3,63	4,65	4,5	-0,15	0,75	7,85	9,6	21,1	23
P18	Bw	102	10 R 3/3	230	40	230	500	0,46	2,98	5,4	6,27	0,87	0,84	6,24	14	0	24
P19	Bwc1	36-92	2,5 YR 3/6	281	55	151	513	0,29		5,8	5,8	0	0,1	3,2	3	0	11,9
P20	Bic	32-58	10 R 3/4	277	124	289	310	0,93	3,5	5,9	6,1	0,2	0,1	2	5	0	7,8
P21	Bwc	55-121	1,5 YR 3/4	160	130	270	440	0,61		5	6,2	1,2	0,1	1,7	6	0	4,2
P22	Bic2	98-139	2,5 YR 3/2	204	282	207	307	0,67	3,43	5,4	6,6	1,2	0,2	1,2	17	0	0,8
P23	Bwc1	54-87	10 R 3/4	202	112	218	468	0,47	3,77	4,8	4,7	-0,1	0,1	4,5	2	0	8,4
P24	Bi2	69-100	2,5 YR 4/6	244	256	211	289	0,73	3,05	5,9	6,5	0,6	0,1	1,1	9	0	6
P25	Bi3	123-160	7,5 YR 3/3	140	185	349	326	1,07	3,23	5,6	5,7	0,1	0,1	2,2	5	0	1,2
P26	Bwc	45-150	10 R 3/6	440	90	470	0,19	3,12	5,3	4,96	-0,34	0,51	7,31	7	16,4	12,8	
P27	Bi2	35-60	2,5 YR 2,5/6	470	120	410	0,29	4,47	5,53	4,69	-0,84	0,6	10,5	5,7	39,4	22,6	
P28	2Bwc	150-180+	10 R 3/3	520	140	340	0,41	3,61	5,28	4,94	-0,34	0,42	8,72	4,8	0	7,5	
P29	Bw2	80-110	5 YR3,5/3	60	36	149	755	0,20	3,33	7	6,8	-0,2	0,3	0,3	100	0	1,6
P30	Bw1	37-75	10 R 3/4	68	29	223	680	0,33	2,94	5,1	5	-0,1	0,1	4,8	2	0	17,6
P31	Bo2	125-200	2,5 YR 2,5/3	300		420	280	1,5		5,5			0,1				23,8
P32	Bw	75-110	2,5 YR 3/4	113	95	194	598	0,32		6,4	6,9	0,5	0,6	2,1	28	0	4
P33	B	40-70	5 YR 3,5/40	260	210	310	220	1,41		6,4	5,6	-0,8	0,6	1,6	38	0	3,3

3.2 A química dos solos perférricos

Os solos perférricos podem ser caracterizados como ácidos, com valor médio de pH em H₂O de 5,37, com uma média de balanço de cargas próximo a zero e CTC altamente dependente da matéria orgânica.

A distrofia é uma característica comum, ilustrando dois agrupamentos distintos quanto ao desenvolvimento desta condição. O primeiro se refere aos solos que foram expostos a condições de intenso intemperismo, sendo a distrofia o resultado da retirada constante de suas bases. Fazem parte deste grupo os solos que derivaram de litologias com uma composição geoquímica diversificada, como o Basalto, Gabro, Peridotito, Migmatito e Tufitos (GIRARDI et al., 1986; SILVA et al., 2005; CARLSON et al., 2007). O segundo agrupamento é caracterizado pelos solos que se originam de rochas muito pobres em bases, como é o caso dos Itabiritos e Jaspilitos, bem como das couraças ferruginosas. Neste grupo, a distrofia é comum mesmo em solos em estágio inicial de desenvolvimento, como os Neossolos e Cambissolos (CARVALHO FILHO, 2008; CORRÊA, 2011).

Neste segundo grupo, a limitação nutricional impõe severos empecilhos para o desenvolvimento da agricultura e da pecuária. Os solos derivados do Jaspilito por se destacarem dos demais pela elevada acidez e saturação por alumínio, são colonizados por uma vegetação savânica altamente adaptada (PORTO e SILVA, 1989), enquanto os solos perférricos do Itabirito ou são utilizados em pequenas áreas para silvicultura de pinus ou sustentam campos de cerrado altimontano com uma vegetação também muito especializada (JACOBI e CARMO, 2012; COSTA e GARCIA, 2014). Nas demais litologias, o avanço das técnicas em áreas bem localizadas e de pouca expressão espacial com solos perférricos, possibilitou a incorporação destas áreas para o cultivo agrícola, como as culturas de milho, batata e arroz na região de Patos de Minas -MG e café em Nazareno-MG.

Em relação à química da fração argila, os solos perférricos são pobres em sílica e moderadamente pobres em alumínio (Tab. 3). Assim como o caráter distrófico, essa pobreza de sílica pode ser explicada tanto por ambientes de intensa dissolução e lixiviação deste elemento quanto por uma característica herdada do material de origem.

Tabela 3 – Valores médios da composição química dos óxidos pelo ataque sulfúrico por material de origem.

Mat.de origem	Ataque Sulfúrico				Relações Moleculares				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /TiO ₂	TiO ₂ /Fe ₂ O ₃
	g Kg ⁻¹								
Jaspilito + couraça	41,60	206,64	471,37	13,81	0,89	0,09	0,59	41,92	0,03
Tufito	93,00	159,00	408,00	72,65	1,07	0,39	0,61	6,60	0,18
Peridotito	42,00	35,00	571,00	44,80	2,04	0,18	0,10	12,75	0,08
Basalto	115,00	206,00	367,00	65,10	0,95	0,44	0,88	5,64	0,18
Itabirito + couraça	2,83	121,22	583,93	36,33	0,05	0,08	0,36	159,14	0,06
Itabirito Dolomítico+couraça	15,46	120,62	528,58	9,15	0,38	0,07	0,31	66,35	0,02
Serpentinó	61,00	217,00	420,50	9,10	0,47	0,23	0,85	47,02	0,02
Gabro	64,00	39,10	468,50	-	2,78	0,19	0,08	-	-
Migmatito	69,00	194,00	380,00	17,90	0,60	0,27	0,80	21,23	0,05
Anfibólio e hematita	28,00	13,00	461,00	142,20	3,68	0,16	0,05	3,24	0,31
Média	53,19	131,16	465,99	45,67	1,29	0,21	0,46	40,43	0,10
Desvio Padrão	34,46	78,38	75,68	43,26	1,17	0,13	0,33	49,60	0,10
C.V. %	64,78	59,76	16,24	94,71	90,82	60,61	70,18	122,68	97,03

Nos Itabiritos, Spier (2007) explica que o teor de sílica na rocha tende a diminuir na superfície, resultando no enriquecimento relativo em ferro. Sendo assim, o teor médio de 2,83g kg⁻¹ de SiO₂ está mais relacionado com o material parental do que a uma intensa dessilificação. Processo diferente parece explicar a baixa atividade da sílica nos solos desenvolvidos a partir do Gabro, que apresenta certo equilíbrio entre os teores de SiO₂ e Fe₂O₃ na rocha (GIRARDI et al.,1986), mas enriquecimento em ferro e alumínio à medida que bases e sílica são lixiviadas.

A relação Ki (SiO₂/Al₂O₃) dos solos derivados do Itabirito e do Itabirito dolomítico chama atenção, com valores sempre abaixo de 1,5 e com um extremo de 0,01 para um Latossolo em Belo Horizonte - MG. Embora seja uma relação tradicionalmente aplicada na literatura para inferir sobre o grau evolutivo dos solos, em materiais como Itabiritos e Jaspilitos ela deve ser utilizada com cautela.

Baixos valores, nesse caso, não refletem solos com avançado grau de intemperismo. Os próprios materiais de origem já apresentam tais condições e, ainda que jovens, os valores para Neossolos serão muito baixos. Ker (1997) e Carvalho Filho (2008) já haviam destacado que esta relação não reflete as condições de intemperismo e o grau de desenvolvimento dos solos para a região sobre influência das rochas itabiríticas, uma vez que os baixos teores de sílica do material de origem mascaram as interpretações pedogenéticas trazidas por esta relação molecular. Em contrapartida, para solos provenientes das outras rochas, como basaltos e gabros, a relação pode ser considerada, admitindo que o intemperismo mineral progressivo contribui com a constante concentração de alumínio e ferro no sistema de alteração.

Considerando o ferro, os solos sobre Itabirito se destacam por apresentarem os maiores teores, com valor máximo de 762 g kg^{-1} , seguido dos solos desenvolvidos a partir do Itabirito Dolomítico com valor máximo de 708 g kg^{-1} e depois pelos solos desenvolvidos a partir do Peridotito com teor de 571 g kg^{-1} .

A ocorrência de solos perférricos sobre Basaltos tende a ser rara, visto a abrangência espacial desta rocha sobre o território brasileiro (CORDANI e VANDOROS, 1967; PICCIRILLO et al., 1988) e a escassez de perfis descritos com esta característica. Quando diagnosticada, os teores de ferro estão próximos do limiar mínimo para esta classe, como é o caso do Latossolo em Pirajuba-MG com 367 g kg^{-1} de ferro pelo ataque sulfúrico (KER, 1997).

Dentre os teores de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico, o ferro se destacou com o menor coeficiente de variação, indicando que valores acima de 400 g kg^{-1} é uma característica bem uniforme dentre os perfis analisados, independente da litologia. Ainda assim, a acumulação desse ferro ocorre de maneira diferente, considerando que em solos relacionados a Itabiritos, Jaspilitos e Couraças ferruginosas ela já é observada em Neossolos e Cambissolos, ao passo que nas demais esses valores acumulam-se a partir do avanço da pedogênese, e se expressam em Latossolos.

3.3 A mineralogia dos solos perférricos

A densidade de partículas e os resultados da composição química pelo ataque sulfúrico inferem uma assinatura majoritariamente oxidada dos solos perférricos, fato comprovado pelos valores da relação Kr, sempre abaixo de 0,5 (Tab. 2). A qualificação da mineralogia por difratometria de raios-X nos horizontes B selecionados confirma esta afirmativa. A hematita e a goethita são os minerais predominantes, sendo o primeiro mais marcante e responsável pela coloração que pode chegar a 10R. Nos perfis onde a goethita possui maior destaque, como nos solos P29 e P25, a coloração apresenta matizes mais vermelho-amareladas.

A atração magnética destes solos é basicamente explicada pela presença de maghemita nas frações silte e argila, visto que a magnetita é muito instável nas condições ambientais de superfície, sendo rapidamente transformada (MURAD e SCHWERTMANN, 1993). Na fração grossa, a alteração da magnetita pode ser analisada pela presença de pseudomorfos de martitas (VARAJÃO et al., 2002).

A gibbsita tem abundância inferior aos minerais citados anteriormente, em função da baixa atividade do alumínio no sistema. A presença deste mineral, em alguns perfis, tem sido associada ao colúvio de materiais pré intemperizados de litologias mais diversificadas geoquimicamente, como é o caso dos solos dentro do Quadrilátero Ferrífero que recebem influência direta dos filitos do Grupo Nova Lima (CARVALHO FILHO, 2008). Outros estudos (NAHON, 1991) advogam que o aumento da participação da gibbsita está relacionado ao intemperismo dos óxidos de ferro que sustentam o cimento das couraças, fazendo com que minerais que eventualmente estejam obliterados no material de origem sejam detectados na composição do solo.

O quartzo não é um mineral com ocorrência comum em solos perférricos nas frações silte e argila, o que é concordante com os baixos valores de sílica encontrados em todos os perfis. Corrêa (2011), a partir de dados de fluorescência de raios-x, concluiu que o quartzo é um mineral de ocorrência muito pequena (traço) nos solos derivados a partir da degradação de couraças ferruginosas e Jaspilito.

A caulinita, à semelhança do quartzo, possui uma ocorrência secundária na maioria destes solos, apenas com participação expressiva em solos desenvolvidos a partir de rochas básicas ou ultrabásicas, como os perfis P12, P32 e P33. Sua presença no horizonte B dos demais solos é limitada tanto pela baixa atividade da sílica quanto pela pobreza em alumínio destes solos. O destaque para esse mineral é feito para as camadas mais superficiais. Com a atividade biológica das plantas, sobretudo das gramíneas, o enriquecimento absoluto de silício em superfície é possibilitado a partir da destruição das biomineralizações de sílica (fitólitos) e reincorporação deste elemento ao solo (FISHKIS, et al, 2010). Assim, com essa adição, o ambiente se torna mais favorável para a formação de caulinita, o que parece ser confirmado diretamente pelos dados de DRX, pelo aumento médio de 60% para a relação K_i do horizonte B para o horizonte A e também pela mudança no balanço de cargas mais negativo em superfície (TEWARI, 1963; OLIVEIRA et al., 2013).

Os minerais de titânio têm sua ocorrência restrita a alguns perfis, sendo mais comuns na forma de anatásio, rutilo e raramente titanomagnetita. Outros minerais aparecem ligados a contextos bem específicos, como é o caso das micas, esmectitas e vermiculitas com hidróxi entre camadas, encontradas somente nos Itabiritos Dolomíticos da Serra do Gandarela, no Quadrilátero Ferrífero (CARVALHO FILHO, 2008).

4. DISCUSSÃO

O sufixo perférico foi atribuído para solos desenvolvidos a partir de dez diferentes tipos de materiais de origem. O agrupamento dos solos a partir dos seus atributos físicos e químicos, por exemplo (Fig.1), mostra a separação dos solos perféricos desenvolvidos a partir do Jaspilito e dos Itabiritos dos demais materiais de origem, o que destaca o quanto estes solos possuem características pedogenéticas distintas em comparação com os demais solos. Os solos desenvolvidos a partir do Basalto, Migmatito e Tufito apresentaram grande similaridade entre seus atributos, sugerindo que o desenvolvimento de suas características se deu a partir de mecanismos muito próximos.

Geograficamente, o controle litológico é observado nas rochas descritas no Quadrilátero Ferrífero - MG e em Carajás - PA, onde a composição química do material de origem, isto é, Itabiritos, Jaspilitos e couraças ferruginosas, denota a formação direta do caráter perférico. Em outras palavras, as ordens taxonômicas que sugerem menor grau evolutivo dos solos já apresentam o caráter perférico, não sendo necessário que ocorra a evolução do solo a longo termo para que tal caráter se efetive. Para as demais rochas, o caráter periférico não deixa de estar associado à composição da rocha, mas sua efetivação é resultado de um longo processo intempérico, da retirada de bases (K, Ca, Mg, Na) e acumulação relativa do ferro. Nestes litotipos, a atuação conjunta dos demais fatores de formação (clima, relevo, organismos e tempo) é de extrema relevância, e pode levar a ocorrência de bolsões de solos perféricos imersos num contexto de solos mesoféricos (de 80 g kg⁻¹ a <180g kg⁻¹ de Fe₂O₃ pelo ataque sulfúrico) e fêrricos (≥150 g kg⁻¹ <360 g kg⁻¹). De maneira geral, isso sustenta a ideia de uma pedogênese progressiva, com intemperismo avançado, e não como uma herança litológica direta. Os solos desenvolvidos sob essas rochas podem, em outras condições ambientais, não resultar em solos perféricos, ao passo que isso seria mais difícil para os solos derivados de Itabiritos, Jaspilitos e couraças ferruginosas.

Em termos taxonômicos, as dificuldades encontradas para classificar estes solos já faziam parte das discussões do meio científico desde a década de 1980 no Brasil, e desde então, conceituações, metodologias e parâmetros foram sendo aperfeiçoados para melhor operacionalizar este processo (EMBRAPA, 1980; CAMARGO, 1982). Se neste período o problema era separar os solos perféricos que tinham algum atrativo para atividade agropecuária daqueles que não demonstravam nenhuma vocação para uso antrópico, atualmente as dificuldades estão voltadas mais para as nuances dentro dos níveis hierárquicos.

Dentre os 33 perfis analisados, os solos foram agrupados em três grandes ordens: os Latossolos, os Plintossolos e os Cambissolos. No entanto, há duas questões que merecem ser consideradas e que poderiam alterar a distribuição dos perfis em relação à sua classificação.

A primeira refere-se ao reconhecimento do horizonte concrecionário como sendo diagnóstico para a classificação de Plintossolos, com precedência taxonômica sobre os horizontes Bw e Bi. Segundo Reis (2014), os solos do topo da Serra do Gandarela, no Quadrilátero Ferrífero, atendem a todas as exigências para serem classificados como Latossolos, não se enquadrando nessa classe apenas em função do horizonte concrecionário.

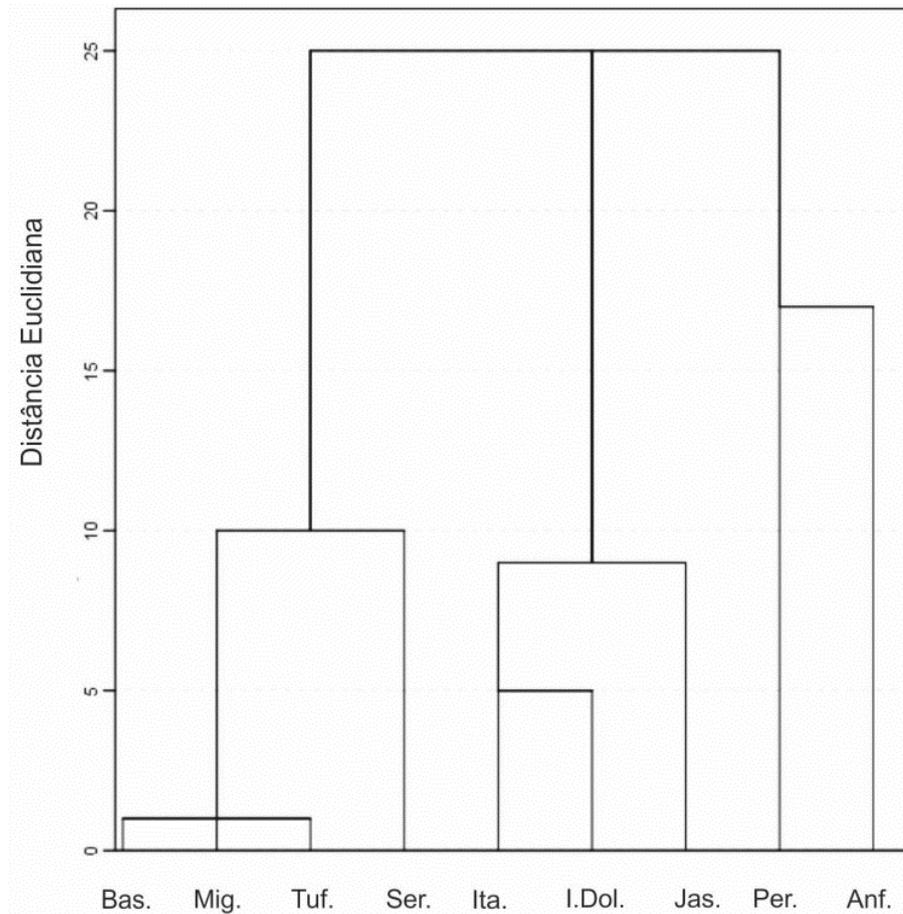


Figura 1 - Dendrograma de similaridade entre as médias de solos por material de origem. Índice de agrupamento: distância Euclidiana, método: vizinho mais próximo.

Bas - Basalto; Mig- Migmatito; Tuf – Tufito; Ser – Serpentinito; Ita – Itabirito; I.Dol. – Itabirito Dolomítico; Jas – Jaspilito; Per – Peridotito; Anf – Anfibólitos.

A crítica levantada neste ponto é justamente o significado genético das concreções encontradas nos horizontes B, nem sempre considerada no estudo destes solos. Essas podem ser tanto formadas pelos processos de oxi-redução em ambiente de oscilação do freático, caracterizando o processo de plintização (MACEDO; BRYANT, 1987; ANJOS et al., 1995; ROSOLEN et al., 2002; AIDE et al., 2004; EZE et al., 2014), quanto representarem nódulos litorreliquiários associados à degradação de couraças ferruginosas (BEAUVAIS; TARDY, 1991; HORBE e COSTA, 1999; TEMGOUA et al., 2002). Para diferenciá-los, análises macro e micromorfológicas cuidadosas devem

ser realizadas, observando se há ou não feições de nucleação, bem como o padrão morfológico das bordas das petroplintitas e o arranjo interno dos constituintes (NAHON, 1991).

Reis (2014) argumenta que agrupar estes perfis na mesma classe de solos mal drenados, com atual influência do lençol freático na plintização do solo e em posições próximas a cursos d'água, prejudica a interpretação morfogenética, base do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os melhores investimentos para diferenciar a natureza das concreções provêm de estudos micromorfológicos e microquímicos, muitas vezes escassos em levantamentos pedológicos, dadas suas especificidades.

A segunda é devida às limitações técnicas na dispersão de partículas que resultam em uma superestimação dos valores de silte e da relação silte/argila, impedindo que os horizontes B sejam identificados como Bw, em função do não cumprimento de todos os requisitos exigidos pelo SiBCS. Tais horizontes acabam por ser identificados como Bi o que leva à classificação destes perfis como Cambissolos (CARVALHO FILHO, 2008).

Considerando as duas questões, muitos perfis classificados como Plintossolos e Cambissolos têm características morfogenéticas e comportamento de Latossolos. A partir do 2º nível categórico de cada ordem, a tendência de uma homogeneização é notável nos solos analisados neste trabalho. Em todas as ordens a variação ocorre, sobretudo no 4º nível, mostrando que as características morfológicas, químicas e físicas destes solos tendem a uma certa homogeneização

5. CONCLUSÕES

Os solos perférricos do Brasil apresentam características físicas e químicas que expressam forte relação com o material de origem, por vezes obtidas sob contexto de intemperismo distintos. Os solos associados aos Itabiritos, Jaspilitos e couraças ferruginosas são perférricos por natureza, considerando que tais materiais de origem já possuem, ainda que o grau de intemperismo seja fraco, alto conteúdo de ferro. Isso influencia diretamente na evolução dos solos a ela associados, de maneira que o desenvolvimento de Latossolos parece demandar condições pedobioclimáticas e geomorfológicas específicas. Já para rochas como Basaltos, Tufitos e Gabros, o caráter perférrico é obtido a partir da atuação intensa do intemperismo, com concentração de ferro no sistema pedológico a partir da acumulação relativa, principalmente.

Em se tratando da mineralogia, a assinatura oxídica é primordial, com a presença de hematita e goethita como minerais predominantes e gibbsita, quartzo e caulinita com participação restrita a contextos pedogeomorfológicos específicos. Novos estudos mineralógicos, com enfoque cristalquímico, podem trazer contribuições para a o entendimento da gênese de caulinitas e gibbsitas

em solos perférricos. Os minerais magnéticos também despertam o interesse mineralógico destes solos, reiterando sua diversidade mineralógica.

Existe uma tendência de homogeneização na classificação taxonômica dos solos perférricos. A variação dentro das três grandes ordens em que os 33 perfis foram classificados ficou restrita ao 4º nível categórico. Na ordem dos Plintossolos, a precedência taxonômica do horizonte concrecionário sobre os horizontes Bw e Bi merece maiores cuidados, afim de assegurar o critério morfogenético do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapemig pelo suporte financeiro através do projeto APQ-00695-17 e a Capes pela concessão da bolsa de doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AIDE, M.; PAVICH, Z.; LILLY, M. E.; THORNTON, R.; KINGERY, W. Plinthite formation in the coastal plain region of Mississippi. **Soil Science**, v. 169, n. 9, p. 613-623, 2004.

ALEVA, G. J. J. The buried bauxite deposit of Onverdacht, Surinam, South America. **Geol. Mijnbouw**, v. 44, p. 45-58, 1965.

ALMEIDA, F. F. M.; NEVES, B. B. B.; CARNEIRO, C. D. R. C. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, p. 77-111, 2000.

ANJOS, L. H. C.; FRANZMEIER, D. P.; SCHULZE, D. G. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**, v. 64, p. 257-279, 1995.

BARUQUI, A. M.; NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Zona Campos das Vertentes – MG**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 327p.

BEAUVAIS, A; TARDY, Y. Formation et dégradation des cuirasses ferrugineuses sous climat tropical humide, à la lisière de la forêt équatoriale. **Sciences – Série II**, p.1539-1545, 1991.

BOULANGÉ, B. Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Les facies, leur transformation, leur distribution et l'évolution du modelé. **Travaux et Documents**. p.175: 341, 1984.

BOULANGÉ, B; BOCQUIER, G. Le rôle du fer dans la formation des pisolites alumineux au sein des cuirasses bauxitiques latéritiques. **Sciences et Géologie**, p. 29-36, 1983.

BOULANGÉ, G.; BOULANGÉ, B.; ILDEFONSE, P; NAHON, D.; MULLER, D. Transfers, accumulation modes, mineralogical transformations and complexity of historical development profiles. **Annals 2nd International Seminar on Laterization**; São Paulo (Brazil), São Paulo, p. 331-337, 1982.

CAMARGO, M. N. Proposição preliminar de conceituação de Latossolos Ferríferos. In.: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Conceituação sumária de**

algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS: versão provisória. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p. 29-31, 1982.

CARLSON, R. W.; ARAUJO, A. L. N.; JUNQUEIRA-BROD, T. C.; GASPAR, J. C.; BROD, J. A.; PETRINOVIC, I. A.; HOLLANDA, M. H. B. M.; PIMENTEL, M. M.; SICHEL, S. Chemical and isotopic relationships between peridotite xenoliths and mafic-ultrapotassic rocks from Southern Brazil. **Chemical Geology**, v. 242, p. 415-434, 2007.

CARVALHO FILHO, A. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão Silvicultural dos Tabuleiros Costeiros.** 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CORDANI, V. G.; VANDOROS, P. Basaltic rocks of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; Pinto, I.D. **Problems in Brazilian Gondwana Geology**, p. 207-231, 1967.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses.** Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2003. 703p.

CORRÊA, G.R. **Pedogênese em platôs de canga ferrífera e basaltos na Serra dos Carajás – PA.** Tese (Doutorado). 2011. 213 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

COSTA, A.; GARCIA, R. A. Mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela a partir de imagens Landsat (1987-2010). **Geografias**, v. 10, n. 1, p. 8-23, 2014.

COSTA, S. A. D. **Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero.** 2003. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 765-772, 2003.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e aptidão agrícola das terras de parte da região geoeconômica de Brasília.** Brasília: EMBRAPA, 1983.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1982.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 1ª aproximação.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 1999.

EZE, P.; UDEIGWE, T. K.; MEADOWS, M. E. Plinthite and its associated evolutionary forms in soils and landscapes: a review. **Pedosphere**, v. 24, n. 2, p. 153-166, 2014.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; LAMERS, M.; DENYSENKO, D.; STRECK, T. Phytolith transport in soil: a field study using fluorescent labelling. **Geoderma**, v. 157, p. 27-36, 2010.

FONSECA, G. M. **Petrogênese de rochas ultramáficas do Quadrilátero Ferrífero e adjacências e sua relação genética com rochas metaultramáficas do tipo serpentinito e esteatito.** 2011. 142

f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

GARNIER, J.; QUANTIN, C.; GUIMARÃES, E.; GARG, V. K.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Understanding the Genesis of ultramafic soils and catena dynamics in Niquelândia, Brazil. **Geoderma**, v. 151, p. 204-214, 2009.

GIRARDI, V. A. V.; RIVALENTI, G.; SINIGOI, S. The petrogenesis of the Niquelandia Layered Basic-Ultrabasic Complex, Central Goiás, Brazil. **Journal of Petrology**, v. 27, p. 715-744, 1986.

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e alumino-ferruginosas na região de Paragominas, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 4, p. 497-204, 1999.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. **Diversidade florística nas cangas do Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: Código Editora, 2012. 240p.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciências dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716p.

LINDENMAYER, Z. G.; LAUX, J. H.; TEIXEIRA, J. B. G. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 21-28, 2001.

LUCAS, Y. The bauxite of Juruti. In: CARVALHO, A.; BOULANGÉ, B.; MELFI, A. J.; LUCAS, Y. (Eds). **Brazilian Bauxites**. 1. ed. São Paulo: USP/FAPESP/ORSTOM; p. 107-136, 1997.

MACEDO, L; BRYANT, R. B.; Morphology, Mineralogy and Genesis of a Hydrosequence of Oxisols in Brazil. **Soil Science Society American Journal**, v. 51, p. 690-698, 1987.

MOTTA, P. E. F.; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004. 238p.

MURAD, E.; FISCHER, W. R. The Geobiochemical cycle of iron. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, B. A.; SCHWERTMANN, U. (eds). **Iron in soils and Clay minerals**. Boston: D. Reidel Publishing Company, p. 1-18, 1985.

NAHON, D. B. Self-organization in chemical lateritic weathering. **Geoderma**, v. 51, p. 5-13, 1991.

OLIVEIRA, D. A. S. **Gênese de solos em topossequência no Sinclinal Moeda – Quadrilátero Ferrífero (MG)**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

OLIVEIRA, F. S.; VARAJÃO, A. F. D. C. ; VARAJÃO, C. A. C. ; BOULANGÉ, B. A comparison of properties of clay minerals in isalteritic and degraded facies. **Clay Minerals**, v. 48, p. 697-711, 2013.

PARRISH, J. T.; ZIEGLER, A. M.; SCOTese, C. R. Rainfall patterns and the distribution of coals and evaporates in the Mesozoic and Cenozoic. **Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology**, v. 40, p. 61-101, 1982.

- PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L. S.; NARDY, A. J. R.; PACCA, I. G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Continental Flood Volcanism From the Paraná Basin (Brazil). *Continental Flood Basalts*. In: HOOPER, P. R.; MACDOUGALL, J. D. (Eds). **Continental Flood Basalts**. Springer; p.195-238, 1988.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófito em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botânica Brasilis**, v. 2, n. 2, p. 13-21, 1989.
- REIS, J. S. **Caracterização de solos ferruginosos altimontanos da Serra do Gandarela**. 2014. 85 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- RIBEIRO, A. S. S. **Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica dos solos da Serra Sul, Floresta Nacional de Carajás, Pará**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- ROSOLEN, V.; LAMOTTE, M.; BOULET, R.; TRICHET, J.; ROUER, O.; MELFI, A. J. Genesis of a mottled horizon by Fe-depletion within a laterite cover in the Amazon Basin. C.R. **Geoscience**, v. 334, p. 187-195, 2002.
- SILVA, F. D.; COUCEIRO, P. R. C.; FABRIS, J. D.; GOULART, A. T.; KER, J. C. Magnesioferrita e caminho pedogenético de transformação de óxidos de ferro magnéticos em dois perfis de solo derivados de tufito da região do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 763-775, 2005.
- SPIER, C. A.; OLIVEIRA, S. M. B.; SIAL, A. N.; RIOS, F. J. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, **Precambrian Research**, v. 152, p. 170-206. 2007.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 12, n. 1, p. 283-295, 1991.
- TEMGOUA, E.; DIEUDONNÉ, B.; BILONG, P.; LUCAS, Y.; PFEIFER, H. R. Démantèlement des paysages cuirassés anciens em zones forestières tropicales d'Afrique centrale: formation d'accumulations ferrugineuses actuelles em bas de versant. C.R. **Geoscience**, v. 334, p. 537-543, 2002.
- TEWARI, G. P. Occurrence of kaolinite in association with iron-pan. **Nature**, v. 198, p. 10-19, 1963.
- VALENTON, I. Resilicification at the top of the foreland bauxite in Surinam and Guyana. **Mineral Deposita**, v. 9, p. 169-173. 1974.
- VARAJÃO, C. A. C.; BRUAND, A.; RAMANAIDOU, E. R.; GILKES, R. J. Microporosity and Reducibility of BIF Hosted Massive Hematite Ores, Iron Quadrangle, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 1, p. 113-126, 2002.

Trabalho enviado em 20/01/2019
Trabalho aceito em 01/03/2019