

CARACTERIZAÇÃO MICROPEDOLÓGICA DE SOLOS REABILITADOS APÓS EXPLORAÇÃO DE BAUXITA EM PORTO TROMBETAS (PA)⁽¹⁾

**M. L. P. RUIVO⁽²⁾, C. E. G. R. SCHAEFER⁽³⁾, N. F. BARROS⁽³⁾,
M. A. ALBUQUERQUE⁽⁴⁾ & L. M. RIBEIRO⁽⁵⁾**

RESUMO

Foi realizado um estudo micromorfológico em solos alterados após a exploração de bauxita, em sítios recuperados entre 1981 e 1987, em comparação ao Latossolo Amarelo inalterado (LA), como referência, para subsidiar indicadores de recuperação dos solos. O estudo foi desenvolvido no Platô Saracá, na mina de bauxita de Porto Trombetas, município de Oriximiná, no estado do Pará. Técnicas micromorfológicas e uso de microssonda de EDS, microscopia ótica e eletrônica de varredura foram avaliadas em conjunto com dados físicos e químicos dos solos alterados e do LA, nas profundidades de 0-10 e 40-50 cm. O Latossolo Amarelo mostrou forte microestrutura granular, enquanto os solos alterados apresentaram grande variabilidade em microestrutura e feições micropedológicas. O retorno do horizonte superficial, rico em matéria orgânica, favoreceu a microagregação. De modo geral, os solos alterados mostraram maior massividade e agregados mais coalescidos, em relação ao LA de referência. Análises microquímicas de EDS comprovaram a heterogeneidade dos solos superficiais alterados, com ocorrência de nódulos gibbsíticos, ferruginosos, concreções, agregados cauliniticos e plasma dominado por argilominerais 1:1, sob intensa pedobioturbação.

Termos de indexação: Latossolos, solos alterados, micromorfologia, indicadores de recuperação, Amazônia.

⁽¹⁾ Parte integrante da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Apoio Financeiro CMRN, CAPES e CNPq. Recebido para publicação em março de 2001 e aprovado em fevereiro de 2002.

⁽²⁾ Pesquisador, Coordenadoria de Ecologia/Museu Paraense Emílio Goeldi. Av. Perimetral 1901, Caixa Postal 399, CEP 66040-170 Belem (PA). E-mail: ruivo@museu-goeldi.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 33571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: nfbarrros@mail.ufv.br

⁽⁴⁾ Professora do Centro de Pesquisas, FUNEC. Av. Moacir de Mattos 49, CEP 35300-040 Caratinga (MG).

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, UNIMONTES, Janaúba (MG). Bolsista Apoio Técnico Pesquisa CNPq.

SUMMARY: *MICROPEDOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ALTERED SOILS AFTER BAUXITE MINING IN PORTO TROMBETAS (PA)*

A micropedological study was carried out in rehabilitated soils after bauxite mining, in sites dating from 1981 to 1987, compared with the Yellow Latosol, as reference, to subsidize soil indicators of rehabilitation. The study was located in Porto Trombetas, district of Oriximiná, northwestern Pará State. Micromorphological techniques, using EDS/SEM microprobe, optical and scanning electronic microscopy, were used in combination with chemical and physical analysis, at 0-10 and 40-50 cm depths. The Yellow Latosol showed a strong development of microgranular structure, whereas the altered soils presented a great variability with respect to microstructure and micropedological features. The spread of topsoil back onto the sites, due to organic matter richness, favored the surface aggregation. Overall, the altered soils were more massive and with coalesced peds, compared with the Yellow Latosol. SEM/EDS Microchemical analysis have confirmed the heterogeneity of surface altered soils, with occurrence of gibbsite and ferruginous nodules, caulinitic aggregates and soil plasma of 1:1 clay composition, under intense pedobioturbation.

Index terms: Latosols; micromorphology, altered soils, indicators of rehabilitation; Amazonia.

INTRODUÇÃO

O município de Porto Trombetas está situado à margem direita do rio Trombetas, no município de Oriximiná (PA), onde ocorre a exploração de bauxita em platôs de 50-150 m de altitude.

Na Amazônia, o platô Saracá, situado no domínio do Planalto Dissecado Rio Trombetas - Rio Negro (Nascimento, 1976), foi a primeira mina a ser reabilitada após o final da lavra mineral. O solo do platô Saracá foi classificado por Viana (1976) como Latossolo Amarelo álico (LA), originado de rochas sedimentares do Grupo Barreiras, apresentando o horizonte A pouco espesso e o horizonte B profundo. É um solo muito argiloso, ácido, com altos teores de Al trocável e baixos teores de fósforo, de cálcio e de magnésio (Viana, 1976; Ferraz, 1991; Ruivo, 1991). O perfil típico das áreas mineralizadas em bauxita mostra uma camada superficial de solo com teores médios a altos de carbono orgânico (horizonte A), com espessura média de 15 cm. Abaixo deste, ocorre um horizonte B caulinitico, com aproximadamente 200 cm de espessura e, sob esse pacote pedogenizado, ocorre depósito argiloso, de cor amarela, caulinitico. Na base do depósito argiloso, encontra-se bauxita nodular em camada com espessura de até 250 cm, constituída por pisólitos ferruginosos e nódulos de gibbsita em matriz argilosa. A camada subjacente à bauxita nodular é uma laterita ferruginosa (couraça) com espessura máxima de 200 cm. Logo abaixo desta camada, encontra-se uma camada de bauxita compacta com espessura variando de 300 a 600 cm, que constitui o principal minério explorado (Pereira & Knowles, 1985; Promom, 1988).

Em Porto Trombetas, além da floresta tropical densa, caracterizada por árvores com altura máxima de até 45 m e diâmetro de até 1 m (Pereira & Knowles, 1985), destaca-se a vegetação oriunda do

reflorestamento das áreas reabilitadas após a extração da bauxita. Atualmente, após a retirada da bauxita, a área é recomposta com o retorno do horizonte A ("topsoil") do solo original (Latosolo Amarelo argiloso), à exceção dos plantios de 1981, 1986 e 1994 e do plantio de espécies vegetais nativas e exóticas.

A mineração de bauxita modifica o solo quanto à topografia e circulação de água (Schroeder, 1995), reduzindo a camada orgânica e a disponibilidade de nutrientes (Li & Daniels, 1994; Ruivo, 1998). Em Porto Trombetas, os sítios reabilitados que datam de 1981 não receberam cobertura do topsoil, rico em matéria orgânica. Entretanto, Ruivo (1991) verificou a presença de bolsões descontínuos de material orgânico em trincheiras abertas no solo alterado, em alguns sítios reabilitados em 1981. Essa variabilidade acidental decorreu da mistura dos horizontes B e materiais subjacentes com o material superficial mais rico em matéria orgânica, que ficou na parte superficial do solo alterado durante o espalhamento do material com tratores.

A adição de matéria orgânica, pelo retorno do "topsoil" ou da revegetação, melhora as condições edáficas e o desenvolvimento da vegetação (Ruivo, 1991; Li & Daniels, 1994; Parrotta et al., 1997). Em Porto Trombetas, Ruivo (1998) verificou que as condições edáficas e o efeito das espécies vegetais foram mais atuantes no desenvolvimento da vegetação que o efeito temporal e que o retorno do horizonte A pedogenético e o restabelecimento da cobertura vegetal aceleraram a recomposição edáfica dos sítios alterados pelo favorecimento ao acúmulo de resíduos vegetais e a atividade biológica.

Os estudos em solos indeformados em escalas microscópicas podem mostrar algumas destas modificações, fornecendo informações sobre o material de origem e variações físicas, químicas e

biológicas. Estudos micromorfológicos de solos têm evidenciado a importância da atividade biológica (Nunes et al., 2000; Oliveira et al., 2000; Schaefer, 2001), a forma dos poros e a compactação das camadas (Faria, 1996), permitindo avaliar a evolução dos processos de alteração desenvolvidos a partir de material de origem de composição geoquímica distinta (Lacerda et al., 2000).

No presente trabalho, avaliou-se e comparou-se a micromorfologia dos solos alterados após a recuperação paisagística em diferentes anos com as feições micropedológicas, químicas e físicas do Latossolo Amarelo de referência.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos sítios amostrados

O sítio de referência do Latossolo Amarelo (LA) está situado no centro do platô Saracá. A cobertura de mata primária foi parcialmente alterada pela entrada de tratores e pela retirada de sementes e de indivíduos de maior porte e de interesse econômico. Trata-se de um Latossolo Amarelo argiloso álico horizonte A moderado pouco espesso e horizonte B profundo.

Nos solos alterados, foram estudados sítios localizados na borda, onde não houve retorno do topsoil (sítios 1, 2, 3 e 4-reabilitados em 1981) e, no centro do platô, onde houve retorno do topsoil (sítio 10 reabilitado em 1984 com *Terminalia catappa* e sítio 12, reabilitado em 1987). Nos primeiros, o solo é mais compactado, a espessura da camada orgânica é mais delgada e apresenta baixa disponibilidade de nutrientes, dificultando o desenvolvimento da vegetação replantada. Nos sítios 10 e 12, localizados no centro do platô, graças ao retorno do topsoil, o solo alterado apresenta maior disponibilidade de nutrientes com melhor agregação e camada orgânica mais espessa, em relação à borda e ao LA de referência, favorecendo o melhor desenvolvimento da vegetação ali implantada.

Análises micromorfológicas

Coletaram-se amostras para análises micromorfológicas, físicas e químicas nas profundidades de 0-10 e de 40-50 cm. Para as análises micromorfológicas, amostras indeformadas de solo foram coletadas em caixas de Kubierna, sendo, posteriormente, impregnadas com resina e confeccionadas lâminas polidas (seções-finas) nas dimensões de 3 x 6 cm, analisadas em microscópio petrográfico. As lâminas foram descritas, conforme as recomendações de Fitzpatrick (1993), dando-se ênfase à microestrutura, observações sobre feições micropedológicas e atividade biológica. As características físicas e químicas do solo foram analisadas segundo métodos preconizados por EMBRAPA (1997).

Microanálises em seções finas

Seções finas selecionadas, previamente estudadas em microscópio petrográfico com polimento manual, foram preparadas para microanálise em microscopia eletrônica de varredura. Amostras de 2,0 x 2,5 cm foram polidas sucessivamente em disco de nylon com pasta de diamante, desde 60, 6, 3 até 1 μ . Após lavagem ultra-sônica final para remoção de resíduos do polimento, as seções finas foram recobertas com filme condutor de carbono e montadas em suporte metálico.

As lâminas foram subsequentemente analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo JEOL JSM 6400, com detector *backscattering* e acoplado a espectrômetro de dispersão de raios-X (PCXA-EDS) para exame microquímico das feições selecionadas. As análises microquímicas foram efetuadas com voltagem de 15 kV, 5 A e a 39 mm de distância de trabalho (detector-superfície). A cada troca de amostras, o PCXA-EDS foi recalibrado com padrão de cobre.

Foi elaborado um menu de elementos para análise quantitativa em EDS. Foram obtidos mapas microquímicos das áreas selecionadas, para os principais elementos presentes (Si, Al, Fe e Ti) e, após a identificação de feições pedológicas com características químicas distintas, procedeu-se à análise dessas feições em magnificação elevada, obtendo-se espectros quantitativos de EDS, gravados em computador. Todas as feições foram analisadas em três repetições, mapeadas e fotografadas em imagens de retroespalhamento de elétrons (*backscattering*) para visualização da sua morfologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas observações micropedológicas de amostras coletadas em alguns sítios estudados, elaborou-se o quadro 1, que contém informações sobre algumas características físicas e químicas selecionadas e uma descrição micromorfológica sucinta do solo, nas profundidades de 0-10 e de 40-50 cm.

No solo inalterado, observou-se uma microestrutura composta, com blocos subangulares pequenos + granular típica, com tendência de predomínio de microagregados subsféricos na faixa de 0,3-0,5 mm (Figura 1a), entremeados por microagregados muito pequenos, menores que 0,06 mm, com limites difusos, aderidos em graus variados à superfície dos agregados maiores. O caráter difuso e pouco definido dos microagregados pequenos parece estar relacionado com a presença de argila dispersa em água na profundidade de 0-10 cm, o que é corroborado pelo grau de floculação (GF) de 93 % (Quadro 1). O aumento da argila dispersa na superfície, por sua vez, parece depender dos valores mais elevados de carbono orgânico (CO) nesta profundidade, causando dispersão.

Quadro 1. Características físicas, químicas e micromorfológicas dos solos de sítios em recuperação (1, 2, 3, 4, 10 e 12) e do solo inalterado (LA), usado como referência no presente estudo

Sítio	Prof.	Areia	Silte	Argila	GF	Microestrutura	Feições Micropedológicas	CO	pH H ₂ O/KCl	Atividade biológica
	cm	g kg ⁻¹			%			g kg ⁻¹		
LA (ref.)	10	67	108	824	93	composta, blocos subangulares pequenos	fragmentos carvão, restos orgânicos lignificados	36,3	3,8/3,5	intensa atividade biológica
	50	51	24	925	100	microgranular (idem 50 cm)	idem, c/nódulos em 50 cm	13,1	4,2/4,2	raros canais
1 (1981) borda	10	54	122	789	100	composta massiva + blocos subangulares	raros frag. lignificados, carvão, conc. bauxita	10,8	4,2/4,4	canais biológicos e pelotas fecais
	50	65	107	803	100	composta massiva + granular + blocos subangulares	laterita e nódulos macios idem 50 cm	19,3	4,4/4,2	raros canais
2 (1981) borda	10	66	151	745	100	composta massiva + blocos subangulares	abundantes nódulos e conc. com recobrimento de Fe	6,9	4,4/5,1	raros indícios de atividade Biológica
	50	-	-	-	-	sem lâmina	sem lâmina	-	-	-
3 (1981) borda	10	49	121	794	100	composta massiva + granular	frag. orgâ. lignificados, raros frag. nodulares, zonas ferruginizadas	20,8	4,0/4,2	raros canais biológicos e pelotas fecais
	50	51	122	792	100	composta massiva, granular e blocos subangulares	idem, com carvão	21,6	4,2/4,2	raros canais
4 (1981) borda	10	272	141	588	98	composta massiva + microgranular forte	abundantes restos vegetais, carvão e nódulos	26,2	4,2/4,2	intensa atividade biológica, canais, pelotas fecais
	50	149	129	768	100	composta massiva + microgranular forte	concr., raros nódulos e frag. dispersos de carvão	13,1	4,2/4,2	canais biológicos
10 (1984) centro	10	206	200	572	62	composta blocos subangulares + granular	abund. nódulos bauxíticos., concr, carvões e rest. vegetais	30,9	4,8/4,6	canais biológicos + pelotas fecais
	50	85	149	720	100	composta massiva + blocos subangulares	gra. nódulos later/baux. degradados; raros carvões	8,5	4,6/5,3	raros canais
12 (1987) centro	10	54	80	841	97	blocos subangulares + granular	abund. nódulos bauxíticos degradados, carvão, concreção	22,4	4,2/4,4	canais biológicos + pelotas fecais
	50	67	106	777	100	blocos subangulares + granular	raros nód. muito pequenos	5,4	4,8/5,5	canais biológicos

Obs: GF: grau de flocculação; CO: carbono orgânico total; Concr. = concreções lateríticas/bauxíticas.

Sítios com retorno de mistura de top soil e subsuperfície: 1, 2, 3 e 4 (1981). Sítios com retorno de top soil: 10 (1984); 12 (1987).

Embora a matéria orgânica, especialmente os ácidos húmicos, seja normalmente considerada agente agregante das partículas do solo (Martins et al., 1989), certos compostos orgânicos presentes na fração humificada podem atuar como agentes dispersantes (Visser & Caillier, 1988; Goldberg et al., 1990).

O predomínio de agregados com tamanho entre 0,3 e 0,5 mm deve estar associado aos valores elevados de CO na profundidade de 0-10 cm (Quadro 1). O Latossolo Amarelo(LA) inalterado, na profundidade de 0-10 cm, foi o que apresentou os maiores agregados, bem como os maiores valores de CO. A distribuição do C em classes de agregados até à profundidade de 20 cm (Ruivo & Schaefer, 1998) também mostra que os teores desse elemento nos macroagregados (0,25 a 2 mm) foram maiores no LA.

Por ser um solo caulinitico, a microagregação do LA deve ser mais determinada pelo CO que pela mineralogia, fato que reforça a importância da manutenção de teores mais elevados de MO para propiciar microestrutura favorável e boas condições para a recuperação da vegetação.

No solo inalterado a 40-50 cm, com microagregação semelhante, observou-se menor empacotamento dos agregados pequenos (Figura 1b), o que revela menor dispersão de argila, associado com menores teores de CO (Quadro 1). O fenômeno de dispersão nos LAs é favorecido pela maior distância do pH do solo em relação ao pH no ponto de carga zero (PCZ).

Na profundidade de 40-50 cm, o pH é maior que a 0-10 cm (Quadro 1), o que indica maior grau de floculação (de fato, o GF é 100 % nesta profundidade). De maneira geral, o solo inalterado apresentou boas características microestruturais e bom arranjo e distribuição de poros, que deve corresponder às condições esperadas de LAs em ambiente natural.

De maneira geral, os solos dos sítios rehabilitados da borda do platô apresentaram grande variabilidade em microestrutura e feições micropedológicas, de difícil associação com as características físicas e químicas destacadas, tais como: textura, teor de carbono e pH.

No sítio 1, por exemplo, observaram-se abundância de concreções bauxíticas na superfície (Figura 1c,d), irregularmente distribuídas na matriz, de microestrutura massiva e blocos subangulares, onde a microagregação original parece ter sido parcialmente perdida pelo reempacotamento do solo sob o peso das máquinas, e mistura heterogênea da matriz do antigo horizonte A microestruturado (Figura 1c), com nódulos e concreções lateríticas. A formação de linhas de fraqueza e a geração de estrutura em bloco devem ter ocorrido em virtude de flutuações de umedecimento e secagem desde 1981, sendo notável certa migração de Fe em direção à parede dos poros (Figura 1e), indicando processo pedogenético.

No sítio 2, foram observadas a mesma tendência à coalescência de microagregados e a formação de microestrutura massiva. Nesta, os microagregados

só foram visíveis onde houve precipitação do Fe ao longo das antigas zonas de contato interagregado (Figura 1f), processo que ocorreu no tempo decorrido desde 1981, evidenciando que a massividade causada pelo reempacotamento dos poros causou certa redução e mobilidade de Fe, que migrou dos fragmentos concrecionários e bauxita para as zonas externas, formando novos precipitados na superfície de grãos de quartzo (Figura 1g) ou antigos microagregados coalescidos (Figura 1f). Em alguns casos, houve até mesmo um concrecionamento incipiente e cimentação destes materiais, o que demonstra a rapidez dos processos de oxirredução nesses solos, quando sujeitos à perda de porosidade.

No sítio 3, também recuperado em 1981, a microestrutura granular mostrou-se bem mais preservada em 0-10 cm, embora algo coalescida e massiva (Figura 1h). Em 40-50 cm de profundidade, percebeu-se tendência à maior massividade, com blocos subangulares pequenos (Figura 1i), possivelmente associados às flutuações de umedecimento e secagem em profundidade.

O sítio 4, igualmente rehabilitado em 1981, mostrou bolsões com características micropedológicas bem mais preservadas, com microagregação bem definida em superfície, com agregados maiores na faixa de 0,2-0,5 mm e agregados pequenos na faixa de 0,02-0,06 mm, com cores mais avermelhadas, indicando caráter mais oxidico e menos caulinitico dos agregados menores (Figura 1j). Ao lado do plasma denso, notaram-se bolsões com restos orgânicos recentes, lignificados, bem como fragmentos de carvão dispersos (Figura 1j), indicando intensa atividade biológica atual neste sítio, em comparação aos sítios 1, 2 e 3, anteriores, de mesma idade, o que é atribuído aos maiores teores de C-evoluído (indicativo de atividade biológica no solo) nos macroagregados na profundidade de 0-2,5 cm, que mais se aproxima do LA (dados publicados em Ruivo & Schaefer, 1998). As características micropedológicas deste solo de 0-10 cm são as que mais se aproximam da condição de referência, o LA natural, entre os sítios rehabilitados em 1981.

No sítio 10, rehabilitado em 1984, no centro do platô, notou-se grande contraste entre a microestrutura da camada superior com forte microagregação (Figura 1k e 1l) e o material subjacente (Figura 1m,n), onde se percebeu a dominância da microestrutura massiva, com abundantes fragmentos de laterita bauxítica e quartzosa, sendo envolta por plasma argiloso coeso, que formou estrutura em blocos pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem.

No sítio 12, rehabilitado em 1987, ocorreu padrão semelhante ao sítio 10, porém com menor massividade na camada inferior (40-50 cm), sendo os nódulos mais lateríticos e menos concrecionados que os do sítio 10, evidenciando grande heterogeneidade do material.

Na figura 1o, está ilustrado um canal biológico comum, preenchido com pelotas fecais, indicando

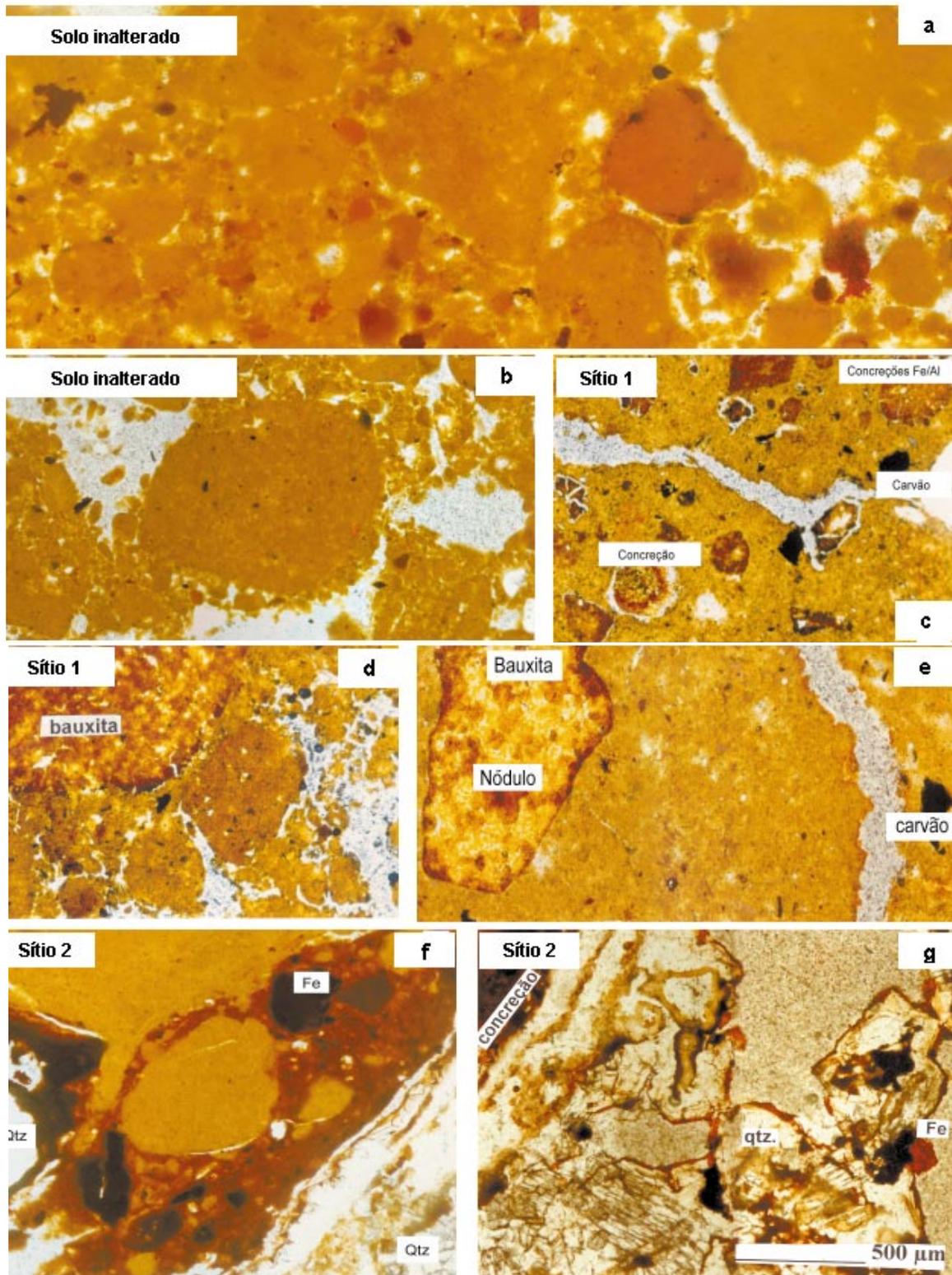
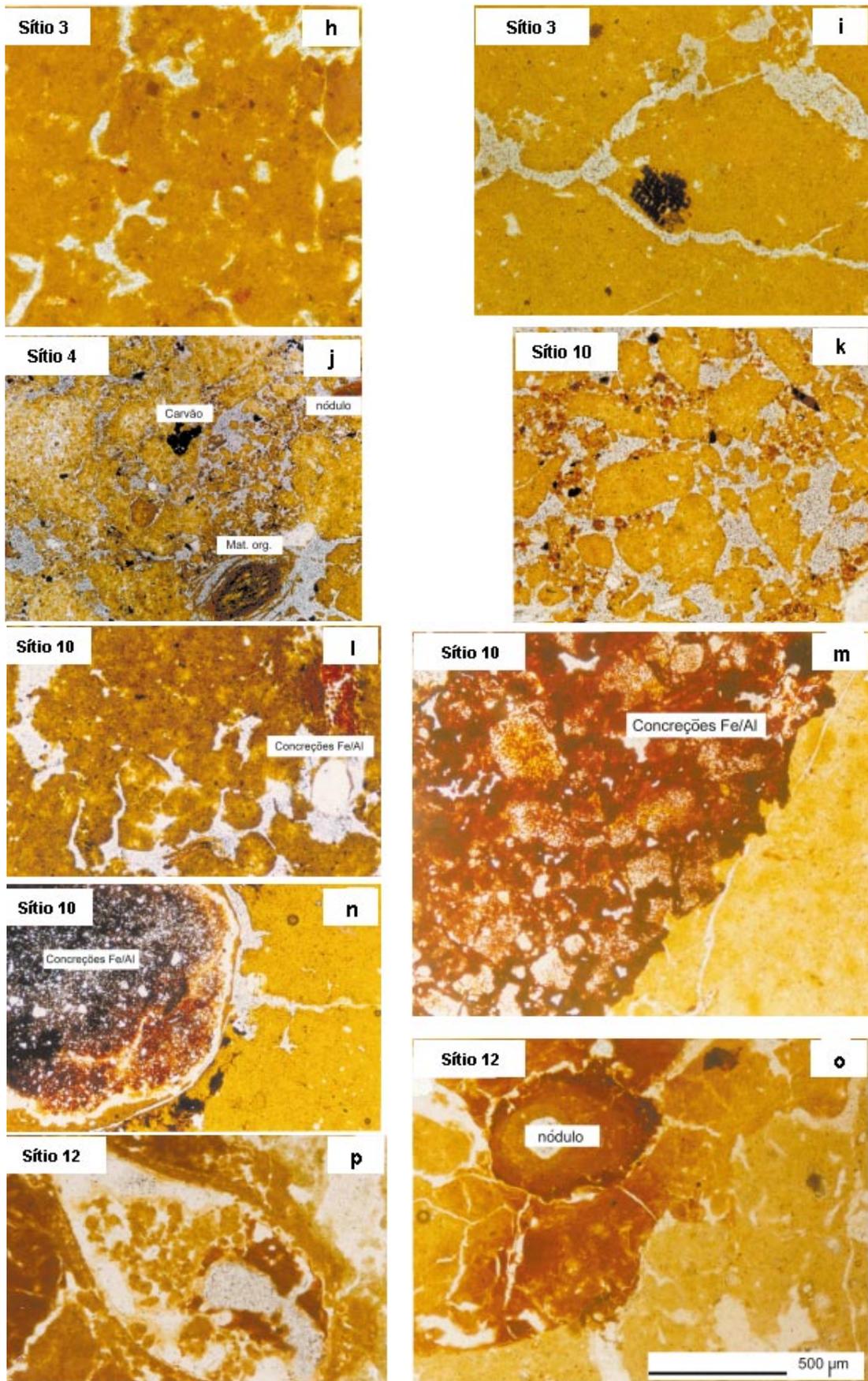


Figura 1. (a) LA: microagregação à profundidade de 10 cm; (b) LA: microagregação à profundidade de 50 cm; (c) e (d) sítio 1: concreções bauxíticas, microestrutura massiva e blocos subangulares; (e) migração de Fe em direção à parte do poro; (f) e (g) sítio 2: precipitação de Fe na superfície de antigos microagregados coalescidos e na superfície de grãos de quartzo; (h) sítio 3: microestrutura coalescida e massiva à profundidade de 10 cm; (i) sítio 3: microestrutura massiva à profundidade de 50 cm; (j) sítio 4: microagregação, restos orgânicos abundantes e fragmentos de carvão dispersos; (k) e (l) sítio 10: microagregação forte na camada superior; (m) e (n) dominância de microestrutura massiva e fragmentos de laterita; (o) canal biológico preenchido por pelotas fecais.

Figura 1. Continuação



bioturbação ativa desde a reabilitação. Em geral, a atividade biológica, em forma de canais biológicos, microagregados termíticos, pelotas fecais (Schaefer, 2001), restos lignificados e fragmentos de carvão, é mais comum nas camadas superiores, sendo abundante em alguns sítios alterados (sítios 4 e 12), provavelmente em razão da mistura e do incremento da ação biológica após a revegetação e aportes orgânicos dela derivados.

Análises microquímicas em MEV/EDS

Foram obtidos mapas microquímicos e imagens de retroespalhamento eletrônico, por meio de microscópio eletrônico de varredura JEOL 6400 (Figura 2 e

Quadro 2). Em (A), pode-se observar a microestrutura do horizonte A (0-10 cm) do LA de referência, com grãos de quartzo e plasma típico de argilominerais 1:1, com nódulos de Fe e Al, dispersos. A microestrutura superficial dos solos do sítio 4, de 0-10 cm, ilustrado em (B), assemelha-se ao LA de referência, mas ocorre uma mistura de nódulos gibbsíticos (com elevados teores de Al; detalhe em D) e macroagregados caulíníticos (teores semelhantes de Al e Si; detalhe em E) (Quadro 2, análises microquímicas), em meio ao plasma tipicamente caulínítico (Quadro 2). No solo superficial (0-10 cm) do sítio 10, onde houve retorno do topsoil, ocorreram abundantes canais biológicos em meio aos microagregados termíticos, evidenciando intensa pedobioturbação.

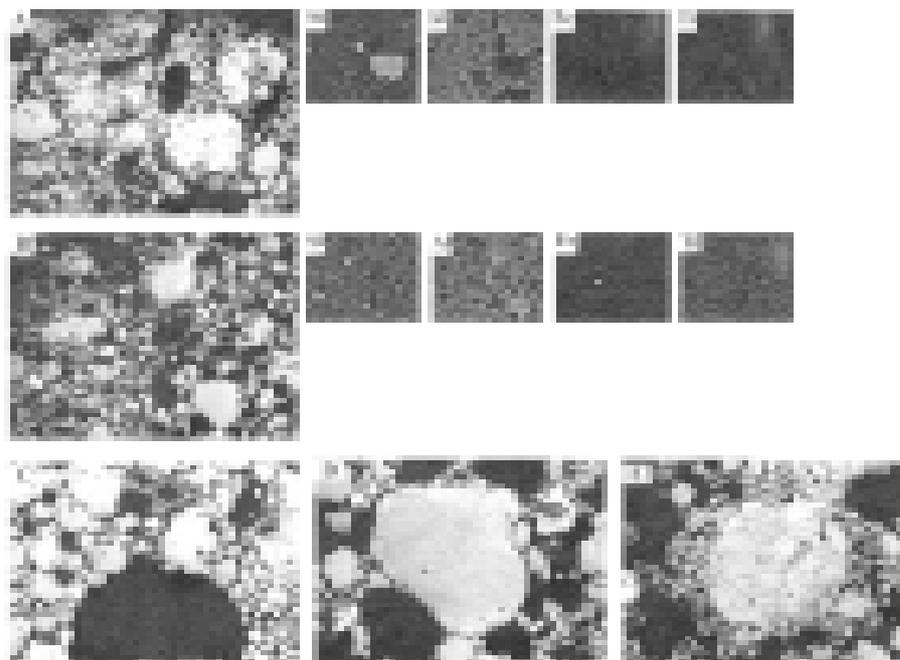


Figura 2. Fotomicrografias em retroespalhamento eletrônico (backscattering) em MEV e respectivos mapas microquímicos de EDS para Si, Al, Fe e Ti, em algumas feições selecionadas em amostras do Latossolo Amarelo de referência (foto A), horizonte A do sítio 4 (fotos B, D e E) e sítio 10 (foto C). Os respectivos dados analíticos de EDS estão reportados no quadro 2.

Quadro 2. Análises químicas quantitativas de elementos selecionados em feições pedológicas e no plasma em lâminas de solo superficial, por meio de EDS acoplado ao MEV JEOL 6400

	LA referência Plasma microagregado em (A)	Sítio 4 (0-10 cm) Plasma microagregado em (B)	Sítio 4 (0-10 cm) Nódulo gibbsítico (D)	Sítio 4 (0-10 cm) Agregado caulínítico (E)
	%			
SiO ₂	27,5	27,9	18,1	29,1
Al ₂ O ₃	24,5	26,3	40,8	26,1
Fe ₂ O ₃	2,3	1,95	1,45	6,25
TiO ₂	1,8	1,7	1,1	2,3
CaO	0,08	0,07	0,04	0,06
K ₂ O	0,05	0,07	0,04	0,04
P ₂ O ₅	0,07	0,06	0,06	0

CONCLUSÕES

1. O retorno da matéria orgânica, seja pelo espalhamento do topsoil do Latossolo Amarelo original, seja adicionada pela vegetação que se estabeleceu com a recolonização da biota do solo, acelerou a recuperação microestrutural dos solos alterados.

2. Os solos alterados, principalmente da borda do platô Saracá, apresentaram grande heterogeneidade espacial do material de cobertura. A microestrutura desses solos alterados tendeu para maior massividade geral e empacotamento, em relação ao Latossolo Amarelo de referência; em alguns casos, este fato alterou as condições redox do solo, com precipitação de Fe.

3. A microestruturação do solo mostrou-se mais desenvolvida em superfície em todos os sítios alterados, tendo os sítios 4 (1981), 10 (1984) e 12 (1987) apresentado o padrão mais próximo do Latossolo Amarelo de referência.

4. Análises microquímicas em MEV/EDS comprovaram a heterogeneidade mineralógica e estrutural dos solos alterados, com mistura de nódulos gibbsíticos e ferruginosos, agregados cauliniticos e plasma dominado por argilominerais 1:1, sob intensa pedobioturbação.

LITERATURA CITADA

- DURGIN, P.B. & CHANEY, J.G. Dispersion of kaolinite by dissolved organic matter from Douglas-fir roots. *Can. J. Soil Sci.*, 64:445-455, 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. Não paginado.
- FERRAZ, J.B. Diagnóstico do comportamento do reflorestamento realizado na mina Saracá IV (Porto Trombetas - PA) entre 1981 - 1987. Manaus, 1991. Não paginado.
- FARIA, J.C. Dinâmica da água, comportamento térmico e selamento de um Podzólico Vermelho-Amarelo em relação ao controle de plantas invasoras. 1996. 75p. (Tese de Mestrado)
- FITZPATRICK, E.A. Soil microscopy and micromorphology. New York, John Wiley & Sons, 1993. 304p.
- GOLDBERG, S.; KAPOOR, B.S. & RHOADES, J.D. Effect of aluminum and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of arid zone soils. *Soil Sci.*, 150:588-593, 1990.
- LACERDA, M.P.C.; ANDRADE, H. & QUÉMÉNEUR, J.J.G. Micropedologia e alteração em perfis de solos com B textural na região de Lavras, Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:829-841, 2000.
- LI, R.S. & DANIELS, W.L. Nitrogen accumulation and form over time in young mine soils. *J. Environ. Qual.*, 23:166-172, 1994.
- MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F. & VOLKOFF, B. O solo de um ecossistema natural de floresta localizado na Amazônia oriental. II. fracionamento da matéria orgânica do horizonte A. B. Museu Paraense Emílio Goeldi., Ser. Ci. Terra, 1:79-89, 1989.
- NASCIMENTO, D.A. Folha AS.21 - Santarém. II - geomorfologia. In: BRASIL/DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folha AS.21- Santarém. geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. DNPM, 1976. p.133-181. (Levantamento de Recursos Naturais, 10)
- NUNES, W.A.G.A.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & FERNANDES FILHO, E.I. Caracterização micropedológica de alguns solos da zona da mata mineira. *R. Bras.Ci. Solo*, 24:103-115, 2000.
- OLIVEIRA, C.V.; KER, J.C.; DUARTE, M.N.; CURI, N. & FONTES, L.E.F. Atributos micromorfológicos de solos do Projeto Jaíba, norte de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:117-128, 2000.
- PARROTTA, J.A., KNOWLES, O.H. & WUNDERLE JR., J.M. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *For. Ecol. Manag.*, 99:21-42, 1997.
- PEREIRA, F.S. & KNOWLES, O.H. Recuperação das áreas mineradas pela Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas. In: DNPM. Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração. Brasília, DNPM, 1985. p.343-358.
- PROMOM. Plano Diretor Ambiental de Porto Trombetas, proteção e recuperação do meio ambiente. Rio de Janeiro, 1988. 169p.
- RUIVO, M.L.P. & SCHAEFER, C.E.G.R. Formas e distribuição de carbono em diferentes classes de agregados em sítios recuperados após exploração de bauxita na Amazônia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E DA ÁGUA, 12, Fortaleza, 1988. Resumos Expandidos 12, Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 1998. p.392-393.
- RUIVO, M.L.P. Caracterização das condições edáficas do Latossolo Amarelo textura muito argilosa após mineração de bauxita em Porto Trombetas-Oriximiná-Pará. Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1991. 199p. (Tese de Mestrado)
- RUIVO, M.L.P. Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 101p. (Tese de Doutorado)
- SCHROEDER, S.A. Topographic influences on soil water and spring wheat yields on reclaimed mineland. *J. Environ. Qual.*, 24:467-471, 1995.
- VIANA, C.D.B. Folha SA.21 - Santarém. III - pedologia. In: BRASIL/DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folha AS.21- Santarém. geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM, 1976. p.201-303. (Levantamento de Recursos Naturais, 10)
- VISSER, S.A. & CAILLIER, M. Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances: I. dispersive effects of humic acids. *Geoderma*, 42:331-337, 1988.

