

SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

MINERALOGIA E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS ESQUELÉTICOS DO BIOMA CERRADO, NO LESTE DE GOIÁS⁽¹⁾

João Bosco Vasconcellos Gomes⁽²⁾, Nilton Curi⁽³⁾, Darrell Gene
Schulze⁽⁴⁾, João José Granate de Sá e Melo Marques⁽⁵⁾, João
Carlos Ker⁽⁶⁾ & Paulo Emilio Ferreira da Motta⁽⁷⁾

RESUMO

A grande quantidade de material mineral com diâmetro maior que 2 mm de alguns solos do bioma Cerrado é uma característica de interesse em se tratando de formação, classificação, uso e manejo desses solos. Com o objetivo de contrastar atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos desses solos, com caráter esquelético, foram estudados perfis de Plintossolos Pétricos e Cambissolos Hápticos no leste de Goiás, comparando-os, também, com outros perfis semelhantes descritos na literatura. Cada perfil de solo (seis ao todo) correspondeu a uma trincheira, que permitiu a descrição morfológica e as amostragens, realizadas em duas profundidades, totalizando 12 amostras. Os corpos de petroplintita das frações mais grosseiras da terra fina contribuem para aumentar o Fe_2O_3 do ataque sulfúrico dos Plintossolos. As relações Feo/Fed são, de forma generalizada, muito baixas, refletindo a elevada estabilidade das formas cristalinas de Fe. Os Plintossolos e os Cambissolos estudados apresentam valores médios de Ki e Kr relativamente baixos quando comparados com outros solos das mesmas classes e com caráter esquelético do bioma Cerrado. A ausência de hematita na fração argila dos solos estudados reflete um processo de xantização do pedoambiente mais úmido das bordas da chapada, local de ocorrência dos Plintossolos, cujo material erodido contribui para formação dos Cambissolos. A

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2005 e aprovado em maio de 2007.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira-Mar 3250, CEP 49025-040 Aracaju (SE). E-mail: bosco@cnps.embrapa.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: niltcuri@ufla.br

⁽⁴⁾ Professor, Agronomy Department, Purdue University, 47907-1150 West Lafayette-IN, USA. E-mail: dschulze@purdue.edu

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: jmarques@ufla.br

⁽⁶⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG) E-mail: jcker@solos.ufv.br

⁽⁷⁾ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: bosco@cnps.embrapa.br

hematita só aparece na fração areia dos Plintossolos, associada aos corpos de petroplintita. Magnetita/maghemita foram identificadas nas duas classes de solos. Nos Cambissolos, a detecção de mica por difração de raios X da fração areia e de minerais com cores de interferência fortes nas lâminas delgadas, além dos maiores valores das relações K_i e K_r , realçam a presença de material menos intemperizado, relativamente aos Plintossolos. A pequena quantidade de plasma, 10 % em relação à área das lâminas delgadas, confirma o caráter esquelético dos solos estudados. Os Plintossolos apresentam estrutura granular adensada. Os Cambissolos apresentam o espaço poroso menos conectado e dominado por alvéolos e canais, com microestrutura de grãos com películas.

Termos para indexação: petroplintita, óxidos de Fe, xantização, solos concrecionários.

SUMMARY: *MINERALOGY AND MICROMORPHOLOGY OF SKELETAL SOILS FROM THE CERRADO BIOMA IN EASTERN GOIÁS*

The great amount of mineral material with a diameter > 2 mm in soils of the Cerrado biome is an intriguing characteristic that needs highlights the importance of further studies on soil formation, soil classification, land use and management. For a comparison of the morphological, physical, chemical, mineralogical, and micromorphological attributes of such skeletal soils, profiles of Petric Plinthosols and Haplic Cambisols from the eastern Goiás, Brazil, were studied and compared with similar profiles described in the literature. A pit was dug in each of the six soil profiles for morphological description and sampling at two depths (total of twelve soil samples). The petroplinthite nodules in the soil coarse fractions contribute to increase the Fe_2O_3 content extracted by sulfuric acid of Plinthosols. The Feo/Fed ratios are generally very low, reflecting the high stability of the crystalline Fe forms. The studied Plinthosols and Cambisols presented relatively low K_i and K_r values when compared to other soils of the same classes and with skeletal character in the Cerrado biome. The absence of hematite in the clay fraction of the studied soils results in yellowing of the moister pedoenvironment along the chapada borders. This landscape position is typical for Plinthosols, from where eroded materials contribute to the formation of Cambisol downslope. The hematite occurs only in the sand fraction of Plinthosols, associated with petroplinthite nodules. Magnetite/maghemite were identified in both soils. In the Cambisols, the presence of mica detected by X-ray diffraction analysis of the sand fraction, and the presence of minerals with strong interference colors in the thin sections, besides the higher values of K_i and K_r indices, highlights the less weathered nature of Cambisols as compared to Plinthosols. The small amount of plasma (10 % of the thin section area) indicates the skeletal character of the studied soils. Plinthosols have a dense granular structure, whereas the pore space of the microstructure of pellicular grains of the Cambisols is less connected and dominated by chambers and channels.

Index terms: petroplinthite, iron oxides, yellowing, concretionary soils.

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de material mineral com diâmetro maior que 2 mm de alguns solos do bioma Cerrado é uma característica de interesse em se tratando de formação, classificação e uso desses solos. Um solo é considerado esquelético quando mais de 35 % e menos que 90 % do volume total de sua massa forem constituídos por material mineral com diâmetro maior que 2 mm (Embrapa, 1988). Nos Estados Unidos, eles compreendem 17 % das 12.620 séries de solo descritas (Miller & Donahue, 1990). Em um clima úmido, a ocorrência de calhaus e cascalhos decresce o

volume de solo disponível para exploração pelas raízes das plantas e, conseqüentemente, a produção de biomassa vegetal. Contudo, em um clima mais seco, como na região do Mediterrâneo, a presença de frações grosseiras na massa do solo desempenha importante papel contra o processo de desertificação (Moustakas et al., 1995).

Considerando as três superfícies geomórficas identificadas por Feuer (1956) na área do Distrito Federal, denominadas de primeira, segunda e terceira superfícies, os solos com caráter esquelético ocorrem em duas posições da paisagem. Nos limites da primeira superfície encontram-se solos com gran-

de quantidade de calhaus, cascalhos e matacões de petroplintita entremeados com material latossólico. Os corpos de petroplintita, localizados nas bordas das chapadas, são reconhecidos como estabilizadores dessas superfícies mais antigas e dificultam o desencadeamento de processos erosivos (Motta et al., 2002b). Na terceira superfície encontram-se Cambissolos fase pedregosa, representantes do compartimento erosional dessa superfície, onde a relação entre os solos e o substrato rochoso é estreita (Motta et al., 2002a).

Petroplintita é definida pela Embrapa (2006) como um material normalmente proveniente de plintita, que, sob efeito de ciclos repetitivos de umedecimento e secagem, sofre consolidação irreversível, dando lugar à formação de concreções ferruginosas de dimensões e formas variáveis, individualizadas ou aglomeradas. Por sua vez, plintita é uma formação constituída da mistura de argila, pobre em C orgânico e rica em Fe, ou Fe e Al, com quartzo e outros materiais (Embrapa, 2006). A formação de plintita envolve a flutuação do lençol freático, e sua espessura depende da flutuação da franja de capilaridade acima do lençol freático. Nessa zona de alternância de condições redutoras e oxidantes o Fe é solubilizado, criando áreas de depleção e segregação (Daugherty & Arnold, 1982). Na estação seca, o Fe precipita e se cristaliza em mosqueados vermelhos, que, ao se apresentarem fracamente cimentados, caracterizam a plintita. Caso essas camadas do solo, que sofrem excesso de água sazonal,

se tornem mais bem drenadas (por exemplo, pelo rebaixamento do nível do lençol freático por dissecação da paisagem), os minerais de Fe das plintitas tornam-se mais bem cristalizados, e estas secam irreversivelmente, tornando-se endurecidas, sendo denominadas então de petroplintitas. Dessa forma, a tendência é de que leitos concrecionários ocorram por toda a profundidade do solum ou acima de leitos de plintita. Para um caso inverso, a plintita poderia ter se formado em material depositado mais recentemente no topo de um leito concrecionário (Anjos et al., 1995).

Considerando a escassez de estudos sobre solos com caráter esquelético no Brasil, os objetivos do presente trabalho foram contrastar a mineralogia e a micromorfologia desses solos no Bioma Cerrado do leste de Goiás e relacionar essas características com alguns atributos físicos e químicos das amostras de solo estudadas, comparando-os, também, com outros perfis semelhantes descritos por Jacomine (1969), Brasil (1981, 1982), Embrapa (1983), Camargo et al. (1988), Carvalho Filho et al. (1993) e Jacomine et al. (1997).

MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem foi realizada no leste de Goiás (Figura 1). A figura 1c representa as posições da paisagem dos dois solos estudados, com três repetições de cada posição, todas sob cobertura vegetal nativa.

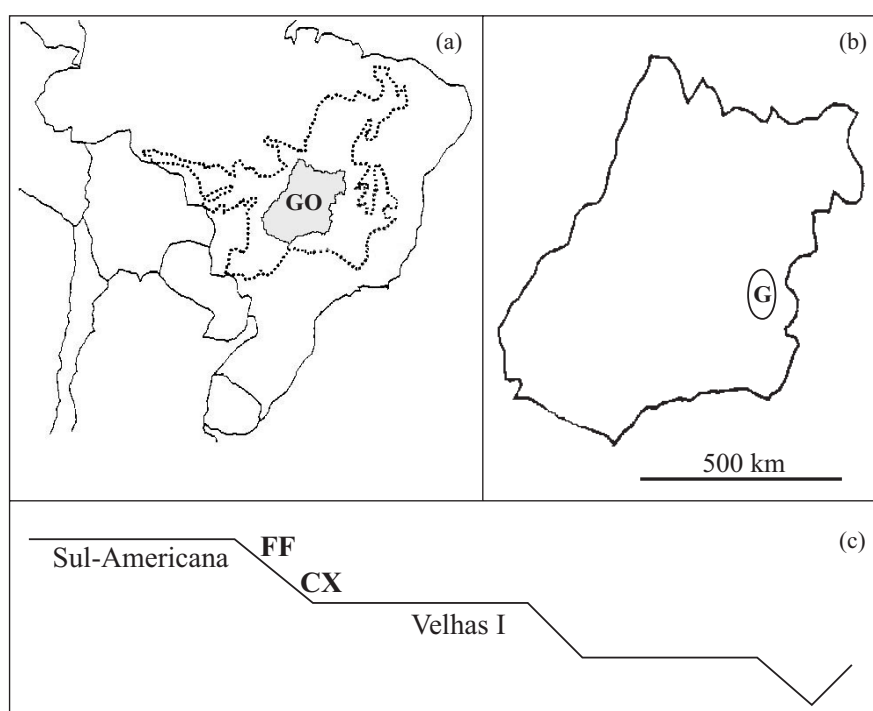


Figura 1. Mapa do Brasil, mostrando a região dos Cerrados e o Estado de Goiás (GO) (a). Mapa do Estado de Goiás, mostrando a localização aproximada da área de estudo – leste de Goiás (G) (b). Esquema mostrando as duas posições de amostragem (código dos perfis de solo) (c), conforme a superfície geomórfica da área de estudo (adaptado de Marques, 2000).

O quadro 1 apresenta informações com a classificação dos solos e outras características ambientais locais. O clima dominante da região é Aw, na classificação de Köppen, caracterizado pela temperatura do mês mais frio acima de 22 °C e precipitação do mês mais seco menor do que 60 mm (Adámoli et al., 1985; Resende et al., 1996). Acima de 1.000 m de altitude o clima é do tipo Cwa, que se difere de Aw pela média de temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C. Os meses com deficiência hídrica são os de maio a setembro (EPAMIG, 1982; Freitas & Blancaneaux, 1998; Marques, 2000).

Cada perfil de solo correspondeu a uma trincheira, que permitiu a descrição morfológica (Lemos & Santos, 1996) e as amostragens, realizadas em duas profundidades, totalizando 12 amostras. Cada profundidade representa um horizonte diagnóstico, superficial ou subsuperficial, de cada pedon. Para análise micromorfológica coletaram-se amostras indeformadas (sem repetição) do horizonte superficial de cada solo. As areias foram examinadas e caracterizadas nas amostras subsuperficiais dos dois solos estudados, também sem repetição.

As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Para extrações com oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), análise de difração de raios X (DRX) e análise térmica diferencial (ATD), foram separadas amostras de argila a partir da terra fina por sedimentação, após dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹ (Embrapa, 1997).

As análises físicas (granulometria) e químicas seguiram, de forma geral, as recomendações da Embrapa (1997). O Al foi extraído com KCl 1 mol L⁻¹ e determinado volumetricamente por titulação com NaOH. No mesmo extrato onde foi titulado o Al, foram titulados também o Ca e o Mg, os dois conjuntamente, com EDTA. O Ca foi determinado isoladamente em uma nova alíquota do extrato de KCl, por titulação com EDTA. Na determinação da acidez potencial (Al + H), a extração foi realizada com acetato de cálcio a pH 7, e o extrato, titulado com NaOH. A determinação de K e Na, extraídos com solução Mehlich-1, foi realizada por fotometria de chama. Com os resultados obtidos nas análises do

Quadro 1. Algumas informações ambientais dos solos esqueléticos estudados

Característica	Plintossolo Pétrico Concrecionário distrófico típico	Cambissolo Háplico Tb distrófico típico
Código	FF	CX
Constituição macroclástica ⁽¹⁾	Cascalhento a muito cascalhento	Cascalhento a muito cascalhento
Textura	Argilosa a muito argilosa	Média a argilosa
Estrutura dos horizontes amostrados	Material granular entremeado com glêbulas ferruginosas	Material entremeado com cascalho composto basicamente de quartzo
Situação	Trincheira ou corte de estrada na borda de chapada	Trincheira em terço médio a superior de encosta
Observação	Horizonte F iniciando-se acerca de 100 cm	Horizonte BC (xistoso) iniciando-se acerca de 90 cm
Declive (%)	1–4	14–31
Altitude (m)	970–1.000	840–960
Material de origem	Sedimentos argilosos de cobertura	Produto de alteração de xisto, com ou sem contribuição de material da primeira superfície geomórfica
Drenagem	Bem drenado	Bem drenado
Vegetação nativa	Cerrado a cerradão	Campo cerrado
Uso atual	Remanescente	Pastagem nativa
Coordenada Repetição A	16°16'54"S e 48°01'58"W	16°16'30"S e 48°02'22"W
Coordenada Repetição B	16°17'19"S e 48°00'19"W	16°15'43"S e 48°03'29"W
Coordenada Repetição C	16°43'32" S e 48°26'11"W	16°20'58"S e 48°02'46"W

⁽¹⁾ Cascalhento: indica que o horizonte amostrado apresenta cascalho em quantidade ≥ 150 e < 500 g kg⁻¹ de solo amostrado; muito cascalhento: indica que o horizonte amostrado apresenta cascalho em quantidade ≥ 500 g kg⁻¹ de terra amostrada.

complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), que é a soma de bases mais a acidez potencial ($H + Al$), e as saturações por bases (V) e Al (m). Foram determinados o pH em água e em KCl $1\ mol\ L^{-1}$. O C orgânico total foi determinado pela oxidação por dicromato de potássio. Foram realizadas as extrações de Fe, Al, Ti, P e Si no resíduo, após tratamento da TFSA com H_2SO_4 1:1 (volume). As relações moleculares SiO_2/Al_2O_3 (Ki), $SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ (Kr) e Al_2O_3/Fe_2O_3 foram calculadas.

O Fe também foi determinado na fração argila por absorção atômica, de acordo com os seguintes processos de extração: pelo DCB (Mehra & Jackson, 1960), utilizando-se duas extrações, e pelo oxalato ácido de amônio (Schwertmann, 1964).

Foram confeccionadas lâminas para a DRX da fração argila desferrificada por extração com DCB (Mehra & Jackson, 1960), após quatro extrações, e tratada com $NaOH$ $5\ mol\ L^{-1}$, para concentrar óxidos de ferro (Kämpf & Schwertmann, 1982b).

Nas amostras ferro-concentradas para a DRX, a halita foi adicionada para servir de padrão interno, objetivando a correção da posição dos reflexos dos diferentes minerais. Foram realizadas medidas visando à determinação da proporção de hematita (Hm) e goethita (Gt), por meio da razão entre as intensidades dos reflexos (012) da Hm e (110) da Gt (Kämpf & Schwertmann, 1982a) e da substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura da Gt (Schulze, 1984) e da Hm (Schwertmann et al., 1979).

A presença de caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) foi constatada por DRX no resíduo da argila desferrificada, e a ATD foi realizada com o objetivo de determinar a razão entre Ct e Gb nessas mesmas amostras.

A areia do horizonte subsuperficial, após dispersão da TFSA com $NaOH$ de forma semelhante ao preparo da amostra para granulometria (Embrapa, 1997), foi separada por tamisamento nas frações areia grossa (2,0–0,2 mm) e areia fina (0,2–0,05 mm). As duas frações foram observadas em lupa bilocular, espalhando-se pequenas quantidades do material em placas de Petri quarteadas, possibilitando a confecção de fotografias por câmera acoplada à bilocular e a quantificação dos grãos de quartzo, dos agregados que resistiram à dispersão da análise granulométrica e dos grãos de minerais pesados (incluindo magnéticos). Também foram realizadas observações de forma e cor desses materiais. Para aquelas amostras com quantidades significativas de agregados e de grãos pesados e magnéticos, foi realizada a DRX do material moído. A fim de separar os grãos pesados e magnéticos destas amostras, usou-se um magneto de mão e uma fase líquida de elevada densidade (tetrabrometano, densidade = $2,9\ Mg\ m^{-3}$). Os agregados foram separados manualmente. Todas as amostras foram testadas para reação à presença de H_2O_2 1:1 (v/v) a frio, visando à detecção de revestimentos de Mn.

As análises micromorfológicas foram feitas em lâminas delgadas de $3,5 \times 7,0\ cm$, impregnadas a vácuo, com resina de poliéster (Fitzpatrick, 1984), a partir de amostras indeformadas, e observadas em microscópio Zeiss, modelo Axioplan de luz plana, polarizada. As análises seguiram critérios estabelecidos em Brewer (1976), Bullock et al. (1985) e Lima et al. (1985). Quanto às micrografias, empregou-se o programa KS400 de análise de imagens da Zeiss, acoplado ao microscópio.

Um banco de dados de Plintossolos Pétricos e Cambissolos Háplicos com caráter cascalhento, ou concrecionário, ou fase pedregosa, sob vegetação nativa de Cerrado, foi gerado a partir de perfis selecionados (Jacomine, 1969; Brasil, 1981, 1982; Embrapa, 1983; Camargo et al., 1988; Carvalho Filho et al., 1993; Jacomine et al., 1997). Ele serviu como base comparativa na discussão dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Plintossolos Pétricos (FF) e os Cambissolos Háplicos (CX) estudados apresentam cores amarelas (Quadro 2). No caso dos FF, localizados na primeira superfície geomórfica em associação com Latossolos Amarelos (LA) e Vermelho-Amarelos (LVA), as cores amarelas ocorrem como consequência de um pedoambiente mais úmido. Essas áreas apresentam drenagem lateral reduzida exatamente pela presença de material petroplíntico nas bordas da chapada, condição favorável à dissolução de Hm e à persistência da Gt no sistema (Rodrigues & Klamt, 1978; Macedo & Bryant, 1987; Schwertmann, 1988). Os Latossolos de cores vermelhas correspondem às posições mais elevadas e centrais da mesma chapada (Motta et al., 2002a; Gomes et al., 2004b). As cores igualmente amarelas dos CX refletem a forte contribuição de materiais (amarelos) erodidos das bordas da chapada da primeira superfície geomórfica na formação desses solos (Quadro 1 e Figura 1).

A observação da distribuição de cascalho em profundidade mostra comportamento diferencial entre os solos estudados. Nos FF, a proporção de cascalho aumenta do horizonte superficial para o subsuperficial, ocorrendo o contrário nos perfis de CX. Dois aspectos podem estar contribuindo para esse comportamento diferencial. Inicialmente, a maior erosão natural da posição dos CX (14–31 % de declividade) relativamente à posição dos FF (1–4 % de declividade), removendo material mais fino do horizonte superficial daqueles solos (Quadro 1). O outro aspecto é a produção de terra fina em superfície nos FF, pela exposição dos corpos de petroplintita, o que aceleraria o intemperismo físico e biogeoquímico desses corpos.

Quadro 2. Cor e atributos físicos dos solos esqueléticos estudados

Perfil	Horizonte	Profundidade	Cor úmida	Cascalho	TF ⁽¹⁾	AMG ⁽¹⁾	AG ⁽¹⁾	AM ⁽¹⁾	AF ⁽¹⁾	AMF ⁽¹⁾	AT ⁽¹⁾	Silte	Argila
		cm		— g kg ⁻¹ ASA ⁽²⁾ —		— g kg ⁻¹ TFSA ⁽³⁾ —							
Plintossolo Pétrico Concrecionário distrófico típico													
FF1	Ac	0–20	10YR 3/2	451	550	60	57	65	171	74	427	181	392
	Bwc	60–80	7,5YR 5/8	853	147	17	17	19	81	95	229	173	598
FF2	Ac	0–20	10YR 4/3	607	393	67	103	169	244	57	640	137	223
	Bwc	60–80	7,5YR 5/8	814	186	43	53	66	138	84	384	137	479
FF3	Ac	0–20	10YR 3/3	697	303	21	81	136	163	30	431	134	435
	Bwc	60–80	10YR 5/7	829	171	16	31	59	83	30	219	95	686
Cambissolo Háplico Tb distrófico típico													
CX1	A	0–20	10YR 4/3	697	303	31	30	62	179	77	379	248	373
	Bi	60–80	7,5YR 5/8	621	379	28	24	22	69	81	224	285	491
CX2	A	0–20	10YR 4/4	801	199	35	27	40	126	76	304	298	398
	Bi	60–80	7,5YR 5/8	740	260	21	21	12	47	81	182	300	518
CX3	A	0–20	10YR 4/4	707	293	60	38	30	116	178	422	345	233
	Bi	60–80	7,5YR 5/7	235	765	8	11	9	46	270	344	423	233

⁽¹⁾ TF: terra fina; AMG: areia muito grossa (2–1 mm); AG: areia grossa (1–0,5 mm); AM: areia média (0,5–0,25 mm); AF: areia fina (0,25–0,1 mm); AMF: areia muito fina (0,1–0,05 mm); AT: areia total. ⁽²⁾ ASA: amostra seca ao ar. ⁽³⁾ TFSA: terra fina seca ao ar.

Características químicas e mineralógicas

Os solos das duas posições apresentam muito baixa oferta de nutrientes (Quadro 3). Os FF apresentam maior teor de C orgânico superficial, o que reflete uma posição de paisagem mais estabilizada (menor taxa de erosão) relativamente aos CX, além da diferença imposta pela vegetação nativa (cerrado a cerradão nos FF e campo cerrado nos CX – Quadro 1).

Os CX mostraram relações Ki e Kr bem mais elevadas que os FF. Uma vez que a matriz dos FF estudados tende a se assemelhar à dos Latossolos que os cercam e que gradam para eles, o Ki e o Kr esperado desses solos são baixos. Latossolos da mesma área de estudo apresentaram valores médios de Ki e Kr de, respectivamente, 0,64 e 0,55 (Gomes et al., 2004a), contra 0,90 e 0,65 do FF e 1,69 e 1,24 do CX. Convém ressaltar que perfis de FF do bioma Cerrado podem alcançar valores de Ki e Kr bem mais elevados (Figura 2), máximo de 2,62 e 2,02, respectivamente (valores do banco de dados).

Os valores de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico (TFSA) são, de forma geral, maiores nos FF em comparação aos CX. Ao analisar os valores mais baixos de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico de LA locais analisados por Gomes et al. (2004a), fica evidente que os corpos de petroplintita

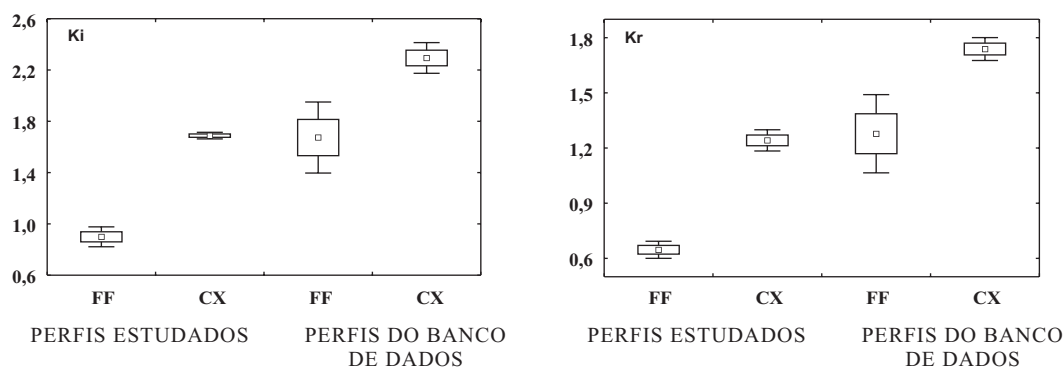
das frações mais grosseiras da TFSA (Figura 3a,b) estão contribuindo para aumentar o Fe₂O₃ do ataque sulfúrico dos FF (média de 93 g kg⁻¹ dos LA contra 122 g kg⁻¹ dos FF). As relações Feo/Fed são, de forma generalizada, muito baixas, refletindo a elevada estabilidade das formas cristalinas de Fe, em consonância com os ambientes de solos aqui estudados.

A mineralogia dos solos estudados evidencia a ausência de Hm na fração argila (Quadro 4), considerando a relação entre os picos Gt₁₃₀ e Gt₁₁₁ das DRX das amostras ferro-concentradas. Shadfan et al. (1985) encontraram Hm na matriz e nas glébulas ferruginosas de quatro solos plínticos, e a relação Gt/Hm sempre foi maior nos materiais de solo do que nas glébulas. A Hm aparece na fração pesada e magnética da fração areia dos FF, evidentemente associada aos vários nódulos ferruginosos. Ela também pode estar associada aos agregados resistentes à dispersão química (Figura 3a,b), à semelhança da Hm detectada nos LA que bordeiam a chapada, estudados por Gomes et al. (2004b), e que também são isentos de Hm na fração argila.

A presença de relações Ct/(Ct + Gb) baixas na argila dos FF mostra como a mineralogia de solos plínticos pode ser diferenciada em função do material a partir do qual se desenvolvem – no caso, material

Quadro 3. Atributos químicos dos solos esqueléticos estudados do leste de Goiás

Perfil	Horiz.	Terra fina seca ao ar										Ataque sulfúrico						Argila			
		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	CTC	V	m	CO ⁽¹⁾											
		H ₂ O																			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d									
			— cmol _c kg ⁻¹ —				— % —				— g kg ⁻¹ —				— g kg ⁻¹ —						
Plintossolo Pétrico Concrecionário distrófico típico																					
FF1	Ac	4,7	0,4	0,2	0,17	1,2	7,8	10	61	21,5	77	197	109	12	0,29	0,67	0,49	42,70	1,13	0,03	
	Bwc	5,1	0,6	0,2	0,09	0,6	4,5	20	40	8,2	130	270	106	13	0,23	0,82	0,65	59,58	0,63	0,01	
FF2	Ac	4,9	0,7	0,2	0,16	1,4	7,4	14	57	20,6	76	114	103	7	0,17	1,13	0,72	59,95	1,19	0,02	
	Bwc	4,9	0,4	0,1	0,08	1,1	4,6	13	66	6,9	136	196	120	9	0,17	1,18	0,85	73,86	0,53	0,01	
FF3	Ac	4,6	0,5	0,2	0,10	1,2	9,6	8	60	22,3	105	208	149	27	0,44	0,86	0,59	63,02	1,13	0,02	
	Bwc	4,7	0,3	0,1	0,05	0,0	3,0	15	0	6,9	140	317	146	28	0,38	0,75	0,58	62,06	0,52	0,01	
Cambissolo Háplico Tb distrófico típico																					
CX1	A	4,7	0,8	0,2	0,18	2,2	7,5	16	65	11,5	162	155	76	7	0,17	1,77	1,35	64,02	1,22	0,02	
	Bi	5,1	0,8	0,2	0,09	1,9	6,7	16	64	6,2	210	202	99	9	0,14	1,77	1,35	75,23	0,89	0,01	
CX2	A	5,2	0,8	0,4	0,25	0,8	5,9	24	36	16,7	157	160	75	6	0,28	1,66	1,28	74,79	0,73	0,01	
	Bi	5,4	0,4	0,2	0,11	0,3	3,0	24	30	5,6	194	206	100	9	0,20	1,60	1,22	73,43	0,44	0,01	
CX3	A	5,0	0,6	0,2	0,18	1,3	5,0	20	57	15,9	100	103	122	11	0,20	1,64	0,94	45,93	1,34	0,03	
	Bi	5,3	0,2	0,1	0,08	0,7	2,3	17	65	4,4	120	121	55	8	0,14	1,69	1,31	61,72	0,85	0,01	

⁽¹⁾ CO: C orgânico.**Figura 2. Médias, erro-padrão (box) e intervalo de confiança (erro-padrão . 1,96) das relações Ki e Kr de amostras de Plintossolo Pétrico (FF) e de Cambissolo Háplico (CX) estudadas e recuperadas de diversas fontes (Jacomine, 1969; Brasil, 1981, 1982; Embrapa, 1983; Camargo et al., 1988; Carvalho Filho et al., 1993; Jacomine et al., 1997).**

latossólico – e indiferente ao processo comum na formação dessas glêbulas, sempre provenientes de um regime de umidade diferenciado (oscilação do lençol freático). Anjos et al. (1995) e Daugherty & Arnold (1982) detectaram minerais 2:1 na DRX da fração argila de solos plínticos; os primeiros não detectaram Gb em nenhum dos solos estudados. Para os corpos

de petroplintita, podem-se citar as sem Gb estudadas por Eswaran & Raghu Mohan (1973) no sul da Índia. Já Coelho & Vidal-Torrado (2003) chamam a atenção para a presença comum de feldspatos e micas de nódulos e concreções ferruginosas, encontrados em perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.

Quadro 4. Quantificação de nódulos e agregados residuais e de grãos minerais pesados e magnéticos na fração areia e atributos mineralógicos de amostras selecionadas dos solos esqueléticos estudados

	Horizonte Bwc do Plintossolo Pétrico FF	Horizonte Bi do Cambissolo CX
Nódulos e agregados residuais da fração areia	1 % na areia fina e 21 % na areia grossa	Traços
Pesados e magnéticos da fração areia	10 % na areia fina e 19 % na areia grossa	1 % na areia fina e na areia grossa
Mineralogia da fração areia	Domina o quartzo, aparecendo goethita, hematita e caulinita em nódulos petroplínticos da fração areia grossa	Domina o quartzo, aparecendo mica na fração areia fina
Mineralogia de pesados e magnéticos da fração areia	Quartzo, hematita, goethita, magnetita, maghemita e anatásio	Não analisados por se apresentarem em quantidades ínfimas
Mineralogia da fração argila	Caulinita, gibbsita, goethita, anatásio e magnetita/maghemita	Caulinita, gibbsita, goethita, anatásio, magnetita/maghemita e mica
Ct/(Ct + Gb) ⁽¹⁾	0,30	0,48
SI Gt ⁽²⁾ (mmol mol ⁻¹)	33	28

⁽¹⁾ Ct/(Ct + Gb): relação caulinita/(caulinita+gibbsita) definida a partir da análise térmica diferencial. ⁽²⁾ SI Gt: substituição isomórfica de Fe por Al na goethita.

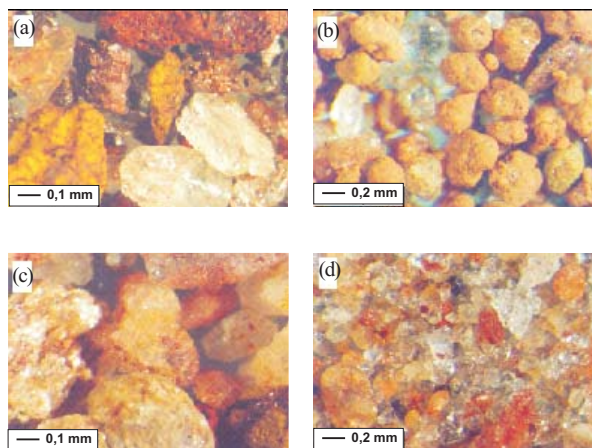


Figura 3. Fotografias de amostras de horizontes subsuperficiais: (a) areia fina, perfil FF1, podendo-se observar grãos de quartzo, nódulos ferruginosos e minerais escuros; (b) areia grossa, perfil FF1, com grande quantidade de agregados residuais; (c) areia fina, perfil CX2, com grãos de quartzo e um grão de mineral escuro abaixo e à direita; (d) areia grossa, perfil CX2, com domínio de grãos de quartzo e pequenos grãos de mineral escuro (do centro para o lado esquerdo da foto).

Magnetita/maghemita foram detectadas nas duas classes de solos, como revelado pelos reflexos encontrados (34,65–34,85 ° 2θ e 40,65–40,75 ° 2θ) em amostras de argila Fe-concentradas. Uma vez que a magnetita do solo é facilmente oxidada a maghemita (Schwertmann & Taylor, 1989), pode-se supor grande variedade dos dois minerais nos solos estudados, com vários graus de transformação de magnetita para maghemita. Quanto à origem delas, a mais provável é a degradação das glébulas ferruginosas, atingindo o tamanho da fração argila; nos CX, estariam associadas à contribuição de material da primeira superfície geomórfica (Quadro 1) com essas mesmas características. Nos FF, grãos minerais e magnéticos da fração areia mostraram picos relativos a magnetita/maghemita (Figura 3 e Quadro 4), como esperado. Para formação inicial de magnetita, Viana et al. (2006) consideraram que o processo pode ter sido iniciado pela exposição das estruturas nodulares ricas em Fe no Terciário superior. A ocorrência de regimes cíclicos de fogo na vegetação nativa, os quais ainda ocorrem, teria promovido a formação de magnetita a partir de substrato rico em Fe³⁺, em um ambiente quimicamente redutor e com temperaturas elevadas.

As areias dos CX são basicamente formadas de quartzo (Quadro 4 e Figura 3c,d), com detecção de mica na fração areia fina. Nos CX, a presença de

mica (frações areia e argila) e maior relação Ct/(Ct + Gb), além dos maiores valores das relações Ki e Kr, serve para realçar um material menos intemperizado desses solos, relativamente aos FF, como seria de se prever.

Caulinita, gibbsita, goethita e anatásio completam a lista de minerais presentes na fração argila dos dois solos.

Micromorfologia

O principal diferencial micromorfológico entre os dois solos estudados é a natureza do esqueleto. O FF é dominado por nódulos, enquanto o CX é dominado por grãos de Qz (Quadro 5 e Figuras 4 e 5). Outras diferenças realçadas são a microestrutura, a distribuição do plasma e a quantidade e tipo de porosidade.

Quadro 5. Características micromorfológicas dos solos esqueléticos estudados

Característica	Horizonte A do Plintossolo Pétrico FF	Horizonte Bi do Cambissolo CX
Microestrutura	Granular adensada entre glébulas	De câmara (entre cascalhos e calhaus) e de grãos com películas
Quartzo do esqueleto	13 % do fundo matricial, em parte fraturado e ferruginizado	78 % do fundo matricial, maior parte em frações mais grosseiras que areia; muito fraturado
Outros minerais do esqueleto	Apenas traço no fundo matricial, grãos com cores de interferência fortes	Grãos pequenos, dentro dos agregados, com cores de interferência fortes
Plasma	10 % do fundo matricial formando agregados pouco distintos	10 % do fundo matricial, distribuição relativa ao esqueleto porfírica
Cor do plasma (luz polarizada)	10YR 6/8	2,5Y 6/8
Porosidade	28 % do fundo matricial, de empilhamento (entre nódulos)	8 % do fundo matricial, alvéolos e de canais (entre cascalhos e calhaus)
Raízes	6 % do fundo matricial	4 % do fundo matricial
Opacos	Apenas traços no fundo matricial	Apenas traços no fundo matricial
Nódulos	43 % do fundo matricial, maior parte em frações mais grosseiras que areia; porosos; pequenos nódulos dentro do plasma; córtex opaco	1 % do fundo matricial

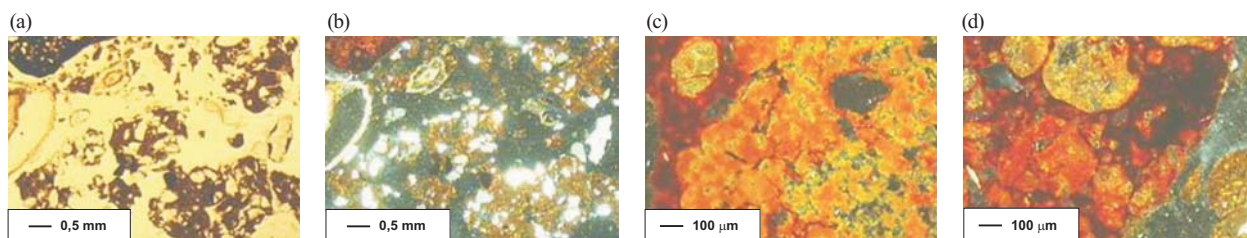


Figura 4. Micrografias do horizonte A do Plintossolo Pétrico Concrecionário distrófico típico – leste de Goiás (FF1). (a) espaço entre nódulos, apresentando-se muito poroso, com muito quartzo e pouco plasma e com fragmentos de raiz; (b) idem anterior, sob nicóis cruzados, onde se observa melhor a estrutura esponjosa do espaço entre nódulos; (c) nódulo petroplintico, mostrando à esquerda seu limite externo (córtex) vermelho-escuro pela precipitação de materiais ferruginosos e seu interior de plasma amarelo a vermelho-amarelo, com espaço poroso significativo; (d) nódulo petroplintico, onde o cimento ferruginoso está espalhado [micrografia (a) sob luz polarizada em um plano, sendo as restantes sob nicóis cruzados].

Ambos apresentam pequena quantidade de plasma (10 % em relação à área das lâminas estudadas). O pouco plasma do FF comporta-se de forma próxima à dos LA estudados por Gomes et al. (2004b), apresentando estrutura granular adensada (Figura 4a,b). Essa microestrutura facilita o empacotamento do espaço poroso. O CX apresenta o espaço poroso menos conectado e dominado por alvéolos e canais. A quantidade de plasma (Figura 5a,b) não chega a influenciar o espaço poroso da lâmina, que é pequeno em razão da grande presença de grãos de Qz (78 % da lâmina), conferindo uma natureza porfírica.

A associação de pouca quantidade de plasma e de grande quantidade de Qz no esqueleto auxilia o aparecimento da microestrutura de grãos com

películas no CX (Figura 5c,d,e), fato também constatado em Latossolos de textura média e Neossolos Quartzarênicos (Lima, 1988; Gomes et al., 2004b).

As glébulas (nódulos) dos FF apresentam-se bastante porosas (Figura 4c,d), o que deve contribuir para aumentar a capacidade de armazenamento de água desses solos (Brouwer & Anderson, 2000). Parte das glébulas ocorrentes em CX (1 % da matriz, Figura 5c) pode ser considerada como contribuição de material de montante (primeira superfície geomórfica) e parte é, mais provavelmente, autóctone e inclui no seu interior minerais com cores de interferência fortes (Figura 5d), produtos de alteração da litologia local (xistos).

CONCLUSÕES

1. Os Plintossolos Pétricos e os Cambissolos Háplicos estudados apresentam valores médios de Ki e Kr relativamente baixos quando comparados com outros solos das mesmas classes e com caráter esquelético do bioma Cerrado.

2. A ausência de hematita na fração argila dos solos estudados reflete um processo de xantização do pedoambiente mais úmido das bordas da chapada, local de ocorrência dos Plintossolos Pétricos e de onde se origina o material que contribui para formação dos Cambissolos Háplicos. A hematita só aparece na fração areia dos Plintossolos, associada aos corpos de petroplintita.

3. Os solos estudados apresentam pequena quantidade de plasma argiloso, 10% em relação à área das lâminas estudadas, como consequência do seu caráter esquelético.

4. Nos Cambissolos Háplicos, a presença de mica na fração areia e de minerais com cores de interferência fortes nas lâminas delgadas realça o material menos intemperizado, em relação aos Plintossolos Pétricos.

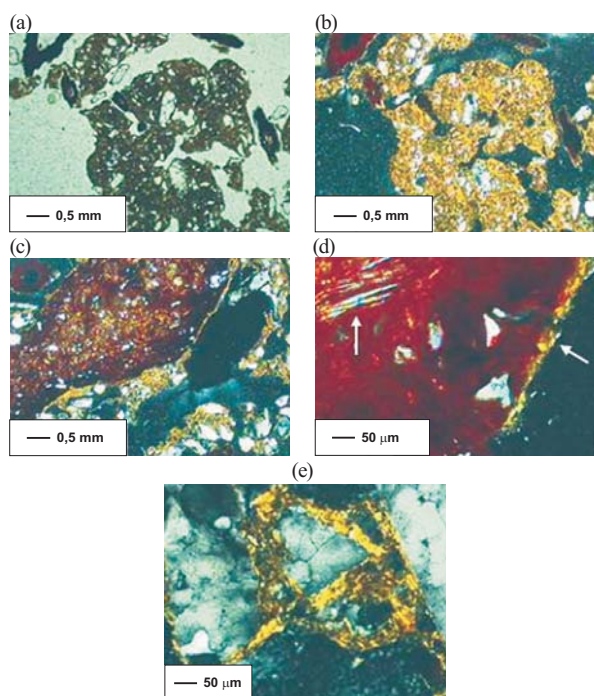


Figura 5. Micrografias do horizonte A do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, leste de Goiás (CX1). (a) espaço entre cascalhos e calhaus, apresentando-se muito poroso (canais e alvéolos), com o pouco plasma de distribuição porfírica relativamente ao esqueleto e com fragmentos de raiz; (b) idem anterior, sob nicóis cruzados; (c) nódulo ferruginoso, quase opaco, revestido por película de material fino (plasma), fragmentos de raiz e canais de atividade biológica; (d) detalhe de nódulo ferruginoso, quase opaco – reparar em cima, à esquerda, minerais aciculares com cores de interferência fortes e, à direita, revestimento de material fino (plasma) (setas indicando); (e) grãos de quartzo do esqueleto revestidos por película de material fino (plasma) [micrografia (a) sob luz polarizada em um plano, sendo as restantes sob nicóis cruzados].

LITERATURA CITADA

- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G. & MADEIRA N., J.S. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Embrapa/Nobel, 1985. p.33-74.
- ANJOS, L.H.C.; FRANZMEIER, D.P. & SCHULZE, D.G. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão state, Brazil. *Geoderma*, 64:257-279, 1995.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. RADAMBRASIL. Folha SC.22 Tocantins: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 524p. (Levantamento de Recursos Naturais, 22)

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. RADAMBRASIL. Folha SD.21 Cuiabá: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 544p. (Levantamento de Recursos Naturais, 26)
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. New York, R.E. Krieger, 1976. 482p.
- BROUWER, J. & ANDERSON, H. Water holding capacity of ironstone gravel in a typic Plinthoxeralf in southeast Australia. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1603-1608, 2000.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. Wolverhampton, Waine Research Publications, 1985. 153p.
- CAMARGO, M.N.; KLIMBLE, J.M. & BEINROTH, F.H. Proceedings of eighth international soil classification workshop. Classification, characterization and utilization of Oxisols.: Field trip background site and pedon descriptions analytical data. Rio de Janeiro, SNLCS-Embrapa/SMSS-SCS/UPR, 1988. Part 2. 240p.
- CARVALHO FILHO, A.; FRAGA, A.G.F.; MOTTA, P.E. & OLIVEIRA, V.A. Guia de excursão de pedologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24. Goiânia, 1993. Não Publicado.
- COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I - Mineralogia. R. Bras. Ci. Solo, 27:495-507, 2003.
- DAUGHERTY, L.A. & ARNOLD, R.W. Mineralogy and iron characterization of plinthitic soils on alluvial landforms in Venezuela. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1244-1252, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Embrapa/Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento - normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (Embrapa. SNLCS. Documentos, 11)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do Rio Paraná, Estado de Goiás. Rio de Janeiro, 1983. 503p. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 23)
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG/INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA/UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Atlas climatológico do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1982. Não Paginado.
- ESWARAN, H. & RAGHU MOHAN, N.G. The microfabric of petroplinthite. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:79-82, 1973.
- FEUER, R. An exploratory investigation of the soils and agricultural potential of the soils of the future Federal District in the central plateau of Brazil. Ithaca, Cornell University, 1956. 432p. (Tese de Doutorado)
- FITZPATRICK, E.A. Micromorphology of soils. London, Chapman and Hall, 1984. 433p.
- FREITAS, P.L. & BLANCANEUX, P. Avaliação sobre os aspectos climatológicos e hidrológicos da microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In: BLANCANEUX, P., ed. Interações ambientais no cerrado. Microbacia piloto de Morrinhos, Estado de Goiás, Brasil. Brasília, Embrapa/Produção de Informação, 1998. p.33-52.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28:137-153, 2004a.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; SCHULZE, D.G.; MARQUES, J.J.G.S.; KER, J.C. & MOTTA, P.E.F. Mineralogia, morfologia e análise microscópica de solos do bioma cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28:679-694, 2004b.
- JACOMINE, P.K.T. Descrição das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de cerrado. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 125p. (Boletim Técnico, 11)
- JACOMINE, P.K.T.; MOREIRA, M.L.C.; SOBRINHO, J.B.P.L.; VASCONCELOS, T.N.N. & GONZALA, L.N. Guia da correlação pedológica em uma área do Pantanal de Mato Grosso e região de influência. Correlação de Solos. Cuiabá, PRODEAGRO-ZONEAMENTO/Embrapa Solos/ PNUD, 1997. Não Publicado.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Quantitative determination of goethite and hematite in kaolinitic soils by X-ray diffraction. Clay Miner., 17:359-363, 1982a.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. Clays Clay Miner., 30:401-408, 1982b.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/SNLCS, 1996. 84p.
- LIMA, P.C.; CURI, N. & LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. B. Inf. SBCS, 10:33-43, 1985.
- LIMA, P.C. Micromorfologia de "horizonte B" de Latossolos do Sudeste e do Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. p.391-411.
- MACEDO, J. & BRYANT, R.B. Morphology, mineralogy, and genesis of a hydrosequence of Oxisols in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:690-698, 1987.

- MARQUES, J.J.G.S.M. Trace element distributions in Brazilian cerrado soils at the landscape and micrometer scales. West Lafayette, Purdue University, 2000. 172p. (Tese de Doutorado)
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings. New York, 1960. p.317-327.
- MILLER, R.W. & DONAHUE, R.L. Soils: An introduction to soils and plant growth. 6.ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990. 768p.
- MOTTA, P.E.F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO J., W. & BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:869-878, 2002a.
- MOTTA, P.E.F.; CURTI, N. & FRANZMEIER, D.P. Relation of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P.S. & MARQUES, R.J., eds. *The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna*. Chicago, Columbia University Press, 2002b. p.13-32.
- MOUSTAKAS, N.C. KOSMAS, C.S.; DANALATOS, N.G. & YASSOGLOU, N. Rock fragments I. Their effect on runoff, erosion and soil properties under field conditions. *Soil Use Manag.*, 11: 115-120, 1995.
- RESENDE, M.; KER, J.C. & BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. *Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.169-199.
- RODRIGUES, T.E. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:132-139, 1978.
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. VII: Unit cell dimensions of Al substituted goethites and estimation of Al from them. *Clays Clay Miner.*, 32:36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. *Iron in soils and clay minerals*. Dordrecht, Reidel, 1988. p.267-308.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.145-180.
- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R.W.; TAYLOR, R.M. & LEWIS, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. Part II: Preparation and properties of Al-substituted hematites. *Clays Clay Miner.*, 27:105-112, 1979.
- SHADFAN, H.; DIXON, J.B. & CALHOUN, F.G. Iron oxide properties versus strength of ferruginous crust and iron-glaebules in soils. *Soil Sci.*, 140:317-325, 1985.
- VIANA, J.H.M.; COUCEIRO, P.R.C.; PEREIRA, M.C.; FABRIS, J.D.; FERNANDES F., E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; RECHENBERG, H.R.; ABRAHÃO, W.A.P. & MANTOVANI, E.C. Occurrence of magnetite in the sand fraction of an Oxisol in the Brazilian savanna ecosystem, developed from a magnetite-free lithology. *Austr. J. Soil Res.*, 44:71-83, 2006.