

Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil Geoenviroments, soils and carbon stocks at Serra Sul of Carajás, Para State, Brazil

Carlos Ernesto G. R. Schaefer^I, Elias de Lima Neto^I, Guilherme Resende Corrêa^{II}, Felipe Nogueira Bello Simas^I,
Jackson Ferreira Campos^{III}, Bruno A. Furtado de Mendonça^{IV}, Jaquelina Alves Nunes^V

^IUniversidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil / ^{II}Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

^{III}Amplo Treinamento e Consultoria. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

^{IV}Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica, Brasil

^VUniversidade do Estado de Minas Gerais. Carangola, Minas Gerais, Brasil

Resumo: A descoberta de jazidas minerais na Serra dos Carajás, a partir da década de 1960, despertou grande interesse pela região, resultando em pesquisas voltadas à exploração econômica desses recursos. Entretanto, pouco se conhece acerca dos geoambientes locais em escala adequada, dificultando medidas para sua conservação. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os principais solos e geoambientes associados na Serra Sul quanto aos aspectos morfológicos, físicos e químicos, visando aprofundar o conhecimento pedológico e dar suporte às atividades de recuperação e restauração de áreas degradadas pela mineração, bem como ao Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás. Foram definidos quatro geoambientes principais: encostas com campo rupestre sobre canga ferrífera; encostas e grotas florestadas; depressões e patamares campestres mal drenados e lagos doliniformes. Os solos associados aos geoambientes foram: solos rasos com camada de canga contínua (horizonte litoplíntico); solos com caráter concrecionário e solos orgânicos ou húmicos. A interseção entre os solos e os geoambientes evidenciou um forte controle pedológico sobre as diferentes fitofisionomias nas áreas de canga da Serra Sul, sendo a profundidade do solo diretamente correlacionada ao porte da vegetação. A matéria orgânica dos solos é crucial na geração de cargas elétricas por capacidade de troca catiônica (CTC) e ciclagem de nutrientes. Valores muito elevados de carbono orgânico (faixa 54-124 kg m⁻²) foram detectados em buritizais e campos brejosos, revelando um destacado serviço ambiental nos platôs de Carajás. Recomenda-se que nas atividades de mineração o *topsoil* seja devidamente separado, para ser reutilizado na recuperação das áreas degradadas ou na recomposição dos solos. O *continuum* geoambiental observado na escala de estudo mostra que medidas de proteção a pontos ou zonas isoladas de um contexto ecológico que forma gradientes (ambientes de depressões ou cavidades) podem não significar uma proteção efetiva.

Palavras-chave: Carajás. Serra Sul. Canga laterítica. Plintossolos. Amazônia. Estoques de carbono nos solos.

Abstract: The discovery of mineral deposits in the Serra de Carajás, from the 1960s, raised a great concern in the region, resulting in research aimed at the economic exploitation of these deposits. However, little is known about the geoenvironments at the ironstone plateau, hindering measures for their present and future conservation. The objective of this study was to characterize the main soils from geoenvironments of Serra Sul, with emphasis on soil morphological, physical and chemical properties, in order to deepen the soil knowledge and support the environmental recovery and restoration of areas degraded by mining activities. Were defined four major geoenvironments: slopes with rocky fields of banded ironstone; forested concave slopes; depressions and poorly drained flats; and doliniform closed lakes. The soils associated with these geoenvironments were: shallow soils with continuous ironstone layer (litoplithic horizon); soil with concretionary character; and organic or dark-humic soil. The interplay between soils and geoenvironments showed a strong control of soils on the different vegetation types, linking soil depth to the vegetation height and biomass. The organic matter is crucial for the soil cation exchange capacity (CEC) and nutrient cycling. High amounts of Soils organic carbon (range 54-124 kg m⁻²) were detected in wetlands (Buritizais and Campos Brejosos), highlighting an important environmental service of the Carajás Plateau. We recommend that topsoil must be separated and used in the environmental recovery of degraded, mined areas, and for soil reclamation. The geoenvironmental *continuum* observed at a local scale highlights that measures aiming at protecting isolated spots or zones (caves, depressions, for instance) in a context of ecological gradient, may not offer an effective protection.

Keywords: Carajás. Serra Sul. Iron stone. Plinthosol. Amazon. Soil carbon stocks.

SCHAEFER, C. E. G. R., E. LIMA NETO, G. R. CORRÊA, F. N. B. SIMAS, J. F. CAMPOS, B. A. F. MENDONÇA & J. A. NUNES, 2016. Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 11(1): 85-101. Autor para correspondência: Guilherme Resende Corrêa. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia. Av. João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica. Uberlândia, MG, Brasil. CEP 38400-902 (guilhermeudi@yahoo.com.br).

Recebido em 02/02/2015

Aprovado em 22/03/2016

Responsabilidade editorial: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo



INTRODUÇÃO

A descoberta de importantes jazidas minerais na Serra dos Carajás, a partir da década de 1960, despertou grande interesse na região, resultando em pesquisas voltadas para a exploração econômica destes recursos. Nesse sentido, destacam-se as pesquisas geológicas de Barbosa (1966), Almeida *et al.* (1968), Almeida (1980), Beisiegel *et al.* (1973), Beisiegel (1982), Hirata *et al.* (1982), Kotschoubey & Lemos (1985), DOCEGEO (1988), Gibbs & Wirth (1990), Costa (1991), Costa *et al.* (2005), Lindenmayer *et al.* (2001), Veneziani *et al.* (2004), pesquisas geomorfológicas de Resende & Barbosa (1972), Brasil (1974), Araújo & Maia (1991), Ab'Saber (1986, 1987) e botânicas, como as de Secco & Mesquita (1983), Porto & Silva (1989), Silva & Rosa (1989), Paradella *et al.* (1994), Silva *et al.* (1986). Entretanto, pouco se conhece sobre os geoambientes locais, dificultando medidas para sua conservação.

Em função do baixo interesse agrônomo da Serra de Carajás, os estudos pedológicos são raros e pouco aprofundados (Brasil, 1974; Falesi, 1986). No entanto, dado o reconhecido papel dos solos como estratificadores ambientais (Resende *et al.*, 2007), estudos dos atributos morfológicos, físicos e químicos fornecem importantes informações em nível local, permitindo evidenciar fenômenos geoambientais na paisagem (Schaefer *et al.*, 2000; Simas, 2002; Corrêa *et al.*, 2013), além de permitirem a ampliação do conhecimento a respeito da relação entre os fatores e os processos de formação do solo em um dado contexto ambiental.

A Serra dos Carajás, localizada no sudeste do estado do Pará, abriga dois ambientes fitogeográficos bem distintos (Ab'Saber, 1986): um tipicamente arbóreo, representado pela floresta ombrófila em suas diferentes fácies, ocupando a maior parte da área, e outro, caracterizado por uma formação herbáceo-arbustiva denominada de vegetação de canga (Secco & Mesquita, 1983) ou campo rupestre (Joly, 1970), a qual está restrita às porções mais elevadas da paisagem. Vale ressaltar que a vegetação de canga apresenta uma elevada importância

ecológica, por se tratar de um ecossistema único no contexto amazônico (ICMBIO, 2016).

A Serra Sul representa o mais extenso platô de canga na paisagem da Serra dos Carajás, abrigando diversos ecossistemas, desenvolvidos sobre formações ferríferas com alto grau de conservação. Por outro lado, a exploração mineral impõe o desafio de se compatibilizar o desenvolvimento econômico com a preservação destes ecossistemas singulares. Em função disto, torna-se prioritária a geração de bases de dados sobre estes ambientes, de forma a subsidiar as avaliações de impactos ambientais, nortear estratégias de conservação e propor medidas de mitigação dos impactos causados pela mineração na região de Carajás.

A ênfase deste trabalho foi caracterizar, quanto aos aspectos morfológicos, físicos e químicos, os principais solos e geoambientes da Serra Sul de Carajás, para elucidar, em maior detalhe, os principais fatores e processos pedogenéticos atuantes. Pretende-se, com isso, contribuir para estudos posteriores sobre recuperação e restauração de áreas degradadas pelos diversos empreendimentos minerários presentes na região em tela, bem como subsidiar ações de manejo conservacionista em escalas mais detalhadas, tendo em vista a primeira versão e da recente publicação atualizada do Plano de Manejo da FLONA de Carajás (IBAMA, 2003; ICMBIO, 2016), a qual fez uso da mesma aproximação geoambiental adotada neste estudo, e parcialmente reportada em estudos prévios do projeto Área Mínima de Canga (Golder Consultoria e Projetos, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no sudeste do estado do Pará, na Floresta Nacional de Carajás, nos municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás (Figura 1). O clima é tipicamente tropical, quente e úmido, enquadrado como do tipo Aw pela classificação de Köppen, com temperaturas médias oscilando entre 19 e 31 °C

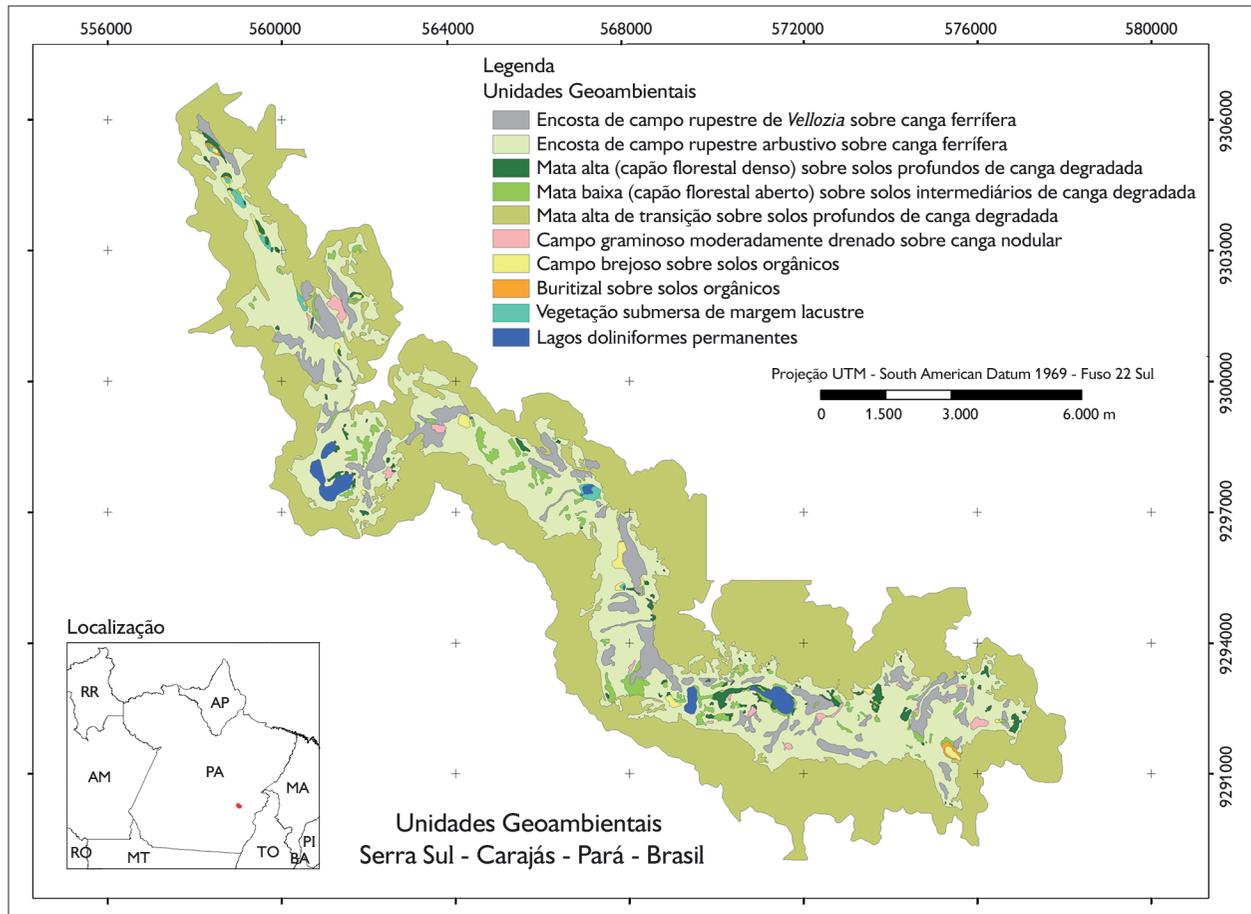


Figura 1. Localização da área de estudo e mapa das unidades geoambientais da Serra Sul de Carajás.

(Pereira, 1991). As estações são definidas por períodos secos (inverno) e chuvosos (verão). O inverno dura, em média, de maio a outubro, e o verão, de novembro a abril, sendo marcado por chuvas torrenciais.

Ocorrem, na região da Serra de Carajás, rochas essencialmente pré-cambrianas de origem variada e distintos graus de metamorfismo (Resende & Barbosa, 1972). A região está localizada no extremo SE do Cráton Amazônico, com ocorrência de um núcleo granito-greenstone envolvido por cinturões de gnaisses migmatizados (Almeida *et al.*, 1968). As formações ferríferas são constituídas principalmente por jaspilitos e guardam as maiores jazidas de ferro de alto teor do mundo (Lindenmayer *et al.*, 2001).

Em termos geomorfológicos, a Serra de Carajás se insere no Domínio do Planalto Dissecado do sul do Pará, caracterizado por maciços residuais de topo aplainado e conjuntos de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos mais baixos (Brasil, 1974). Esta unidade apresenta-se intensamente dissecada por vales encaixados, adaptados a redes de fraturas em rochas arqueanas e com poucas estruturas proterozoicas. Nela, se observa uma densidade média de drenagem, apresentando um padrão dendrítico. Nas áreas altas, os vales são essencialmente fechados, em forma de V e, em alguns casos, em forma de U aberto, onde ocorrem planícies aluvionares mais extensas (Araújo & Maia, 1991).

BASE CARTOGRÁFICA

Para a caracterização das unidades da paisagem e de geoambientes da área de estudo, foi utilizada a seguinte base cartográfica: mapas de solos e geomorfologia do projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1974); mapas geomorfológico, geológico e pedológico produzidos no Projeto Carajás (Araújo & Maia, 1991); mapa de distribuição de Unidades Geológicas – Província Mineral de Carajás (DOCEGEO, 1988); imagens dos satélites IKONOS (plotado em 1:10.000); mapa topográfico fornecido pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), com curvas de nível com equidistância de 10 metros, abrangendo toda a Serra Sul; além de levantamento dos geoambientes realizado por Schaefer *et al.* (2007).

ESTRATIFICAÇÃO DE GEOAMBIENTES: CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO

Na estratificação geoambiental realizada, delimitaram-se os espaços físicos com características geoambientais distintas suficientemente para permitir sua separação e descrição, na escala adotada no trabalho (e.g. Tricart & Kiewiet de Jonge, 1992; Schaefer *et al.*, 2000).

Admitindo-se que o ambiente físico (geoambiente) possua características pedológicas, geomorfológicas e geológicas particulares, e que estas determinem a oferta de nutrientes e de fluxos de energia em um sistema essencialmente aberto, torna-se necessário conhecer suas características e distribuição espacial para inferir aspectos da ecologia da paisagem da região, privilegiando uma abordagem interpretativa da paisagem, estabelecendo as relações que existem entre os componentes dos meios físico e biótico (Tricart & Kiewiet de Jonge, 1992; Schaefer *et al.*, 2007).

COLETA E ANÁLISE DOS SOLOS

Foram descritos treze perfis, representando as diferentes unidades geoambientais que compõem a paisagem da Serra Sul. A posição geográfica de cada perfil foi obtida utilizando-se GPS de navegação. Os solos foram coletados e descritos de acordo com Santos *et al.* (2013). As

análises químicas e físicas foram realizadas com base nas recomendações de EMBRAPA (1997). Os solos foram classificados conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013).

As amostras foram secadas ao ar e passadas em peneira com abertura de 2 mm. A quantificação das frações de areia grossa, areia fina, silte e argila foi realizada conforme o método da pipeta, sendo a dispersão do solo promovida por agitação em coqueteleira em meio alcalino. O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley Black, conforme EMBRAPA (1997). Os elementos Ca, Mg e Al foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹, enquanto K, P, Na, Zn, Mn, Cu e Fe foram extraídos pelo extrator Mehlich-1. A acidez potencial (H + Al) foi determinada conforme EMBRAPA (1997). Os teores de Ca, Mg, Al, Zn, Mn, Cu e Fe nos extratos foram determinados por espectrometria de absorção atômica, já o de P foi determinado por fotolorimetria, e o de K, por fotometria de chama. A partir dos resultados obtidos pela análise do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica total (T), a saturação por bases (V) e a saturação por Al (m), conforme EMBRAPA (1997). O estoque de carbono (EC) foi calculado segundo a metodologia de Fidalgo *et al.* (2007). Por este método, o EC (kg m⁻²) é determinado multiplicando-se os teores parciais de carbono (C) (g kg⁻¹) de cada horizonte pela densidade do solo (DS) (g cm⁻³), pela espessura de cada horizonte (E) (cm), dividindo-se o produto por 100.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia para a identificação dos geoambientes, foram obtidos quatro grandes grupos: encostas com campo rupestre sobre canga ferrífera (1), encostas e grotas florestadas (2), depressões e patamares campestres mal drenados (3) e lagos doliniformes (4). Estes quatro geoambientes foram pormenorizados em outros dez subgeoambientes (Figura 1). As principais características dos ambientes são apresentadas de maneira resumida na Tabela 1.



Tabela 1. Caracterização geral das unidades geoambientais do platô de canga da Serra Sul, Floresta Nacional de Carajás.

Compartimentos da paisagem	Unidades geoambientais	Pedoambientes	Vegetação	Área	
				ha	%
Encostas com campo rupestre	Encostas com campo rupestre com <i>Vellozia</i> sobre canga ferrífera	Solos rasos, bem drenados, ricos em matéria orgânica sobre camada contínua de canga, abundância de termiteiros	Estrato arbustivo-herbáceo com abundância dos gêneros <i>Axonopus</i> , <i>Vellozia</i> , <i>Sobralia</i> , <i>Ipomea</i> e <i>Andropogon</i> , característicos desta fitofisionomia.	644,8	6,5
	Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera	Solos rasos, bem drenados, com bolsões de MO nas fraturas da camada de canga, abundância de termiteiros	Estrato arbustivo com abundância dos gêneros <i>Callisthene</i> , <i>Byrsonima</i> , <i>Bauhinia</i> , <i>Alibertia</i> e <i>Mimosa</i> , característicos desta fitofisionomia	2.858,6	29,0
Encostas e grotas florestadas	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte, teores altos de P quando próximos a cavernas	Estrato arbóreo com abundância dos gêneros <i>Pouteria</i> , <i>Sacoglottis</i> , <i>Myrcia</i> , <i>Miconia</i> , <i>Ficus</i> e <i>Cupania</i> , característicos desta fitofisionomia	117,3	1,2
	Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte	Formação ecotonal com gêneros comuns aos geoambientes: capões florestais altos, mata de transição e campo rupestre arbustivo	191,4	1,9
	Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte	Estrato arbóreo com abundância dos gêneros <i>Mouriri</i> , <i>Caryocar</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Casearia</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Eugenia</i> e <i>Myrcia</i> , característicos desta fitofisionomia	5.791,8	58,9
Depressões e patamares campestres mal drenados	Campo graminoso, moderadamente drenado sobre canga nodular	Solos rasos, moderadamente drenados, ricos em MO, sobre camada contínua de canga	Apresenta estrato graminóide, com predominância das famílias Xyridaceae, Cyperaceae, Gramineae e Eriocaulaceae, características deste ambiente	54,0	0,6
	Campo brejoso sobre solos orgânicos	Solos orgânicos, bem profundos, mal drenados, em ambiente com expressivo acúmulo e conservação de MO	Vegetação lacustre com ocorrência das famílias Cyperaceae, Eriocaulaceae, Nymphaeaceae, Iridaceae, Lentibulariaceae, Xyridaceae, com abundância de Gramineae e samabaia, além de macrófitas aquáticas	49,4	0,5
	Buritais sobre solos orgânicos	Solos orgânicos, profundos, mal drenados, em ambiente com expressivo acúmulo e conservação de MO	Estrato arbustivo com dominância das espécies <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Mauritia carana</i> e espécies herbáceas do campo graminoso	9,4	0,1
Lagos doliniformes	Vegetação submersa de margem lacustre	-	Ambiente aquático com Cyperáceas, Eriocauláceas, <i>Typha</i> sp., <i>Eleocharis</i> sp., além de outras macrófitas aquáticas. Durante alguma parte do ano ou do ciclo de vida, ocorrem em ambiente aquático	27,6	0,3
	Lagos doliniformes permanentes	-	Macrófitas aquáticas	95,34	1,0



CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PRINCIPAIS GEOAMBIENTES

Encostas com campo rupestre

As encostas de canga ferrífera com campo rupestre constituem o compartimento de maior expressão geográfica do platô de canga, ocupando cerca de 36% da área mapeada (Figura 1). Esta área é subdividida em duas unidades geoambientais, as encostas com campo rupestre de *Vellozia* sobre canga ferrífera e as encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera (Figura 2).

Os principais solos associados a estes compartimentos são os Plintossolos Pétricos litoplínticos ou concrecionários, rasos, cujos horizontes A, na maioria das vezes, derivam de antigos termiteiros. Em alguns casos, forma-se verdadeiro complexo de solos, com alternância de faixas, ora mais rasas, ora mais profundas, indicando a atual morfogênese ativa no platô e a dificuldade para a manutenção da delgada cobertura pedológica.

No topo dos morros, a área é ocupada quase que totalmente pelos afloramentos de canga, onde a camada de material orgânico é incipiente, concentrando-se nas fendas de canga ferrífera e nos inúmeros cupinzeiros que reúnem a pouca matéria orgânica acumulada. Tal habilidade dos cupins é restrita a algumas espécies, representando um extremo grau de especialização sobre a canga.

Encostas e grotas florestadas

Nas encostas da Serra Sul ou onde houve o colapso sub-superficial do saprolito, sotoposto à canga ferrífera, formam-se áreas de acumulações coluviais, com solos com profundidade de horizonte Bw e Bwc, variando de 20 a 100 cm, onde a retenção hídrica e de nutrientes é favorecida (Figura 2). Nessas condições, desenvolvem-se verdadeiras matas altas, bem estruturadas e ricas em variedade de espécies. Este compartimento da paisagem subdivide-se em três geoambientes fundamentais: matas altas sobre solos profundos de canga degradada (capão florestal denso); matas

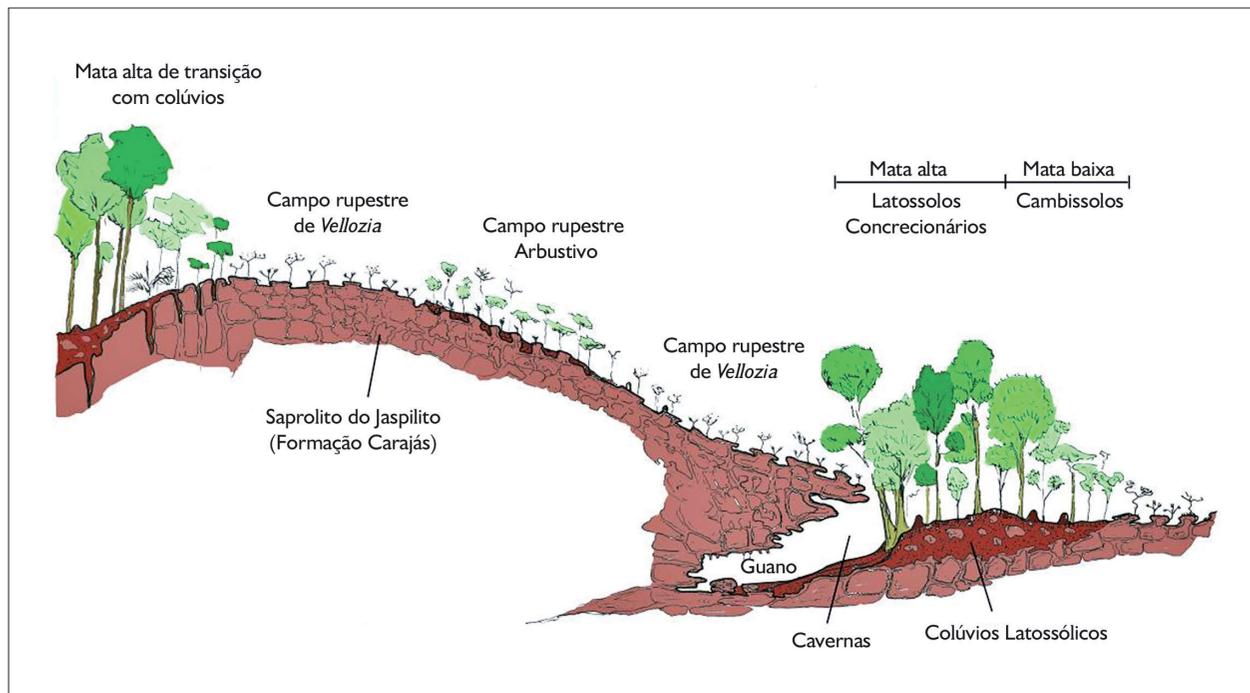


Figura 2. Corte esquemático da paisagem típica da parte superior da Serra Sul, ilustrando alguns geoambientes bem drenados e solos associados.

baixas sobre solos intermediários de canga degradada (capão florestal aberto); e matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada (Figura 1).

Depressões e patamares campestres mal drenados

Nas depressões doliniformes e patamares rebaixados no alto do platô (Figura 3), ocorre verdadeira sucessão vegetal, que se inicia com a colmatação ou pelo esvaziamento de antigas áreas lacustres, com o avanço da drenagem interna do platô, promovida pelo rebaixamento do lençol freático, ou pela incisão da erosão remontante nas bordas, causando a dessecação dos lagos de Carajás.

Foram identificados e mapeados três geoambientes (Figura 1) que caracterizam este compartimento da paisagem, a saber: campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular, onde predominam Plintossolos Pétricos Litoplínticos, muito rasos, formados por canga pisolítica esferoidal; campo brejoso graminoso sobre solos orgânicos; e buritizais sobre solos orgânicos, que normalmente ocorrem bordejando os campos brejosos e as formações lacustres e doliniformes de maior extensão (Figura 3).

Lagos doliniformes

Foram mapeados 123 ha de lagos doliniformes na Serra Sul, subdivididos em dois geoambientes: vegetação submersa de borda lacustre e lagos doliniformes permanentes (Figura 1). São geoambientes onde ocorre a acumulação de água freática ou pluvial em depressões de dissolução na canga, formando extensas áreas lacustres permanentes. Algumas depressões possuem vários metros de profundidade. Nos ambientes rasos de borda lacustre, há uma densa colonização por macrófitas aquáticas e plantas paludosas. A vegetação lacustre apresenta uma composição florística bem diferente daquela do entorno bem drenado.

De maneira geral, os lagos possuem fraca acumulação lamosa na forma de lamas argilo-siltosas de natureza ferruginosa (goethítica) e orgânica, com espessuras de poucos centímetros a metros na parte central. À medida que a drenagem se rebaixa, os lagos evoluem para amplos pantanais com solos orgânicos (turfas), até alcançar o completo desaparecimento do espelho de água permanente.

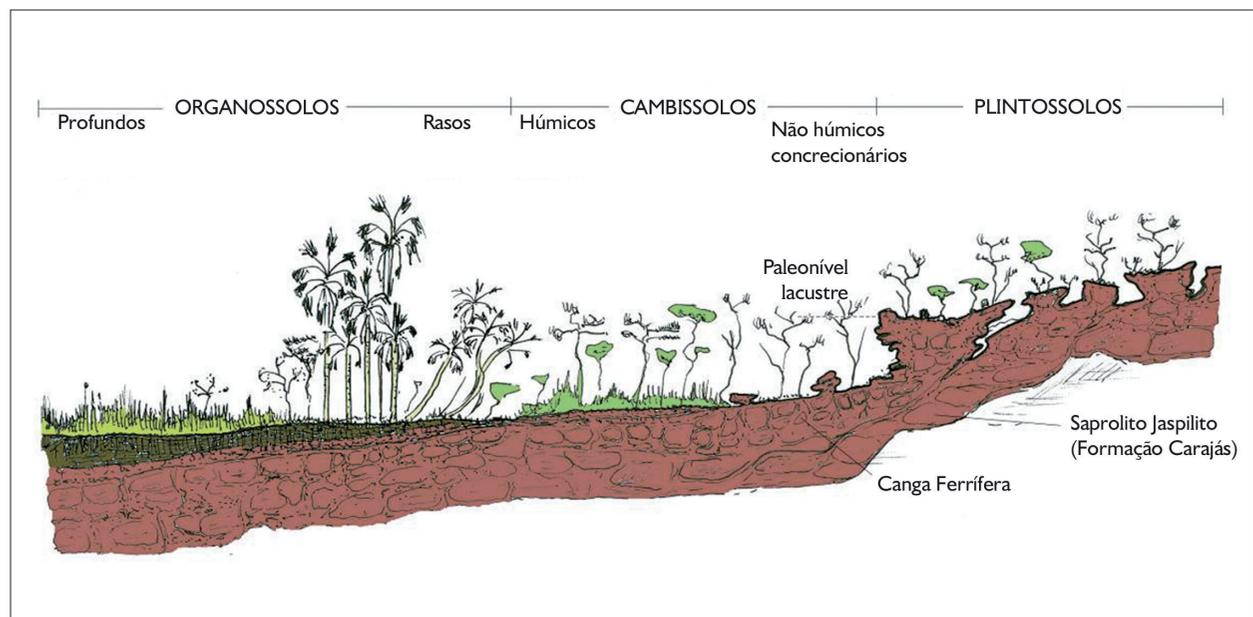


Figura 3. Corte esquemático da paisagem típica da parte superior da Serra Sul, ilustrando alguns geoambientes e solos associados a ambientes mal drenados.

CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PRINCIPAIS SOLOS ASSOCIADOS AOS GEOAMBIENTES

A maior parte dos solos apresentou elevados teores de silte em seus horizontes (Tabela 2). Os altos teores podem ser explicados pela presença de concreções ferruginosas no tamanho de silte, as quais representam um tipo específico de

pseudo-silte, já que são partículas formadas por concreções de óxidos de ferro abundantes nos solos de Carajás. A forte agregação das partículas de pseudo-silte juntamente com sua maior densidade influenciam nos processos de separação das frações do solo, podendo levar à sua superestimação (Curi, 1983; Costa, 2003).

Tabela 2. Características físicas e morfológicas dos solos estudados da Serra Sul de Carajás. (Continua)

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor seca (Munsell)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classe textural
			dag kg ⁻¹					
Perfil 1: Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-4	2,5YR 2,5/3	41	7	25	27	0,93	Franco-argilo-arenosa
Bwc1	4-25	10R 3/6	25	8	37	30	1,23	Franco-argilosa
Bwc2	25-60	10R 3/6	28	6	36	30	1,20	Franco-argilosa
Perfil 2: Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-10	2,5YR 2,5/3	23	7	40	30	2,00	Franco-argilosa
AB	10-15	10R 3/6	25	6	46	23	2,04	Franco
Bwc1	15-80	10R 3/6	24	6	47	23	1,83	Franco
Bwc2	80-110+	10R 3/6	25	7	44	24	0,84	Franco
Perfil 3: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular								
A	0-3	5YR 5/8	46	8	21	25	0,84	Franco-argilo-arenosa
Perfil 4: Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-5	2,5YR 2,5/2	50	13	19	18	1,06	Franco-arenosa
Bwc	5-50	10R 2,5/2	60	9	21	10	2,10	Franco-arenosa
Perfil 5: Organossolo Háptico Sápico típico – campo brejoso sobre solos orgânicos								
Hy	0-20	7,5YR 2,5/1	27	27	22	24	0,92	Franco-argilo-arenosa
Perfil 6: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – encostas com campo rupestre de canga ferrífera com <i>Vellozia</i>								
A	0-5	2,5Y 5/3	20	7	44	29	1,52	Franco-Argilosa
Perfil 7: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera								
A	0-5	5YR 3/4	45	2	23	30	0,77	Franco-argilo-arenosa
Perfil 8: Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico – buritizal sobre solos orgânicos								
Ah	0-12	7,5YR 2,5/1	13	26	40	21	1,90	Franco
Bif1	12-30	10YR 5/8	6	29	42	23	1,83	Franco
Bif2	30-45	2,5YR5/8	5	19	52	24	2,17	Franco-siltosa
BC	45-60	10YR 8/8	40	7	26	27	0,96	Franco-argilo-arenosa
Perfil 9: Organossolo Háptico Hêmico típico – campo brejoso sobre solos orgânicos								
Hy1	20-40	7,5YR 3/3	46	2	15	37	0,40	Argilo-arenosa
Hy2	40-70	7,5YR 2,5/1	20	7	43	30	1,43	Franco-argilosa
Cf	70+	2,5Y 5/4	40	2	25	33	0,75	Franco-argilosa



Tabela 2.

(Conclusão)

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor seca (Munsell)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classe textural
			dag kg ⁻¹					
Perfil 10: Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada								
Ah	0-10	10YR 2/1	35	8	35	22	1,59	Franco
Bwf	10-25	2,5YR 2,5/2	53	3	25	19	1,32	Franco-arenosa
Perfil 11: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular								
A	0-2	10YR 7/8	17	5	42	36	1,17	Franco-argilosa
Bwf	2-20	10YR 8/8	49	4	18	29	0,62	Franco-argilo-arenosa
Perfil 12: Latossolo Vermelho Acriférico petroplântico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-5	2,5YR 3/6	23	15	44	18	2,44	Franco
Bwf1	5-40	10R 3/6	50	6	19	25	0,76	Franco-argilo-arenosa
Bwf2	40-70+	10R 3/6	43	6	20	31	0,65	Franco-argilo-arenosa
Perfil 13: Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera								
A	0-25	2,5YR 3/4	45	5	21	29	0,72	Franco-argilo-arenosa
AF	25-30	2,5YR 3/6	44	7	18	31	0,58	Franco-argilo-arenosa
Guano de caverna								
-	-	2,5YR 3/4	52	12	20	16	1,25	Franco-arenosa
Solo de termiteiro								
-	-	2,5YR 5/4	16	4	12	68	0,17	Muito argilosa

A resistência aos tratamentos de dispersão dos microagregados de tamanho silte é um problema recorrente em diferentes latossolos, em especial naqueles de constituição mais oxidada (Vitorino *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 1990; Costa, 2003; Donagemma *et al.*, 2003).

Os valores de silte, quando relacionados aos baixos valores de argila, fornecem uma alta relação silte/argila (Tabela 2). À primeira vista, eles caracterizam solos jovens, pouco intemperizados, levando a uma interpretação equivocada, visto a natureza predominantemente oxidada destes solos.

Os perfis 2 e 4, associados ao geoambiente matas altas sobre solos profundos de cangas degradadas (Figura 2), apresentaram relação silte/argila superiores a 0,7, limite para latossolo. Com isso, sua classificação até a quarta ordem foi definida como Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico (Tabela 2).

Os Plintossolos Pétricos, de maneira geral, apresentaram teores elevados de areia grossa, variando de 17 a 60 dag kg⁻¹ (Tabela 2), caracterizadas pelas concreções de ferro e petroplintita.

Os resultados químicos obtidos seguem as características de diversos trabalhos anteriores relacionados à formação de solos a partir de rochas ferríferas (Curi & Franzmeier, 1987; Ker & Schaefer, 1995; Costa, 2003; Schaefer *et al.*, 2008; Carvalho Filho, 2008; Corrêa, 2011).

Todavia, os teores de COT, principalmente nos horizontes superficiais (Tabela 3), são mais elevados do que o relatado para os solos do Quadrilátero Ferrífero (Costa, 2003; Carvalho Filho, 2008). No caso dos perfis 2, 3, 4, 6 e 8, a camada superficial apresenta mais de 8 dag kg⁻¹ de C, caracterizando a camada como material orgânico, porém sem espessura suficiente para caracterizar um horizonte hístico (EMBRAPA, 2013).



Tabela 3. Características químicas dos solos estudados da Serra Sul de Carajás. Legendas: ⁽¹⁾ = ΔpH ; $pH\ KCl - pH\ H_2O$; ⁽²⁾ = soma de bases; ⁽³⁾ = CTC efetiva; ⁽⁴⁾ = CTC a pH7; ⁽⁵⁾ = índice de saturação por bases; ⁽⁶⁾ = índice de saturação por alumínio; ⁽⁷⁾ = carbono orgânico total – Yomans-Bremner; ⁽⁸⁾ = nitrogênio total do solo – Kjeldahl; ⁽⁹⁾ = fósforo remanescente.

(Continua)

Horizonte	Profundidade (cm)		pH (1:2,5)		$\Delta pH^{(4)}$		Complexo sorvito						Prem ⁽⁹⁾	C/N	N ⁽⁸⁾	COT ⁽⁷⁾	m ⁽⁶⁾	V ⁽⁵⁾	%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	Fe	Mn	Cu		
	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ⁽²⁾													t ⁽³⁾	T ⁽⁴⁾
Perfil 1: Plintossolo Pétrico Concrecionário cámbico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada																										
Ac	0-4	4,74	3,32	-1,42	3,5	75	26,7	0	0,03	1,93	18,8	0,34	2,27	19,14	1,8	85	5,4	0,44	12,4	20,4	0,56	224,6	1,4	0,04		
Bic1	4-25	4,7	3,57	-1,13	2,3	17	0,5	0	0,01	1,25	14	0,05	1,3	14,05	0,4	96,2	2,7	0,18	15,4	17	0,38	42,2	0,9	0,09		
Bic2	25-60	4,19	3,81	-0,38	2	11	0,5	0	0,01	1,06	11,4	0,04	1,1	11,44	0,3	96,4	2,1	0,60	3,5	12,9	0,34	150,3	0,5	0,1		
Perfil 2: Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada																										
Ac	0-10	3,55	3,16	-0,39	16,9	21	1,5	0	0	2,89	21,9	0,07	2,96	21,97	0,3	97,6	9,8	0,12	80,0	21,7	0,77	236,3	0,8	0,37		
AB	10-15	4,39	3,99	-0,4	18,9	8	0	0	0	1,06	10,8	0,02	1,08	10,82	0,2	98,1	2,1	-	-	13,8	0,79	12,4	2,3	0,67		
Bwc1	15-80	4,2	4,09	-0,11	15,7	6	0	0	0	0,67	10,2	0,02	0,69	10,22	0,2	97,1	2,4	0,21	11,4	12,5	0,72	199,7	1,2	1,3		
Bwc2	80-110+	4,2	4,08	-0,12	13,4	7	0,5	0	0	0,58	10,3	0,02	0,6	10,32	0,2	96,7	1,8	-	-	12,5	1,56	110,9	0,9	0,88		
Perfil 3: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular																										
Ac	0-3	5,07	4,28	-0,79	1,9	17	10,6	0	0	0,48	9,2	0,11	0,59	9,31	1,2	81,4	8,4	0,14	60,0	22,4	0,54	733,6	1,6	0,16		
Perfil 4: Plintossolo Pétrico Concrecionário cámbico – matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada																										
Ac	0-5	3,61	3	-0,61	1,8	30	7,5	0	0,02	2,7	24,8	0,13	2,83	24,93	0,5	95,4	9,9	0,30	33,0	22,3	1,45	493,7	1,8	0,06		
Bic	5-50	3,73	3,6	-0,13	1,7	14	2,5	0	0	1,54	12,2	0,05	1,59	12,25	0,4	96,9	5,1	0,11	48,6	22,6	0,59	196,3	1,2	0,28		
Perfil 5: Organossolo Háptico Sápico típico – campo brejoso sobre solos orgânicos																										
Oy	0-20	4,52	3,64	-0,88	5,7	29	13	0	0,02	1,83	14,2	0,15	1,98	14,35	1	92,4	35,6	2,22	16,0	16,9	0,78	721,2	0,5	0,14		
Perfil 6: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – encostas com campo rupestre de canga ferrífera com ló/lozia																										
Ac	0-5	4,89	3,39	-1,5	3,4	35	5,5	0,47	0,17	0,87	19,1	0,75	1,62	19,85	3,8	53,7	20,5	1,02	20,2	14,9	1,14	372,5	2,7	0,36		
Perfil 7: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera																										
Ac	0-5	4,4	3,2	-1,2	4,1	75	13,6	0,93	0,42	2,12	27,8	1,6	3,72	29,4	5,4	57	7,7	1,20	6,4	2	0,84	837,4	8,2	0,16		
Perfil 8: Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico – buritizal sobre solos orgânicos																										
Ah	0-10	4,67	3,95	-0,72	113,6	53	8	0,19	0,18	1,64	17,5	0,54	2,18	18,04	3	75,2	18,44	1,50	12,3	12,1	7,54	375,8	2,1	3,27		
Bif1	10-30	5,12	4,42	-0,7	208,7	33	14	0	0,04	0,87	14,3	0,18	1,05	14,48	1,2	82,9	11,34	0,50	22,7	6,3	4,16	73,8	0,9	8,49		
Bif2	30-45	5,31	4,68	-0,63	192,6	24	25	0,02	0	0,39	8,7	0,19	0,58	8,89	2,1	67,2	4,76	0,30	15,9	8,6	6,38	112,8	1,2	13,27		
BC	45-60	5,52	4,61	-0,91	82,6	21	13	0,03	0,02	0,29	9,9	0,16	0,45	10,06	1,6	64,4	4,06	0,50	8,1	10,7	3,22	152,3	0,4	4,13		



Tabela 3.

(Conclusão)

Horizonte	Profundidade (cm)	pH (1:2,5)		Complexo sortivo										V ⁽⁵⁾	COT ⁽⁷⁾	N ⁽⁸⁾	C/N	Prem ⁽⁹⁾	Zn	Fe	Mn	Cu			
		H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ⁽²⁾	t ⁽³⁾	T ⁽⁴⁾												
		mg dm ⁻³										cmol _c dm ⁻³											%		dag kg ⁻¹
Perfil 9: Organossolo Háplico Hêmico típico – campo brejoso sobre solos orgânicos																									
	HY1	20-40	4,19	3,7	-0,49	26,6	32	9	0	0,13	2,22	17,2	0,25	2,47	17,45	1,4	89,9	35	15,00	2,3	17,3	2,76	71,5	0,8	2,91
	HY2	40-70	4,96	4,08	-0,88	399,7	10	3	0	0,03	2,31	26,2	0,07	2,38	26,27	0,3	97,1	10,27	1,20	8,6	4,2	1,78	59,8	0,3	7,49
	Cf	70+	5,17	4,32	-0,85	74,7	10	10	0,13	0	0,96	16,5	0,2	1,16	16,7	1,2	82,8	7,74	0,50	15,5	4,6	1,04	112,8	0,2	2,57
Perfil 10: Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada																									
	Ahc	0-10	3,21	2,49	-0,72	173,4	63	0	0,2	0,08	3,37	36,6	0,44	3,81	37,04	1,2	88,5	15,49	2,30	6,7	29,5	7,21	863,1	1,6	3,33
	Bif	10-25	3,33	2,54	-0,79	237,3	35	0,5	0,06	0,03	3,28	40,1	0,18	3,46	40,28	0,4	94,8	15,98	1,40	11,4	27,7	3,57	927,1	1	5,56
Perfil 11: Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular																									
	A	0-2	5,21	4,56	-0,65	2,8	61	23,7	0,49	0,1	0,19	7,8	0,85	1,04	8,65	9,8	18,3	16,39	1,40	11,7	6,8	2,4	726,7	2,9	1,03
	Bwc	2-20	5,49	5,82	0,33	3	13	0	0,02	0	0	3	0,05	0,05	3,05	1,6	0	1,6	0,10	16,0	2,3	0,59	72,8	0,3	1,02
Perfil 12: Latossolo Vermelho Acriférico petroplântico – matas altas sobre solos profundos de canga degradada																									
	A	0-5	4,99	4,4	-0,59	3,4	16	0	0,06	0,03	0,58	9,5	0,13	0,71	9,63	1,3	81,7	4,17	0,50	8,3	4,8	0,37	82,5	10,1	5,36
	Bwfl	5-40	4,63	4,56	-0,07	1,3	12	0	0	0,39	8,7	0,03	0,42	8,73	0,3	92,9	6,06	0,10	60,6	9,1	0,13	57,8	5,4	5,02	
	Bwf2	40-70+	4,69	4,69	0	1,3	10	0	0	0,29	8,3	0,03	0,32	8,33	0,4	90,6	5,81	0,50	11,6	7,9	0,12	41,3	6,6	5,3	
Perfil 13: Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera																									
	Ac	0-25	5,51	4,02	-1,49	5,1	56	9,6	1,02	0,21	0,87	15,6	1,41	2,28	17,01	8,3	38,2	13,04	0,82	16,0	21,9	0,89	459	18,7	0,78
	Ac	25-30	6,01	5,12	-0,89	3,3	25	5,5	0,16	0,04	0,29	6,2	0,28	0,57	6,48	4,3	50,9	2,59	0,14	18,6	10,3	0,46	131,4	4,5	0,37
Guano de caverna																									
	-	-	4,10	3,97	-0,13	237,5	108	34	1,44	0,63	1,83	23,5	2,50	4,33	26,0	9,6	42,3	13,23	-	-	20,60	6,05	184,4	5,0	0,56
Solo de montículo de termitário																									
	-	-	4,86	3,35	-1,51	12,54	103	14,3	1,54	0,73	1,84	30,8	2,60	4,43	33,5	8,15	43,2	24,40	1,53	15,9	22,07	1,25	385,6	5,71	0,68



As más condições de drenagem contribuem significativamente para a manutenção do carbono orgânico nos solos da Serra Sul. Os ambientes anóxicos tendem a apresentar menor taxa de gradação da matéria orgânica do solo, favorecendo o acúmulo de material orgânico (Hayes & Malcolm, 2001). A pobreza química dos solos também tende a contribuir para o acúmulo de carbono orgânico, uma vez que a disponibilidade nutricional da microbiota é limitada, fazendo com que as taxas de decomposição diminuam.

Somando-se aos processos que reduzem a biodegradabilidade da matéria orgânica, observa-se que a formação dos complexos Al-MO torna a MO recalcitrante (Volkoff *et al.*, 1984; Benites *et al.*, 2001; Simas, 2002). Com isso, a MO tende a se acumular no solo. Embora teores elevados de carbono orgânico sejam desejados para a manutenção da fertilidade do solo, as alterações da MO podem influenciar diretamente o meio ambiente, pois podem afetar a retenção e infiltração de água no solo, complexação de elementos tóxicos, estruturação do solo, entre outros fatores (Conceição *et al.*, 2005).

A íntima associação entre os campos ferruginosos e a ocorrência sazonal de fogo também contribuem para maior estabilidade de compostos orgânicos. A combustão incompleta de resíduos vegetais tende a produzir compostos orgânicos mais estáveis e degradabilidade mais lenta (Benites, 2002).

No caso dos perfis 5, 10 e 13, observa-se o acúmulo de material orgânico com mais de 20 cm de profundidade sobre o horizonte litoplântico (Tabela 3), o que implica dificuldades para a classificação destes solos, pois, uma vez que o horizonte litoplântico é resultado de processos pedogenéticos, não parece coerente defini-lo como um contato lítico, tal qual um afloramento de rocha propriamente dita. Esta inconsistência ainda não foi contemplada de forma clara pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (EMBRAPA, 2013).

Considerando o sistema atual de classificação do solo (EMBRAPA, 2013), os perfis 5, 10 e 13 são

classificados como Plintossolo Pétrico Litoplântico, com a proposição de inclusão do caráter hístico ao 4º nível categórico, o que não é previsto no sistema atual.

Na hipótese do horizonte litoplântico ser considerado como contato lítico, o perfil 5 seria classificado como Organossolo Háplico Sápico típico, e os perfis 10 e 13 como Organossolos Háplicos Sáplicos Íticos. Entre os perfis analisados, apenas o perfil 9, no qual o horizonte H possui 70 cm de profundidade (Tabela 3), não apresenta problema para sua classificação como Organossolo Háplico Hêmico típico.

Nos latossolos e solos com horizontes B concrecionários, a redução nos valores de carbono orgânico em profundidade é acompanhada pela redução na soma de base (SB), CTC efetiva (t) e índice de saturação por bases (V), revelando a importância da matéria orgânica do solo na geração de cargas negativas (Tabela 3).

Os valores de pH variaram de 3,21 a 5,63. Estes valores são resultados dos processos de intensa lixiviação, remoção de bases e, em parte, pela acidez proveniente da MO (Tabela 3). Segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2013), estes solos apresentam reação moderadamente a extremamente ácida. O aumento do pH ao longo do perfil evidencia a contribuição do material orgânico para a redução do pH do solo em superfície. Outro aspecto são os valores negativos de ΔpH nos horizontes superficiais como resultado da contribuição da matéria orgânica no balanço das cargas negativas dos solos intemperizados (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Solos com horizonte litoplântico

A presença do horizonte litoplântico constitui um severo impedimento à infiltração de água e penetração de raízes (Figura 2). Estes solos são encontrados em três situações nas áreas estudadas: áreas planas, onde ocorre acúmulo de água durante o período das chuvas, com desenvolvimento de vegetação gramínoide; áreas montanhosas e lajedos, com vegetação de campo rupestre com *Vellozia*; e encostas montanhosas, com vegetação de campo rupestre arbustivo.

Nas duas primeiras situações, o horizonte litoplíntico apresenta-se muito próximo à superfície, sob um delgado horizonte A, geralmente com menos de 8 cm de profundidade, limitando o volume de solo para as reações de troca de nutrientes, retenção de umidade e crescimento das raízes. Nestes casos, a camada de canga é contínua, com poucas fraturas, compondo um lajedo com tendência a formar concreções pisolíticas bem arredondadas. No caso dos perfis 10 e 13, a maior profundidade do horizonte superficial permite o desenvolvimento de campos rupestres com predomínio de elementos arbustivos, que caracterizam o geoambiente encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera (Figura 2).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), a presença do horizonte Litoplíntico é suficiente para classificação dos perfis 3, 6, 7, 11 e 13 até o 3º nível categórico como Plintossolo Pétrico Litoplíntico.

Estes são solos minerais, rasos e com alta propensão à erosão, sobretudo nas encostas. A atividade de térmitas é de extrema importância para a formação do solo em bolsões. A erosão dos montículos fornece material que se acumula nas fraturas e em microdepressões nas quais as plantas se desenvolvem. Nestas condições, os horizontes superficiais são geralmente escuros, com textura fraca e relativamente ricos em carbono orgânico.

Solos com horizonte concrecionário

Os solos com caráter concrecionário apresentaram profundidade e teor de concrecionamento variável. O grau de fraturamento da canga ferrífera e a posição na paisagem destacam-se como controladores dessas características. Mesmo os horizontes fortemente concrecionários permitiram o desenvolvimento de uma vegetação de porte arbóreo, típica dos geoambientes matas altas (Figura 2).

Em todos os perfis desse grupo, o horizonte sub-superficial apresenta estrutura forte, muito pequena granular, típica de solos desenvolvidos de rochas ferríferas (Curi, 1983; EMBRAPA, 1988; Ker & Schaefer, 1995; Costa,

2003). O predomínio de cores vermelhas com matiz (10R) nos horizontes subsuperficiais dos perfis concrecionários (Tabela 2) reflete a influência da hematita, que em condições ambientais de boa drenagem tem sua formação privilegiada, contribuindo para a coloração avermelhada do solo (Resende, 1976; Kämpf & Schwertmann, 1983).

Nas encostas, o horizonte B raramente ultrapassa 50 cm de profundidade e o grau de concrecionamento é elevado, chegando a apresentar mais de 60% de seu volume preenchido por matações e calhaus de petroplintita. Tais características permitem classificar esses solos até o 3º nível categórico como Plintossolos Pétricos Concrecionários (perfis 1, 2 e 4). No terço inferior das encostas ou no interior das feições doliniformes, o horizonte Bw apresenta mais de 50 cm de profundidade (Figura 2).

O perfil 12 foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico petroplíntico. Para tal, utilizou-se o horizonte Bw, cujas características foram: 65 cm de profundidade; menos de 50% de concreção; estrutura forte, pequena a muito pequena granular; relação silte/argila próxima a 0,7; e cores com matiz 10R. Em virtude do elevado conteúdo de petroplintita, foi proposta a sua classificação como petroplíntico no 4º nível categórico, visto que o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos não prevê este atributo para essa classe.

De modo geral, os latossolos da Serra Sul são formados a partir da degradação dos blocos de canga em ambientes favoráveis ao acúmulo de colúvios, como grotas e depressões em meio à canga, frequentemente associadas às entradas das inúmeras cavernas formadas pela dissolução da canga ferrífera (Figura 2). A formação de bolsões de material latossólico condiciona maior profundidade efetiva e, conseqüentemente, maior retenção de umidade, permitindo o desenvolvimento de vegetação florestal de maior porte.

Solos orgânicos

Os solos orgânicos ocorrem em ambientes depressionais, que favorecem o acúmulo de água e material orgânico, tal

como o campo brejoso e o buritizal. Mesmo na estação seca, o solo encontra-se saturado de água a partir de 30 cm de profundidade. Os solos associados aos buritizais também apresentam lençol freático elevado, sendo representados pelo perfil 5, com coloração escura, indicando altos teores de carbono orgânico. É um solo profundo e mal drenado. Na zona de oscilação do lençol freático, ocorrem fragmentos de canga em degradação, passando de petroplintita à plintita.

Em geral, todos os solos apresentam cores mais escuras nos horizontes superficiais (valor e croma baixo) em função dos maiores teores de matéria orgânica em relação aos horizontes sub-superficiais. Os perfis 5, 8 e 9 apresentaram cor preta até 20 cm ou mais de profundidade, o que reflete a importância da matéria orgânica nas características e na gênese destes solos, associada a um pedoclima mais úmido.

ESTOQUE DE CARBONO

A quantificação do estoque de carbono foi realizada nas camadas superficiais e sub-superficiais dos solos (Tabela 4). Os teores de carbono apresentaram alta

variabilidade dentro dos mesmos geoambientes, evidenciando as condições heterogêneas do ambiente.

De modo geral, os solos da Serra Sul dos Carajás apresentam quantidades surpreendentemente elevadas de carbono orgânico para padrões amazônicos. Apesar do porte reduzido das formações vegetais, os geoambientes evidenciam grande importância para a conservação do carbono no solo e no ambiente. O estoque de COT dos solos estudados demonstra a grande importância dos ambientes mal drenados (depressões e patamares campestres mal drenados) na conservação de teores elevados de carbono orgânico no sistema. Destacam-se os campos brejosos e buritizais que possuem turfeiras, as quais, apesar de ocuparem uma restrita extensão na Serra Sul, apresentam os maiores valores absolutos de estoque de carbono no solo. Nas encostas florestadas, o estoque de carbono é relativamente alto, devido principalmente à grande espessura do *solum*.

A conservação dos campos brejosos e buritizais, bem como de outros geoambientes de elevada capacidade de acúmulo de C, é indispensável para a manutenção dos serviços ambientais de conservação de carbono. Dado que

Tabela 4. Estoque de carbono (EC) dos solos estudados da Serra Sul de Carajás.

Perfil	EC (kg m ⁻²)	EC (kg m ⁻²)	EC total (kg m ⁻²)	Geoambiente
	Horizonte superficial	Horizonte sub-superficial		
1	2,16	13,02	15,18	Matas altas
2	10,85	21,00	31,85	Matas altas
3	2,52	-	2,52	Campo graminoso
4	4,95	22,95	27,90	Matas altas de transição
5	33,80	-	33,80	Campo brejoso
6	10,25	-	10,25	Campo rupestre com <i>Vellozia</i>
7	3,85	-	3,85	Campo rupestre arbustivo
8	18,44	35,91	54,35	Buritizal
9	70,00	54,03	124,03	Campo brejoso
10	15,49	23,97	39,46	Matas baixas
11	3,28	2,88	6,16	Campo graminoso
12	2,09	38,64	40,73	Matas altas
13	32,60	4,72	37,32	Campo rupestre arbustivo



as condições químicas e físicas para o desenvolvimento e acumulação de matéria orgânica (MO) são extremamente limitadas, as intervenções realizadas nessas áreas devem ser seguidas de medidas compensatórias, com a finalidade de contrabalancear as imensas perdas de C, oriundas da retirada de camadas superficiais e mudança nas dinâmicas de drenagem, que levam à mineralização da MO.

CONCLUSÕES

Tanto em uma escala geral quanto mais detalhada, existe um forte controle pedológico sobre as diferentes fitofisionomias presentes nas áreas de canga da Serra Sul, evidenciando uma relação direta entre a profundidade do solo, e conseqüentemente retenção de água, e o porte da vegetação. De forma generalizada, os solos são sempre ácidos, distróficos e com CTC muito baixa, que é fortemente dependente dos teores de matéria orgânica.

A vegetação florestal ocorre sempre que o horizonte B concrecionário, possui mais de 30 cm de profundidade. Em solos mais rasos do que 30 cm, ocorrem formas de transição, com padrões arbustivos de campo rupestre. No extremo mais raso, quando se tem o horizonte litoplântico recoberto apenas por um horizonte A delgado (em bolsões de menos de 15 cm espessura), há presença de campos rupestres herbáceos nas encostas, ou campos gramíneos nas partes baixas, sazonalmente inundadas.

Pelo papel crucial da matéria orgânica verificado nos processos físico-químicos e ecológicos destes solos, recomenda-se que, nas atividades de mineração, o *topsoil* (camada superficial de solo) seja separado e reutilizado na recuperação das áreas degradadas, sem o qual a recuperação pode ser severamente comprometida.

A meta da recuperação, sempre que possível, deve visar uma restauração integral dos geoambientes, tendo em vista que cada qual possui singularidades fitofisionômicas e pedológicas que permitem antever valor ecológico na conservação.

O *continuum* geoambiental observado na escala de estudo mostra que medidas de proteção a pontos

ou zonas isoladas de um contexto ecológico que forma gradientes (depressões, cavidades) pode não significar uma proteção efetiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Vale e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N., 1986. Geomorfologia da região. In: J. M. G. ALMEIDA JR. (Org.): **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**: 88-124. CNPq/Brasiliense, São Paulo/Brasília.

AB'SABER, A. N., 1987. Aspectos geomorfológicos de Carajas. In: **Desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas de trópico úmido brasileiro**. A experiência da CVRD: 201-232. Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), International Wildfowl Research Bureau (IWRB), Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro.

ALMEIDA, R. C. C., 1980. **Contribuição à petrologia do granito central da serra dos Carajás**: 1-64. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém.

ALMEIDA, F. F., G. C. MELCHER, U. G. CORDANI, K. KAWASHITA & P. VANDOROS, 1968. Radiometric age determinations from Northern Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia** 17(1): 3-14.

ARAÚJO, O. J. B. & R. G. N. MAIA (Org.), 1991. **Serra dos Carajás**. Folha SB.22-Z-A: Estado do Pará: 1-164. DNPM-CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Grande Carajás), Brasília.

BARBOSA, O., 1966. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia**: 1-94. Divisão de Geologia e Mineralogia (Monografia 19), Rio de Janeiro.

BAYER, C. & J. MIELNICZUK, 1997. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 21: 105-112.

BEISIEGEL, V. R., 1982. Carajás iron-ore district. **Abstracts and Excursions of the International Symposium on Archean and Early Proterozoic Geologic Evolution and Metallogenesis** 47-61.

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.



- BENITES, V. M., 2002. **Caracterização de solos e substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude**: 1-86. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BENITES, V. M., C. E. R. G. SCHAEFER, E. S. MENDONÇA & L. MARTIN NETO, 2001. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no parque estadual da Serra do Brigadeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25(3): 661-674.
- BRASIL, 1974. **Projeto RADAMBRASIL**: Folha SB.22 Araguaia e parte de SC.22 Tocantins; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra. Programa de Integração Nacional (Levantamento de Recursos Naturais, 4), 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.
- CONCEIÇÃO, P. C., T. J. C. AMADO, J. MIELMICZUK & E. SPAGNOLLO, 2005. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29(5): 777-788.
- CORRÊA, G. R., 2011. **Pedogênese em platôs de canga ferrífera e basaltos na Serra de Carajás - PA**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CORRÊA, G. R., C. E. SCHAEFER & R. J. GILKES, 2013. Phosphate location and reaction in an archaeanthrosol on shell-mound in the Lakes Region, Rio de Janeiro State, Brazil. **Quaternary International** 315: 16-23.
- 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.
- COSTA, S. A. D., 2003. Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero: 1-71. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CURI, N., 1983. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais states, Brazil**: 1-158. Tese (Doutorado em Geologia) – Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- CURI, N. & D. P. FRANZMEIER, 1987. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal** 51(1): 153-158.
- DONAGEMMA, G. K., H. A. RUIZ, M. P. F. FONTES, J. C. KER & C. E. G. R. SCHAEFER, 2003. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27: 765-772.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1988. **Anais da III Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola**. EMBRAPA/SNLCS, Rio de Janeiro.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1997. **Manual de métodos e análises de solo**: 2. ed.: 1-212. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 3. ed.: 1-353. EMBRAPA, Brasília.
- FALESI, I. C., 1986. O ambiente edáfico. In: J. M. G. ALMEIDA JR. (Ed.): **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**: 125-155. Brasiliense/CNPq, Brasília/São Paulo.
- FIDALGO, E. C. C., V. M. BENITES, P. L. O. A. MACHADO, B. E. MADARI, M. R. COELHO, I. B. MOURA & C. X. LIMA, 2007. Estoque de carbono nos solos do Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 121: 1-27.
- GIBBS, A. K. & K. R. WIRTH, 1990. Geologic setting of the Serra dos Carajás Iron deposits, Brazil. In: J. J. CHAUVEL (Ed.): **Ancient banded iron formations (regional presentations)**: 83-102. Theophrastus Publication, Greece.
- GOLDER CONSULTORIA E PROJETOS, 2008. **Estudo de similaridade das paisagens de savana metalófila da região de Carajás**. Componente do “Projeto para Avaliação do Tamanho Mínimo Viável de Canga na Floresta Nacional de Carajás”, municípios de Canaã de Carajás e Parauapebas, PA. Golder Associates Brasil, Belo Horizonte.
- HAYES, M. H. B. & R. L. MALCOLM, 2001. Considerations of compositions and aspects of the structures of humic substances. In: M. H. B. HAYES & R. L. MALCOLM (Ed.): **Humic substances and chemical contaminants**: 3-39. Soil Science Society of American, Madison.
- HIRATA, W. K., J. C. RIGON, K. KADEKARU, A. A. C. CORDEIRO & E. M. MEIRELES, 1982. Geologia da Província Mineral de Carajás. **Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia** 1: 100-110.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA), 2003. **Plano de manejo de uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás**. STCP Engenharia e Projetos Ltda., Brasília.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO), 2016. **Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás**: v. I: Diagnóstico. STCP Engenharia e Projetos Ltda., Brasília.

- JOLY, A. B., 1970. **Conheça a vegetação brasileira**. Polígono/EDUSP, São Paulo.
- KÄMPF, N. & U. SCHWERTMANN, 1983. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulínticos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 7: 27-31.
- KER, J. C. & C. E. G. R. SCHAEFER, 1995. **Roteiro da excursão pedológica Viçosa - Sete Lagoas**: 1-47. UFV, Viçosa.
- KOTSCHOUBEY, B. & V. P. LEMOS, 1985. Considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da serra dos Carajás. **Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia** 2: 48-61.
- LIMA, J. M., N. CURTI, M. RESENDE & D. P. SANTANA, 1990. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 14: 85-90.
- 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.
- PARADELLA, W. R., M. F. F. SILVA, N. A. ROSA & C. A. KUSHIGBOR, 1994. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil), based on digital TM Landsat and DEM data. **International Journal of Remote Sensing** 15(8): 1633-1648.
- PEREIRA, M. M., 1991. **Caracterização do clima da microrregião de Marabá e identificação das áreas adaptadas ao cultivo de feijão caupi e castanha sobre o ponto de vista climatológico**: 1-30. UFP, Porto.
- PORTO, M. L. & M. F. F. SILVA, 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasílica** 3(2): 13-21.
- RESENDE, M., 1976. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**: 1-237. Tese (Doutorado em Geologia) – Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- RESENDE, M., N. CURTI, S. B. REZENDE & G. F. CORRÊA, 2007. **Pedologia**: base para distinção de ambientes: 5. ed. rev.: 1-322. UFLA, Lavras.
- RESENDE, N. P. & A. L. M. BARBOSA, 1972. **Relatório de pesquisa de minério de ferro**: distrito ferrífero da Serra dos Carajás, Estado do Pará: 1: 1-248. AMZA, Belém.
- RIO DOCE GEOLOGIA E MINERAÇÃO (DOCEGEO), 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. **Anexo aos Anais do Congresso Brasileiro de Geologia** 35: 11-59.
- SANTOS, R. D., R. C. LEMOS, H. G. SANTOS, J. C. KER, L. H. C. ANJOS & S. H. SHIMIZU, 2013. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**: 6. ed.: 1-92. SBCS, Viçosa.
- SCHAEFER, C. E. G. R., M. A. ALBUQUERQUE, J. C. F. CAMPOS, L. L. CHARMELO & F. N. B. SIMAS, 2000. Elementos da paisagem e gestão da qualidade ambiental. **Informe Agropecuário** 21(202): 20-44.
- SCHAEFER, C. E. G. R., F. N. B. SIMAS, B. A. F. MENDONÇA, A. S. S. RIBEIRO, W. FERREIRA JÚNIOR, J. NUNES & G. R. CORRÊA, 2007. **Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás – PA**: 1-71. Relatório técnico. [s. n.], Viçosa.
- 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.
- SECCO, R. S. & A. L. MESQUITA, 1983. Nota sobre a vegetação de canga da Serra Norte - I. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, nova série Botânica** 59: 1-13.
- SILVA, M. F. F., N. L. MENEZES, P. B. CAVALCANTE & C. JOLY, 1986. Estudos botânicos: histórico, atualidade e perspectivas. In: J. M. G. ALMEIDA JR. (Org.): **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**: 184-207. Brasiliense/CNPq, Brasília/São Paulo.
- SILVA, M. F. F. & N. A. ROSA, 1989. Análise do estrato arbóreo da vegetação sobre jazida de cobre na Serra dos Carajás-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica** 5(2): 175-206.
- SIMAS, F. N. B., 2002. **Pedogênese e geoambientes na Serra Verde, parte da Mantiqueira Mineira**: atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos. 1-78. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- TRICART, J. & C. KIEWIET DE JONGE, 1992. **Ecogeography and rural management**. Longman Group, Harlow.
- VENEZIANI, P., A. R. DOS SANTOS & W. R. PARADELLA, 2004. A evolução tectono-estratigráfica da Província Mineral de Carajás: um modelo com base em dados de sensores remotos orbitais (sar-c radarsat-1, tm landsat-5), aerogeofísica e dados de campo. **Revista Brasileira de Geociências** 34(1): 67-78.
- VITORINO, A. C. T., M. M. FERREIRA, N. CURTI, J. M. LIMA, M. L. N. SILVA & P. E. F. MOTTA, 2003. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38(1): 133-141.
- VOLKOFF, B., C. C. CERRI & A. J. MELFI, 1984. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 8: 277-283.

