

Características químicas e mineralogia de solos perférricos da Serra Sul de Carajás Chemical and mineralogy of iron rich soils from Serra Sul de Carajás

Carlos Ernesto G. R. Schaefer^I, Acauã Santos de Saboya Ribeiro^I,
Guilherme Resende Corrêa^{III}, Elias de Lima Neto^I, Felipe Nogueira Bello Simas^I, João Carlos Ker^I

^IUniversidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil

^{II}Bioma Consultoria Ambiental. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

^{III}Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Resumo: A Serra Sul, localizada no sudeste do estado do Pará, representa o mais extenso platô de canga na paisagem da Serra dos Carajás, abrigando diversos ecossistemas, desenvolvidos sobre formações ferríferas com elevado grau de conservação. Foram analisados 13 perfis de solos representativos dos ambientes de canga ferrífera da região. Os principais tipos de solos são: Plintossolos Pétricos, Latossolos Vermelhos e Organossolos Háplicos, associados a diferentes fitofisionomias. De modo geral, são solos ácidos, distróficos, com elevados teores de Fe (30-50%) e teores de P muito baixos, exceto em áreas afetadas por aportes biogênicos (fauna). As formas cristalinas de ferro predominaram sobre as menos cristalinas ou amorfas. Os resultados mostraram que a substituição isomórfica de Fe por Al foi muito variável, com maiores valores na goethita em relação à hematita. A hematita predomina sobre a goethita nos solos bem drenados. Entre os microelementos, o Mn destaca-se pelas maiores concentrações e grande variabilidade entre os solos estudados. Hematita, goethita e maghemita foram os minerais predominantes na fração de argila desses solos. O material de origem, rico em ferro, e as condições pedobioclimáticas são os principais fatores controladores da diversidade das características observadas nos solos, sendo a fração mineral desenvolvida por meio da degradação de canga ferrífera.

Palavras-chave: Amazônia. Plintossolos. Latossolos. Canga ferrífera. Solos perférricos.

Abstract: The Serra Sul of Carajás located in the SE State of Pará in Amazon is the most extensive plateau in the mountain landscape of Serra de Carajás, possessing various ecosystems developed on ironstone formations with a high degree of conservation. Were analyzing 13 representative soils developed from iron band formation. The main types of soils are: Petric Plinthosols, Oxisols and Haplic Organosols, with strong association with different vegetation pattern. Soils are generally acid, dystrophic, with high Fe level (30-50%) and very low P levels, except in areas affected by biogenic contributions (fauna). In most soils crystalline forms of iron predominated over less crystalline forms, or amorphous. The isomorphic substitution of Fe for Al was very variable, with higher values in the goethite that in hematite. Hematite predominates over goethite in well-drained soil, with the opposite for lowland soils. Among the microelements, Mn showed the highest levels and high variability between soils. The goethite, hematite and maghemita are the predominant minerals in the clay fraction of these soils. We concluded that the Fe-rich ironstone parent material and pedobioclimatic conditions are the main drivers that control the diversity of soil characteristics studied. All mineral fractions of soils are developed from the degradation of ironstone crust.

Keywords: Amazon. Plinthosols. Latosols. Ironstone. Iron rich soils.

SCHAEFER, C. E. G. R., A. S. S. RIBEIRO, G. R. CORRÊA, E. LIMA NETO, F. N. B. SIMAS & J. C. KER, 2016. Características químicas e mineralogia de solos perférricos da Serra Sul de Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 11(1): 57-69.

Autor para correspondência: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Av P.H. Rolfs, sn – Centro. Viçosa, MG, Brasil. CEP 36571-000 (reyschaefer@yahoo.com.br).

Recebido em 02/02/2015

Aprovado em 23/03/2016

Responsabilidade editorial: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo



INTRODUÇÃO

A Serra de Carajás é uma importante área mineral brasileira, em razão de conter as maiores jazidas de ferro de alto teor do mundo (18 bilhões de toneladas, com mais de 65% de Fe), abrigando os mais extensos platôs de concreções ferruginosas (Lindenmayer *et al.*, 2001). Os ecossistemas da Serra de Carajás são altamente adaptados às difíceis condições ambientais, caracterizadas pela baixa oferta de nutrientes, grande variação da disponibilidade hídrica, elevados teores de metais pesados e por solos rasos (Vincent & Meguro, 2008).

A Serra de Carajás encontra-se inserida no Domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, embasado por rochas arqueanas dobradas, com grau metamórfico baixo. As rochas que formam essa Serra são associadas ao Grupo Grão Pará, cujas formações Parauapebas, Carajás e Águas Claras são encontradas em diferentes níveis (Beisiegel *et al.*, 1973). As formações ferríferas de Carajás estão associadas ao jaspilito da Formação Carajás, que, assim como no Itabirito do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, são compostas por rochas consideradas protominérios, ou seja, por rochas que deram origem ao minério de ferro. O jaspilito, bem como o itabirito, é uma formação ferrífera bandada que marcou grande ciclo vulcanossedimentar no final do Arqueano e do Proterozoico (Rosière *et al.*, 2006; Klein & Ladeira, 2002; Figueiredo e Silva *et al.*, 2013). A origem dos teores anômalos de ferro, associados à formação ferrífera de Carajás, é vinculada à sedimentação Arqueana marinha, rica em ferro (Lindenmayer *et al.*, 2001).

Sob o ponto de vista climático, a região está localizada na faixa conhecida como corredor seco da Amazônia oriental, representando uma faixa climática transicional entre a bacia amazônica e o planalto brasileiro, apresentando grande variedade de fácies locais com pequena expressão geográfica (Vanzolini & Brandão, 1986). Como zona de tensão ecológica em escala regional, o relevo e o conjunto de condições climáticas característicos de Carajás tornaram possível a coexistência de paisagens diferentes, que incluem solos tropicais profundos, cobertos

por floresta ombrófila, lado a lado com vegetações ora florestais ora abertas (campestres), de caráter estacional, nas vertentes escarpadas e em alguns relevos mais altos, com coberturas pedológicas muito pouco desenvolvidas.

Nos locais de ocorrência das formações ferríferas bandadas, há a formação de concreções ferruginosas superficiais. Tal formação decorre do processo de dessilificação do material de origem e alternância do regime hídrico. Quando o íon Fe^{2+} é solúvel na forma reduzida, e passa a movimentar-se facilmente no sistema via solução, parte deles é perdida via lixiviação, e o restante precipita-se na forma de óxido, em locais nos quais o nível de oxigênio é maior, ou no solo como um todo, quando as condições passam de redutoras a oxidantes (Oliveira *et al.*, 2001). As concreções ferruginosas também são denominadas de cangas, piçarra, couraça ferruginosa, couraça laterítica, ferricrete, petroplintita, pedra cupim, entre outros termos (Curi & Kampf, 2012).

As concreções ferruginosas na região amazônica normalmente constituem a superfície dos terrenos atuais, na forma de crostas ferruginosas ou ferroaluminosas, bem como na forma de espessos pacotes de solos arenoargilosos e concrecionários, de cor amarela ou vermelha (Costa *et al.*, 2005). Essas concreções são ricas em Fe e Al e pobres em Si, K e Mg (Costa, 1991).

Segundo Schaefer *et al.* (2007), a maior parte da Serra Sul de Carajás é formada por Plintossolos Pétricos, além de, em menores proporções, Cambissolos, Latossolos e Organossolos. Os Plintossolos são solos constituídos por material mineral que apresentam horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. O horizonte diagnóstico plíntico é definido de acordo com a quantidade de plintita, cuja espessura deve ser de, no mínimo, 15 cm, podendo conter mais de 15% de plintita por volume (EMBRAPA, 2013).

A plintita é definida como uma formação constituída de mistura de material de argila com grãos de quartzo e de outros minerais, pobre em carbono e rica em Fe, ou Fe e Al, que, sob vários ciclos de umedecimento e secagem, consolidam-se irreversivelmente (Corrêa, 2011).

O Fe envolvido nesse processo pode ser proveniente do material de origem ou translocado de outros horizontes, e até mesmo de áreas adjacentes mais elevadas.

Em função da pouca importância agrônômica da Serra Sul de Carajás, os estudos pedológicos são raros e pouco aprofundados (Brasil, 1974a, 1974b; Falesi, 1986). Sabendo do importante papel do solo como recurso ambiental, este estudo tem por objetivo caracterizar os atributos químicos e mineralógicos de solos representativos da Serra Sul dos Carajás a fim de subsidiar medidas de conservação ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO

Após percorrer a área de estudo, foram selecionados treze perfis de solos representativos dos principais geoambientes que compõem a paisagem da Serra Sul. Para melhor entender os fatores e os processos envolvidos na gênese desses solos, foram utilizados como base para a seleção dos geoambientes os estudos de Schaefer *et al.* (2007). Na Tabela 1, são apresentadas informações de localização e características ambientais de cada perfil em seu respectivo geoambiente. Os solos foram classificados até o quarto nível categórico, conforme consta no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

As amostras de solos foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização mineralógica foi realizada nas frações argila, silte e areia fina, conforme EMBRAPA (1997).

ANÁLISES QUÍMICAS

Ataque sulfúrico

Foram selecionados os perfis 1, 2, 4, 11 e 12, representativos de diferentes unidades geoambientais (Tabela 1), para a análise por ataque sulfúrico. Para tal, 1 g de TFSA foi colocada em tubos de bloco digestor, sendo adicionados 20 ml da solução H_2SO_4 9 mol l⁻¹. Os tubos acondicionados em bloco digestor

foram aquecidos até 170 °C por 1 h (EMBRAPA, 1997). A solução final foi filtrada em papel filtro lento. Nos extratos obtidos, foram determinadas as concentrações de Al, Fe e Ti por meio da espectrofotometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). O resíduo restante no papel filtro foi transferido para *erlenmeyers*, aos quais foram adicionados 4 ml de NaOH 30%. O material foi aquecido até a fervura, deixando-se posteriormente resfriar. A solução final foi avolumada para 200 ml (EMBRAPA, 1997), e sua determinação foi realizada por espectroscopia de absorção atômica (240FS AA, Agilent Technology).

A partir dos resultados do ataque sulfúrico, foram calculados o Ki (SiO_2/Al_2O_3) e Kr ($SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$), índices que estão relacionados ao estado de intemperismo dos solos.

Extração de ferro e alumínio

As extrações de alumínio e de ferro por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) foram realizadas segundo Mehra & Jackson (1960). Em tubos para centrifuga, foram adicionados 1 g da fração argila do solo e 40 ml de solução, contendo 0,3 mol L⁻¹ de solução de citrato e 5 ml de solução de bicarbonato 1 mol l⁻¹. Os tubos foram aquecidos a uma temperatura entre 75 a 80 °C. Então, 1 g de ditionito em pó foi adicionado aos tubos, e estes foram agitados por 1 minuto, eventualmente a cada 15 minutos. Ao final de 15 minutos de digestão, a solução foi dispersada pela adição de 10 ml de solução saturada de NaCl. Para a obtenção do extrato, o material foi centrifugado a 2.500 rpm por 15 minutos. Esse procedimento foi repetido seis vezes.

As formas de Fe e Al de baixa cristalinidade foram extraídas com oxalato de amônio, 0,33 mol L⁻¹ a pH 3,0. Em tubos para centrifuga, protegidos da luz, contendo 1 g de solo, foram adicionados 10 ml de solução de oxalato de amônio. As amostras foram agitadas em agitador circular por 4 h; ao final, o material foi centrifugado a 2.500 rpm por 15 minutos (McKeague & Day, 1966), obtendo-se o extrato. As determinações de Fe e Al foram feitas por espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido (ICP-OES).

Tabela 1. Dados de localização e características ambientais dos perfis de solo amostrados para o presente estudo.

Perfil	Classe de solo	Unidade geoambiental	Coordenadas (UTM – 22M)	Altura (m)	Relevo local	Características ambientais
1	Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572173 9292600	768	Plano	Solo com blocos concrecionários, entre 25 e 70 cm, com 60% de concreções em processo de degradação e intensa atividade de térmitas
2	Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572143 9292582	768	Suave ondulado	Solo com blocos concrecionários, entre 25 e 70 cm, com 60% de concreções em processo de degradação e intensa atividade de térmitas
3	Plintossolo Pétrico Litoplântico típico	Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular	572520 9292320	731	Plano	Solo muito raso, formado de canga pisolítica esferoidal degradada (60%), com abundância de raízes de gramíneas e atividade intensa de térmitas
4	Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico	Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada	570918 9291589	880	Montanhoso	Solo formado por canga degradada e colúvios de escarpa da Formação Carajás, em borda serrana, com 60% de concreções frequentes, duras, angulares e grandes
5	Organossolo Háptico Sápico típico	Campo brejoso sobre solos orgânicos profundos	569240 9292514	713	Plano	Material orgânico sobre canga degradada (turfeira de campo brejoso)
6	Plintossolo Pétrico Litoplântico típico	Encosta com campo rupestre de canga ferrífera com <i>lelozia</i>	572234 9292724	770	Plano	Solo formado de canga ferrífera, muito raso, com bolsões nas fraturas da canga, com atividade intensa de térmitas; muitas concreções duras, irregulares, pequenas e grandes
7	Plintossolo Pétrico Litoplântico típico	Encosta com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera	573040 9291210	810	Plano	Solo muito raso, em bolsões nas fraturas da canga. Intensa atividade de térmitas, concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes
8	Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico	Buritzal sobre solos orgânicos	575396 9291680	736	Plano	Solo orgânico originado de depósitos fluviolacustre derivados da Formação Carajás, mal drenado, com canga sendo degradada, formando aparentemente ferridrita
9	Organossolo Háptico Húmico típico	Campo brejoso sobre solos orgânicos	575376 9291607	736	Plano	Solo orgânico, saturado com água mesmo no período da seca (turfeira de campo brejoso)
10	Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico	Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada	575334 9291726	720	Suave ondulado	Solo formado da degradação da canga, rico em matéria orgânica
11	Plintossolo Pétrico Litoplântico típico	Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular	576230 9292190	720	Plano	Solo muito raso, mal drenado, bastante amarelo, formado de canga pisolítica esferoidal degradada (60%)
12	Latossolo Vermelho Acriférrico petroplântico	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572143 9292582	694	Plano	Solo profundo, originado da degradação da canga e colúvios da Formação Carajás, em ambiente florestal
13	Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico	Encosta com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera	565357 9298724	609	Ondulado	Solo muito raso, com bolsões nas fraturas do horizonte litoplântico



Ataque triácido total

O ataque triácido total foi conduzido de acordo com o método EPA 3052 (USEPA, 1996). Neste procedimento, foi utilizado solo com tamanho de partícula menor do que 250 μm . As digestões foram realizadas em triplicatas, adicionando-se HNO_3 , HCl e HF , concentrados, respectivamente nas proporções: 1:9, 1:3 e 1:4 (solo:solução). As digestões ácidas foram assistidas por radiação microondas (MDS 200, CEM Innovators in Microwave Technology, USA). As concentrações de Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb e Zn dos extratos foram determinadas por ICP-OES.

ANÁLISES MINERALÓGICAS

Difratometria de raios-X

Para as análises mineralógicas, foram preparadas lâminas orientadas de argila natural, desferrificadas e tratadas com NaOH (Mehra & Jackson, 1960; Kämpf & Schwertmann, 1982). Nas frações argila e silte, foram montadas lâminas utilizando-se a técnica do 'esfregaço', de modo a intensificar os picos diagnósticos dos minerais. Para a fração areia fina, foram montadas lâminas escavadas. A análise mineralógica foi realizada por difratometria de raios-X (PANalytical, X'Pert PRO). Os parâmetros operacionais foram: radiação $\text{Co K}\alpha$; ângulo de varredura entre 4° a $45^\circ 2\theta$; um passo por segundo; tensão de 40 kV; corrente elétrica de 30 mA. Os picos dos minerais foram identificados seguindo Chen (1977).

Substituição isomórfica de ferro por alumínio na goethita e hematita

A substituição isomórfica de ferro pelo alumínio na goethita foi estimada pela fórmula proposta por Schulze (1982):

$$\text{cmol. mol}^{-1} \text{ Al} = 1730 - 572 * c$$

$$\text{em que, } c = \frac{1}{\sqrt{(1/d_{110}^2 - 1/d_{111}^2)}}$$

Obs: sendo d o espaçamento (nm) da goethita no plano considerado.

A lógica desse cálculo baseia-se no fato de que a substituição isomórfica causa uma alteração no tamanho do cristal, o que leva a mudanças na posição dos picos, correlacionáveis à porcentagem de substituição.

Para o cálculo da substituição isomórfica do ferro por alumínio na hematita, considerou-se a fórmula proposta Schwertmann *et al.* (1979):

$$\text{cmol. mol}^{-1} \text{ Al} = 3098,80 - 615,1185 * c$$

$$\text{em que, } c = d_{110} * 2$$

Obs: sendo d o espaçamento (nm) da hematita no plano considerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ATAQUE SULFÚRICO

Os teores de Fe_2O_3 obtidos pelo ataque sulfúrico foram bastante elevados, variando entre 303 a 501 g kg^{-1} de solo (Tabela 2). Estes resultados confirmam a riqueza dos solos em óxidos de ferro cristalino. Dos cinco perfis estudados (1, 2, 4, 11 e 12) no ataque sulfúrico, quatro (1, 2, 4 e 12) apresentaram teores de Fe_2O_3 maiores do que 360 g kg^{-1} . Os teores de TiO_2 variaram entre 7,0 a 12,0 g kg^{-1} , confirmando a relativa estabilidade deste óxido no solo. Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 encontrados foram extremamente baixos, resultando em baixos valores de Ki (0,525) e Kr (0,062). Os baixos valores de Ki e Kr geralmente estão associados aos solos muito intemperizados e com predomínio de óxidos de ferro (Ker, 1997). No entanto, materiais de origem pobres em sílica podem originar solos com baixos valores de Ki e Kr, superestimando o grau de intemperismo por estes índices (Ramos, 1981; EMBRAPA, 1988; Ker, 1995; Carvalho Filho, 2008; Corrêa, 2011).

De acordo com Melfi *et al.* (1979), no processo de laterização há uma dissolução seletiva de sílica em ambientes ricos em ferro. Os dados da Tabela 2 indicam o acentuado empobrecimento dos teores de SiO_2 presentes na rocha de origem (jaspilito), em relação ao solo. A concentração média de SiO_2 e Fe_2O_3 nas rochas da Formação Carajás é, respectivamente, de 40,82% e 57,46%

Tabela 2. Teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 obtidos pelo ataque sulfúrico na TFSA e relação Ki e Kr. Legendas: * = Ki: $1,7 \times (\% \text{SiO}_2 / \% \text{Al}_2\text{O}_3)$; ** = Kr: $1,7 \times \% \text{SiO}_2 / (\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)$.

Horizonte	Profundidade (cm)	SiO_2 (g kg^{-1})	Al_2O_3 (g kg^{-1})	Fe_2O_3 (g kg^{-1})	TiO_2 (g kg^{-1})	Ki*	Kr**
Perfil 1: Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico							
Bwc	4-25	25	31	402	7	1,413	0,059
Perfil 2: Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico							
Bwc1	15-80	27	37	409	8	1,221	0,060
Perfil 4: Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico							
Bwc	5-50	36	18	501	12	2,301	0,047
Perfil 11: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico							
Bwc	2-20	49	104	303	7	0,807	0,121
Perfil 12: Latossolo Vermelho Acriférrico petroplântico							
Bwc1	5-40	30	99	393	7	0,525	0,062

(Lindenmayer *et al.*, 2001). O decréscimo dos teores originais de SiO_2 presente no jaspilite em relação aos solos estudados (Tabela 2) demonstra o longo e intenso processo de alteração pedogenética que ocorreu na Serra Sul.

Entre os perfis analisados, o Latossolo apresentou o menor valor de Ki (0,525), característica que sugere uma mineralogia predominantemente gibbsítica-oxídica. Esta mineralogia está comumente associada aos solos muito intemperizados e lixiviados (Corrêa, 2011). Os demais solos estudados apresentaram valores de $K_i > 0,75$ e $K_r \leq 0,75$, sendo caracterizados como caulíníticos-oxídicos (Resende & Santana, 1988; Ferreira *et al.*, 1999). Como verificado por Corrêa (2011), devido aos baixos teores de Al_2O_3 do material de origem em relação aos teores de Fe_2O_3 muito elevados, ocorrem grandes diferenças entre os valores de Ki e Kr. Via de regra, os solos formados a partir dos jaspilitos possuem caráter oxídico com amplo predomínio de Fe_2O_3 .

FERRO E ALUMÍNIO EXTRAÍDOS PELO DITIONITO-CITRATO-BICARBONATO E OXALATO DE AMÔNIO

Com relação às extrações de Fe com DCB, os resultados seguiram a mesma tendência do ataque sulfúrico. Os teores de Fe extraídos por DCB (Fed) foram superiores aos do

oxalato de amônio (Feo). A razão Feo/Fed mostra que na maioria dos horizontes dos solos dos geoambientes predominam formas cristalinas de ferro (Tabela 3).

O solo com menor índice de cristalinidade foi o perfil 9, cuja razão Feo/Fed para o horizonte Cf foi de 0,656. Este solo é típico de ambientes muito mal drenados na Serra Sul dos Carajás, ricos em matéria orgânica (Schaefer *et al.*, 2007). Tal condição leva ao menor grau de cristalinidade pelo efeito da matéria orgânica de impedir a cristalização (Schwertmann & Taylor, 1989). Com isso, há o predomínio de formas de ferro de baixa cristalinidade, possivelmente na forma de lepidocrocita, como verificado por Corrêa (2011), ou ferridrita (Ramanidou *et al.*, 1996; Schwertmann & Kämpf, 1983). Os altos valores de Alo comparados ao Ald sugerem o predomínio de formas de óxidos e hidróxidos de Al de baixa cristalinidade (Tabela 3).

ATAQUE TRIÁCIDO TOTAL

Dos teores dos elementos menores (Tabela 4), o manganês representa parte importante na constituição dos principais solos representativos da Serra Sul de Carajás (Tabela 4). Lindenmayer *et al.* (2001), ao estudarem as formações ferríferas da Formação Carajás, identificaram a presença de óxidos de manganês como parte expressiva (teores de

Tabela 3. Teores de Fe e Al na fração argila, obtidos após extração com DCB (Fed e Ald) e oxalato de amônio (Feo e Alo), e relações Feo/Fed e Alo/Ald. Legendas: ⁽¹⁾ = somatório de seis extrações sucessivas; ⁽²⁾ = primeira extração com DCB.

Perfil	Horizonte	DCB			Oxalato		Feo/Fed ⁽²⁾	Alo/Ald
		(Fed)	(Ald)	Σ (Fed) ⁽¹⁾	(Feo)	(Alo)		
		dag kg ⁻¹						
1	Bwc1	13,33	2,13	42,71	2,029	7,73	0,152	3,63
2	A	15,44	1,77	36,42	2,643	3,10	0,171	1,75
3	Bwc	10,83	1,84	38,72	1,158	1,0	0,107	0,54
8	Bwc	11,36	4,32	23,79	0,305	13,66	0,027	3,17
9	Cf	8,95	2,46	19,78	2,679	6,75	0,656	2,75
10	Bwc	8,54	0,66	18,23	5,608	2,85	0,299	4,33
11	Bwc	15,52	4,24	34,02	0,434	0,78	0,028	0,18
12	Bwc1	16,30	7,67	26,15	0,571	1,12	0,035	0,15
13	A	7,83	2,91	28,71	1,206	5,05	0,154	1,73

até 5% de Mn) da composição da rocha. Sob o mesmo contexto de formações ferríferas, no Quadrilátero Ferrífero, Spier (2005) observou teores de Mn de até 3% na rocha e, em algumas regiões estudadas, atribuiu-se a presença de Mn aos óxidos de manganês e aos minerais criptomelano, holandita e pirolusita. Embora as proporções apresentadas no material de origem em ambos os estudos citados tenham sido relativamente próximas, os valores de Mn determinados nos solos da Serra Sul de Carajás estão muito acima das concentrações encontradas por Oliveira *et al.* (2001), ao estudarem solos concrecionários em Minas Gerais.

A participação dos elementos menores nos solos estudados é bastante variada, com valores entre 36,56 a 407,84 mg kg⁻¹ (Tabela 4). De modo geral, as maiores concentrações de elementos menores tendem a acompanhar as altas concentrações de Mn. Essa relação pode ser explicada pela afinidade geoquímica e pela fixação seletiva de alguns elementos-traço pelos óxidos de manganês, visto que possuem carga superficial negativa (Mckenzie, 1981; Dixon & Weed, 1989). A origem dos elementos-traço pode estar relacionada ao contexto geológico de formação da Província Mineral de Carajás, a qual é formada por rochas vulcânicas máficas e félsicas, cuja composição engloba a presença de elementos-traço,

além das formações bandadas de ferro relativas ao jaspilito (Rosière *et al.*, 2006; Klein & Ladeira, 2002; Taylor, 1964).

Os maiores teores de Pb, Ca, Mg e P foram observados no perfil 2, próximos às cavidades de dissolução, estando relacionados ao guano de morcegos, em consequência da contínua ocupação destes animais em área muito próxima ao perfil. O perfil 10, próximo a um grande buritizal, onde há intensa nidificação de aves, também apresenta expressiva concentração de fósforo (Tabela 4). Tal constatação está de acordo com outros estudos que demonstraram o enriquecimento de fósforo em solos afetados por guano de cavernas ou ninhais (Schaefer *et al.*, 2010; Clemente *et al.*, 2009).

Embora as concentrações de elementos menores, de modo geral, estejam abaixo dos valores de prevenção para metais pesados no solo, segundo CETESB (2014), eventualmente em alguns perfis e horizontes foram determinadas concentrações superiores aos valores de prevenção para metais pesados; com destaque para os elementos Cu, Cr e Pb. Os valores de prevenção são concentrações de substâncias químicas utilizadas para subsidiar a qualidade do solo e das águas subsuperficiais, de maneira que funções primárias do ecossistema não sejam comprometidas (CETESB, 2014).

Tabela 4. Teores dos elementos Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Zn, Al, Ca, Fe, Mg e P obtidos por digestão total. Legendas: * = somatório das concentrações de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn; nd = não detectado.

Perfil	Profundidade (cm)	Horizonte	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Zn	*Σ	Al	Ca	Fe	Mg	P
			mg kg ⁻¹							g kg ⁻¹				
2	0-10	A	73,25	76,87	12,84	533,07	198,41	46,47	407,84	13,8	67,36	386,8	3,32	3,73
	15-80	Bwc	63,76	66,27	9,32	470,15	166,43	40,66	346,44	15,2	73,88	439,8	3,8	3,63
3	0-3	A	2,82	nd	nd	394,3	30,85	26,48	60,15	13,6	0,21	481,7	nd	nd
4	0-5	A	5,03	nd	nd	409,4	26,55	36,71	68,29	9,5	0,14	434	nd	0,7
	5-50	Bwc	4,75	nd	nd	490,86	32,45	45,94	83,14	10	0,02	523,9	nd	0,68
6	0-5	A	16,31	nd	nd	114,86	12,35	7,9	36,56	6,8	0,27	72,2	0,16	0,71
7	0-5	A	15,24	nd	nd	340,12	13,31	23,48	52,03	8,7	0,39	379,2	nd	1,47
8	0-10	A	35,57	68,35	nd	54,12	2,97	37,25	144,14	18,2	0,28	49,5	0,08	3,44
	10-30	Bwc	42,52	56,6	nd	131,25	5,99	33,99	139,1	29,9	0,01	165,6	nd	4,15
9	70+	Cf	28,61	52,33	nd	206,49	13,22	21,04	115,2	34,9	nd	266,5	nd	4,05
10	0-10	A	7,74	136,35	nd	238,85	9,99	35,96	190,04	4	0,06	273,3	nd	8,07
	10-25	Bwc	7,34	62,16	nd	403,65	17,69	38,62	125,81	3,8	nd	468,6	nd	8,13
11	0-2	A	42,81	48,5	nd	190,75	74,88	32,07	198,26	26,4	41,08	179	1,25	0,81
	2-20	Bwc	78,84	50,83	6,65	383,06	112,98	44,13	293,43	25,8	20,37	337,5	1,99	2,29
12	0-5	A	114,93	75,68	nd	340,45	11,76	20,95	223,32	33,7	0,06	318	nd	0,1
	5-40	Bw1	131,49	84,91	nd	415,37	18,81	27,03	262,24	23,2	0,09	406,1	nd	nd
13	0-25	A	64,26	39,68	nd	381,98	16,13	41,59	161,66	31,3	0,03	383,8	nd	1,15

MINERALOGIA

As análises mineralógicas da fração argila dos horizontes diagnósticos de solos característicos dos geoambientes da Serra Sul de Carajás indicaram predomínio de minerais oxidicos, corroborando os índices Ki e as concentrações de Fe por DCB e por ataque sulfúrico (Tabelas 2 e 3). Os principais minerais identificados foram hematita, goethita, maghemita, quartzo, caulinita, ilmenita, gibbsita, anatásio e rutilo (Tabela 5), com predomínio da hematita e goethita. Os picos característicos da hematita e da goethita foram respectivamente 0,367, 0,269 e 0,220 nm, e 0,418, 0,269 e 0,243 nm. A presença de anatásio na fração argila pode estar relacionada ao intemperismo de minerais como a ilmenita (Allen & Hajek, 1989; Ker, 1995; Schaefer *et al.*, 2008).

Outro óxido de grande importância é a maghemita, cuja presença é indicada pela reflexão a 0,295 nm.

Tabela 5. Composição mineralógica da fração argila. Legendas: Hm = hematita; Gt = goethita; Mh = maghemita; Qz = quartzo; Ct = caulinita; An = anatásio; Ru = rutilo; Gb = gibbsita; Il = ilmenita.

Perfil	Horizonte	Composição mineralógica da fração argila
P2	Bw1	Hm, Gt, Mh, Qz, Ct, An
P4	Bwc	Hm, Mh, Gt, Qz, Ct, An, Ru, Gb
P8	Bwc	Gt, Hm, Qz, Mh, Il, Ct, An, Ru
P11	Bwc	Gt, Hm, Qz, Mh, Ct, Il, An, Ru
P12	Bw1	Hm, Mh, Gt, Gb, Qz

A presença dela também pode ser inferida pela intensidade relativa dos reflexos a 0,252 e 0,269 nm (Fey & Le Roux, 1977), assim como pela forte atração magnética da TFSA e da fração argila. Fontes *et al.* (1985), ao estudarem solos ricos em concreções ferruginosas, também identificaram maghemita associada à intensificação do pico 0,252 nm; assim como Costa (1991), ao estudar solos ferruginosos



na região de Carajás, também concluiu o predomínio dos minerais hematita, goethita e maghemita.

Nas frações argila desferrificada com DCB, os traços de caulinita (0,717 e 0,356 nm) foram evidenciados, bem como traços de quartzo (0,426 e 0,334 nm), anatásio (0,352 e 0,243 nm), rutilo (0,324 nm) e ilmenita (0,256 e 0,223 nm). Somente nos perfis 4 e 12 foram observados traços de gibbsita, com reflexão em 0,485 nm (Tabela 5). Ambos os perfis estão associados às matas altas sobre cangas degradadas.

Nos solos de melhor drenagem (perfis 2, 4 e 12), os picos de difração da hematita e da maghemita foram mais

intensos em relação aos da goethita, como o exemplo do perfil 2 na Figura 1. Nos ambientes mal drenados (perfil 8) ou com impedimento de drenagem (perfil 11), os picos de difração da goethita são mais intensos do que os da hematita e da maghemita, como pode ser visto na Figura 2.

Outro aspecto relacionado ao predomínio da goethita sobre a hematita e a maghemita nos perfis 8 e 11 é o efeito da matéria orgânica limitando a atividade do ferro em solução, favorecendo, desta forma, a gênese da goethita (Resende, 1976; Schwertmann, 1985; Schwertmann & Taylor, 1989).

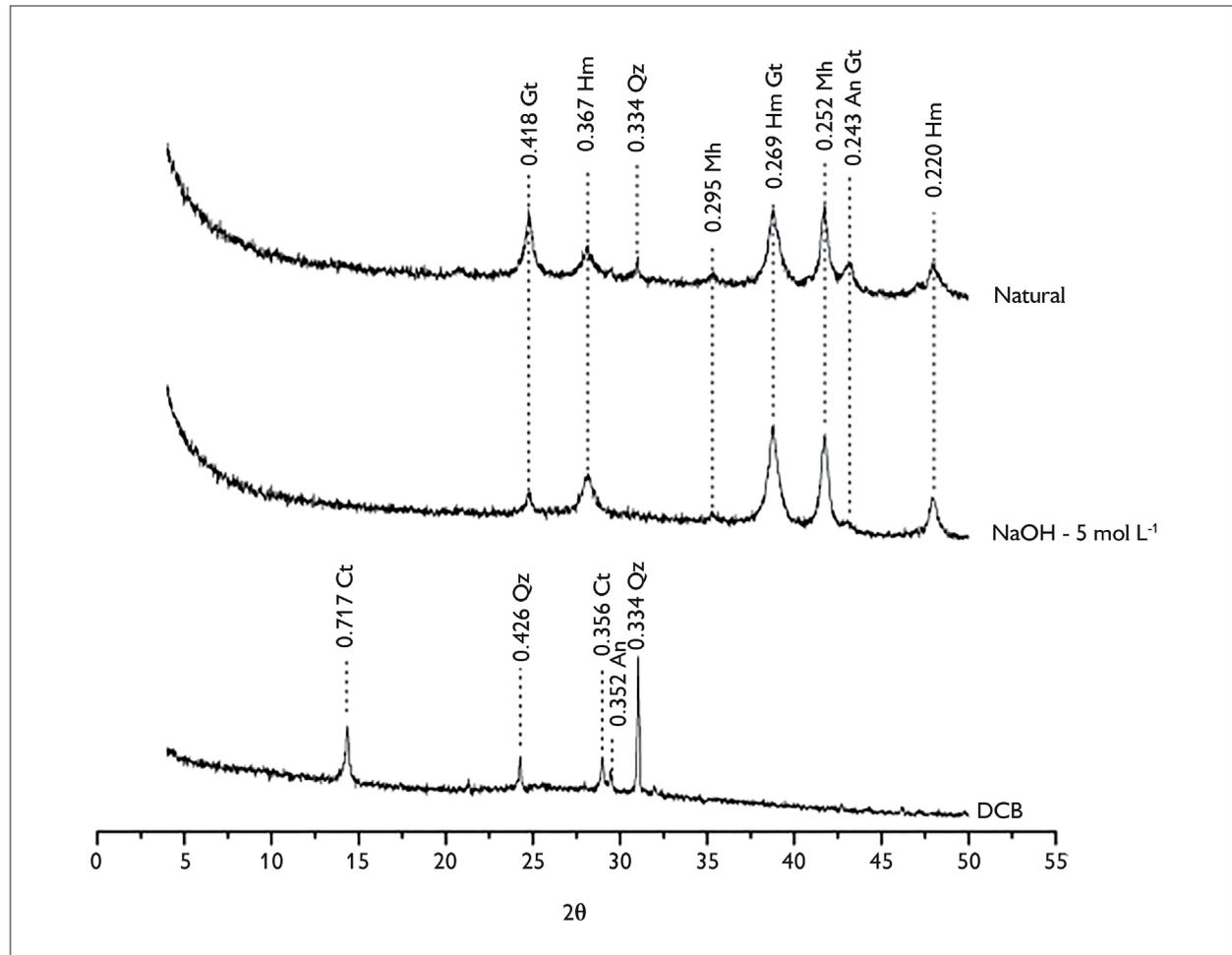


Figura 1. Difratoogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada no horizonte Bwc1 de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P2). Legendas: An = anatásio; Ct = caulinita; Gt = goethita; Hm = hematita; Mh = maghemita; Qz = quartzo.

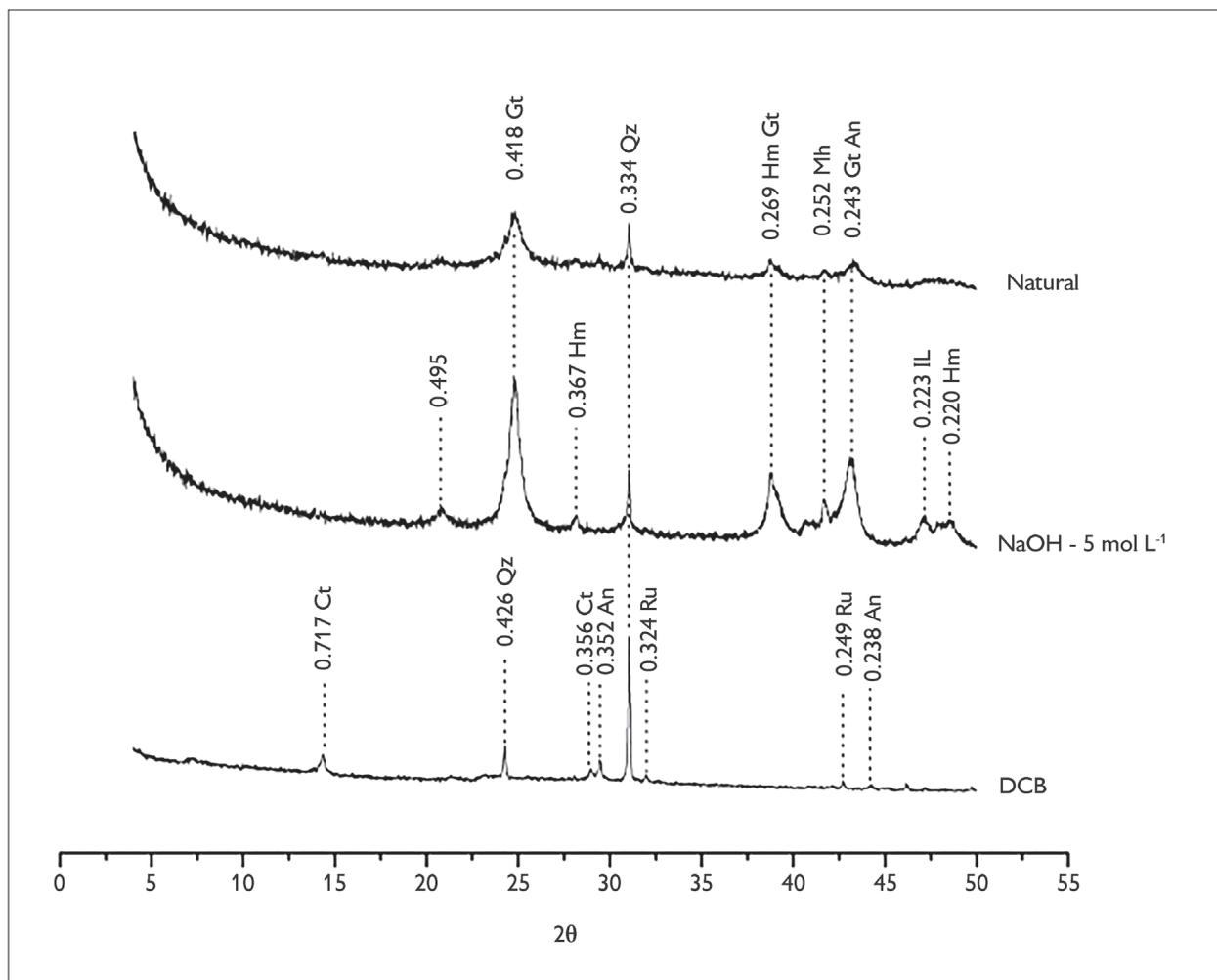


Figura 2. Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila do Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P8). Legendas: An = anatásio; Ct = caulinita; Gt = goethita; Hm = hematita; IL = Ilmenita; Qz = quartzo; Ru = rutilo; Mh = maghemita.

A substituição isomórfica do ferro pelo alumínio na estrutura da goethita variou entre 3,79 a 12,58 cmol mol^{-1} (Tabela 6). Estes valores encontram-se dentro do limite máximo estabelecido para goethitas de solos (Schwertmann & Taylor, 1989; Lima *et al.*, 2006). Os valores de substituição isomórfica para a hematita variaram entre 3,52 a 9,67 cmol mol^{-1} . Os resultados estão de acordo com Schwertmann & Taylor (1989), que concluíram que a goethita pode apresentar maiores valores de substituição isomórfica em comparação com a hematita. Devido aos baixos teores de Al presente

Tabela 6. Valores de substituição isomórfica avaliados na fração argila concentrada em óxidos de ferro. Legenda: X = não detectável.

Perfil	Horizonte	Substituição de Fe^{3+} por Al^{3+} (cmol mol^{-1})	
		Goethita	Hematita
2	Bw	x	5.98
4	Bwc	x	9.67
8	Bwc	6.14	x
9	Cf	5.5	x
10	Bwc	12.14	x
11	Bwc	10.58	x
12	Bw	x	9.06

no jaspilite, a substituição de Fe por Al não é elevada, se comparado aos Latossolos e Plintossolos desenvolvidos de basaltos da Formação Parauapebas (Corrêa, 2011).

CONCLUSÃO

A mineralogia dos solos da Serra Sul de Carajás apresentou como constituintes dominantes na fração argila a hematita, a goethita e a maghemita. Constatou-se também a presença em menores proporções de anatásio, rutilo, gibbistita e ilmenita. A baixa relação Feo/Fed observada confirma o predomínio de formas cristalinas de óxidos de ferro na fração argila dos solos.

Os teores de Fe_2O_3 variaram de 30 a 50%, e os índices de intemperismo são muito elevados, com forte dessilificação (índices Ki entre 0,52 e 1,4), exceto no perfil 4, onde os teores de Al são bem mais baixos. Em todos os solos, as formas cristalinas de ferro predominaram sobre as menos cristalinas, ou amorfas. A substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura dos oxi-hidróxidos foi muito variável, com maiores valores na goethita do que na hematita. A hematita predomina sobre a goethita nos solos bem drenados e em solos hidromórficos predomina a goethita. Tal característica reflete variações na constituição da canga, da qual são formados os solos.

Entre os elementos menores, os maiores teores foram de Mn, com grande variabilidade entre os solos. Os teores dos elementos Cu, Cr, e Pb, em alguns perfis, foram superiores aos valores de referência para o solo, possivelmente em função da presença deles na constituição do material de origem vulcânica, associada à formação geológica local, bem como pela fixação seletiva por parte de alguns óxidos.

Os fatores que mais influenciaram as características dos solos na Serra Sul foram pedoclima, com dois extremos, solos hidromórficos e solos excessivamente drenados, além de ambientes geomórficos, ou seja, áreas muito propensas à erosão e áreas onde os solos apresentam grande estabilidade, a exemplo dos capões florestais no alto platô.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, B. L. & B. F. HAJEK, 1989. Mineral occurrence in soil environments. In: J. B. DIXON & S. B. WEED (Ed.): **Minerals in soil environments**: 199-278. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- BEISIEGEL, V. R., A. L. BERNARDELLI, N. F. DRUMMOND, A. W. RUFF & J. W. TREMAINE, 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 3: 215-242.
- BRASIL, 1974a. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SA. 22 - Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Programa de Integração Nacional (Levantamento de Recursos Naturais), Rio de Janeiro.
- BRASIL, 1974b. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. V. 4. Folha SB.22 - Araguaia. Programa de Integração Nacional (Levantamento de Recursos Naturais), Rio de Janeiro.
- CARVALHO FILHO, A., 2008. **Solos e ambientes do quadrilátero ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos tabuleiros costeiros**: 1-245. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CHEN, P. Y., 1977. **Table of key-lines in X-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks**: 1-67. Department of Natural Resources (Geological Survey Occasional Paper, 21), Bloomington.
- CLEMENTE, E. P., C. E. G. R. SCHAEFER, F. S. OLIVEIRA, M. R. ALBUQUERQUE FILHO, R. V. ALVES, M. M. F. SÁ, V. F. MELO & G. R. CORRÊA, 2009. Toposequência de solos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33(5): 1357-1371.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB), 2014. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo.
- CORRÊA, G. R., 2011. **Pedogênese em platôs de canga ferrífera e basaltos na Serra dos Carajás - PA**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- COSTA, M. L., 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências** 21(2): 146-160.
- COSTA, M. L., M. S. CARMO & H. BEHLING, 2005. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geociências** 35(2): 165-176.
- CURI, N. & N. KAMPF, 2012. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: J. C. KER, N. CURI, C. E. SCHAEFER & P. VIDAL-TORRADO (Ed.): **Pedologia**: fundamentos: 207-302. SBCS, Viçosa.

- DIXON, J. B. & S. B. WEED, 1989. **Minerals in soil environments**. Soil Science Society of America, Madison.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1988. **Anais da III Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos/EMBRAPA, Minas Gerais.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1997. **Manual de métodos e análises de solo**: 2. ed. EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Solos: 6ª aproximação. EMBRAPA Produção de Informação/EMBRAPA Solos, Brasília.
- FALESI, I. C., 1986. O ambiente edáfico. In: J. M. G. ALMEIDA (Ed.): **Carajás: desafio político, ecológico e desenvolvimento**: 125-155. CNPq, Brasília.
- FERREIRA, M. M., B. FERNANDES & N. CURTI, 1999. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23(3): 515-524.
- FEY, M. V. & J. LE ROUX, 1977. Properties and quantitative estimation of poorly crystalline components in sesquioxidic soil clays. **Clays and Clay Minerals** 25: 285-294.
- FIGUEIREDO E SILVA, R. C., S. HAGEMANN, L. M. LOBATO, C. A. ROSIÈRE, D. A. BANKS, G. J. DAVIDSON, T. VENNEMANN & J. HERGT, 2013. Hydrothermal fluid processes and evolution of the Giant Serra Norte jaspilite-hosted iron ore deposits, Carajás Mineral Province, Brazil. **Economic Geology** 108(4): 739-779.
- FONTES, M. R., J. D. FABRIS, M. RESENDE & E. GALVÃO DA SILVA, 1985. Concreções ferruginosas de alguns solos brasileiros. II. Caracterização mineralógica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 9: 119-123.
- KÄMPF, N. & U. SCHWERTMANN, 1982. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clay Minerals** 30(6): 401-408.
- KER, J. C., 1995. **Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**: 1-181. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- KER, J. C., 1997. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos** 5(1): 17-40.
- KLEIN, C. & E. A. LADEIRA, 2002. Petrography and geochemistry of the least altered banded iron-formation of the Archean Carajás Formation, Northern Brazil. **Economic Geology** 97(3): 643-651.
- LIMA, H. N., J. W. V. MELLO, C. E. G. R. SCHAEFER, J. C. KER & A. M. N. LIMA, 2006. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30(1): 59-68.
- LINDENMAYER, Z. G., J. H. LAUX & J. B. G. TEXEIRA, 2001. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 31(1): 21-28.
- MCKEAGUE, J. A. & J. H. DAY, 1966. Dithionite and oxalate - extractable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science** 46(1): 13-22.
- MCKENZIE, R. M., 1981. The surface charge on manganese dioxides. **Australian Journal of Soil Research** 19(1): 41-50.
- MEHRA, J. P. & M. L. JACKSON, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals** 7: 317-327.
- MELFI, A. J., G. PEDRO & B. VOLKOFF, 1979. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 3: 47-54.
- OLIVEIRA, C. V., J. C. KER, N. CURTI, M. N. DUARTE & L. E. F. FONTES, 2001. Caracterização de concreções ferro-manganosas de solos de calcário no norte do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 25(3): 565-574.
- RAMANAIDOU, E., D. NAHON, A. DECARREAU & A. J. MELFI, 1996. Hematite and goethite from duricrusts developed by lateritic chemical weathering of Precambrian banded iron formations, Minas Gerais, Brazil. **Clays and Clay Minerals** 44(1): 22-31.
- RAMOS, D. P., 1981. **Latossolos brasileiros: um novo enfoque para o reconhecimento de características diferenciais**: 1-184. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- RESENDE, M., 1976. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**: 1-237. Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette.
- RESENDE, M. & D. P. SANTANA, 1988. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação de Latossolos. **Anais da Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação da Aptidão Agrícola** 3: 225-232.
- ROSIÈRE, C. A., F. J. BAARS, J. C. S. SEOANE, L. M. LOBATO, L. L. SILVA, S. R. C. SOUZA & G. E. MENDES, 2006. Structure and iron mineralisation of the Carajás Province. **Applied Earth Science** 115(4): 126-133.
- SCHAEFER, C. E. G. R., F. N. B. SIMAS, B. A. F. MENDONÇA, A. S. R. RIBEIRO, W. G. FERREIRA JÚNIOR, J. A. NUNES & G. R. CORREA, 2007. **Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás – Pará**: 1-75. Relatório Técnico. Vale do Rio Doce, Belém.



- SCHAEFER, C. E. G. R., B. A. F. MENDONÇA, G. R. CORREA & A. S. S. RIBEIRO, 2008. Solos desenvolvidos sobre canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Anais do Simpósio de Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero** 1: 107-121.
- SCHAEFER, C. E. G. R., F. N. B. SIMAS, M. A. ALBUQUERQUE, E. SOUZA & K. K. DELPUPO, 2010. Fosfatização de solos e evolução da paisagem no arquipélago de Abrolhos, BA. **Revista Escola de Minas** 63(4): 727-734.
- SCHULZE, D. G., 1982. **The identification of iron oxides by differential X-ray diffraction and the influence of aluminum substitution on the structure of goethite**: 1-167. Tese (Doutorado), Technical University of Munich, Freising.
- SCHWERTMANN, U., 1985. The effect of environments on iron oxide minerals. **Advances in Soil Science** 1: 171-200.
- SCHWERTMANN, U., R. W. FITZPATRICK, R. M. TAYLOR & D. G. LEWIS, 1979. The influence of aluminum on iron oxides. Part II. Preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays and Clay Minerals** 27(2): 105-112.
- SCHWERTMANN, U. & N. KÄMPF, 1983. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 7(3): 251-256.
- SCHWERTMANN, U. & R. M. TAYLOR, 1989. Iron oxides. In: J. B. DIXON & S. B. WEED (Ed.): **Minerals in soil environments**: 379-438. Soil Science Society of America, Madison.
- SPIER, C. A., 2005. **Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG**: 1-298. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TAYLOR, S. R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 28(8): 1273-1285.
- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY (USEPA), 1996. **Method**. EPA 3052: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf>>. Acesso em: 10 novembro 2009.
- VANZOLINI, P. & C. R. F. BRANDÃO, 1986. Diretrizes gerais para um levantamento faunístico. In: J. M. G. ALMEIDA (Ed.): **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**: 208-213. CNPq/Ed. Brasiliense, Brasília.
- VINCENT, R. C. & M. MEGURO, 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica** 31(3): 377-388.

