

VEGETAÇÃO, BIOMASSA MICROBIANA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO COMO INDICADORES DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL¹

Maria de Lourdes Pinheiro RUIVO²

Nairan Félix de BARROS³

Carlos Ernesto R. SCHAEFFER⁴

RESUMO: A área estudada está localizada em Porto Trombetas, município de Oriximiná, Noroeste do Pará, onde a bauxita é explorada em platôs. O estudo teve como objetivo avaliar a recuperação de áreas mineradas em Porto Trombetas, assim como obter características índices do estágio de recuperação do solo nos sítios alterados. As informações sobre a estrutura da vegetação e a coleta de solo foram feitas em 14 sítios reabilitados topográfica e paisagisticamente, entre 1981 e 1994, e em um sítio no Latossolo Amarelo (LA) sob vegetação perturbada, tomado como referência. As amostras de solo foram coletadas às profundidades de 0-2,5; 2,5-10 e 10-20 cm. Os resultados foram submetidos às análises de agrupamento. Os menores teores de carbono, nitrogênio e fósforo no solo alterado, em relação ao LA, indicam a necessidade de maior aporte de matéria orgânica e maior atividade biológica para que ocorra recuperação mais rápida dos solos alterados. As características relacionadas à matéria orgânica foram melhores indicadoras do estágio de recuperação do solo na superfície. Em profundidade, deve-se também levar em consideração as características relacionadas à matriz do solo. O carbono e o fósforo da biomassa microbiana foram indicadores sensíveis das mudanças ocorridas no solo alterado.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Análise de Agrupamento, Solos Degradados, Bioindicadores

VEGETATION, MICROBIAL BIOMASS AND SOIL CHEMICALS CHARACTERISTICS AS INDICATORS OF MINE AREA RECLAMATION ON WESTER AMAZON

ABSTRACT: An experiment was made to evaluate the reclamation of mined areas in Porto Trombetas and select soil properties to indicate the stage of reclamation of the altered sites. The studied area is located in Porto Trombetas, Oriximiná county on northwestern Pará, where bauxite is mined on plateaus. The chemical and/or biological characteristics of the area were obtained from analyses of the soil of the altered and unaltered sites, and the soil samples were collected at 0 - 2.5, 2.5 - 10 and 10 - 20 cm depths. Information of vegetation structure and samples of the soil were collected during the period of 1981 to 1994 in 14 sites of rehabilitated topography and landscape and under thinned forest on a Yellow Latosol (YL), taken as reference. Results

¹ Aprovado para publicação em 20.11.2001

Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa-UFV

² Geóloga, Dra., Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG

³ Engenheiro Florestal, Dr., Professor da UFV

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor da UFV

were subjected to cluster analyses. The low levels of carbon, nitrogen and phosphorus in the altered soil relatively to YL indicated the need for a higher amount of organic matter and a more intensive biological activity for a faster recovery of the altered sites. The characteristics related to the organic matter showed to be a better indicator for the recovery stage in the surface soil. At deeper layers it should be also considered those characteristics related to the soil matrix. Carbon and microbial biomass phosphorus were sensitive indicators for those changes occurring into the altered soil.

INDEX TERMS: Cluster Analyses, Degraded Soil, Bioindicators.

1 INTRODUÇÃO

Solos alterados pela atividade de mineração possuem limitações ao estabelecimento e ao desenvolvimento espontâneo de cobertura vegetal, principalmente em razão da estrutura inadequada e de baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes. Entre as maiores modificações que ocorrem no solo por causa da mineração destacam-se as na topografia e, conseqüentemente, na circulação da água no solo (SCHROEDER, 1995) e na redução da disponibilidade de nitrogênio (LI; DANIELS, 1994). Uma das formas de contornar, em parte, estas limitações é a incorporação de matéria orgânica e, ou, fertilizantes ao substrato. Diversos trabalhos realizados em áreas reabilitadas após atividade de mineração registram a influência da matéria orgânica na melhoria das condições edáficas e no desenvolvimento da cobertura vegetal (RUIVO, 1991; WEISSBERG, 1995; PARROTTA; KNOWLES; WUNDERLE JR., 1997). O sucesso da recuperação edáfica ao longo do tempo, conforme apontado por Li e Daniels (1994), depende do restabelecimento do N orgânico e da ciclagem deste nutriente.

Os solos recuperados após a mineração podem representar ambientes com ca-

racterísticas diferentes dentro de um mesmo local. Na área de mineração de bauxita em Porto Trombetas (PA), alvo deste estudo, foram identificados, por Ruivo (1991), dois tipos de ambientes edáficos, em função dos diferentes graus de compactação da área. O primeiro, situado na borda do platô, onde houve utilização mais intensa de tratores, tem baixa disponibilidade de nutrientes, de carbono orgânico e de fósforo disponível; estes aspectos estavam aliados à maior compactação do solo, que dificultou o desenvolvimento da floresta replantada. O segundo, no centro do platô, apresentava-se com maior disponibilidade de nutrientes e melhor agregação do solo, em relação ao primeiro, o que permitiu melhor desenvolvimento da vegetação ali implantada.

Johnson e Skousen (1995), com base na análise de agrupamento das características físicas e químicas de solos abandonados após mineração de carvão, em 15 minas, no Noroeste da Virgínia (EUA), distinguiram três grupos de condições edáficas. O primeiro grupo tem baixa acidez e alta capacidade de troca de cátions; o segundo tem alta acidez e moderada capacidade de troca de cátions; e o terceiro tem a presença de fragmentos de rochas, baixa a moderada

acidez e baixa capacidade de troca de cátions. O primeiro grupo foi completamente coberto por plantas herbáceas e árvores; e os segundo e terceiro geralmente são cobertos por árvores.

Em Porto Trombetas, Dias, Franco e Campelo (1994), usando plantios de *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*, observaram baixa disponibilidade de nutrientes para ambas as culturas, fato este que refletiu a própria condição natural daquele solo, por tratar-se de um Latossolo Amarelo álico que, após a extração da bauxita, teve seu horizonte superficial repostado. Verificou-se efeito significativo da espécie florestal para o aumento dos teores de carbono orgânico nas três profundidades amostradas (0–2,5; 2,5–7,5; 7,5–20 cm). A maior concentração de matéria orgânica no solo sob acácia reflete sua maior produção de biomassa, queda de folhas e, principalmente, “turnover” de raízes, características comuns das espécies leguminosas mais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas, como sugerido por Franco et al. (1992).

A matéria orgânica é um componente complexo do solo. Assim, nos estudos de recuperação de áreas degradadas, ao se utilizar a matéria orgânica como indicador de recuperação, há que selecionar características que sejam sensíveis a pequenas alterações no sistema solo-planta. A biomassa microbiana constitui um importante reservatório de nutrientes do solo, representando uma fonte potencial de N, P, S e outros para as plantas. Isto tem levado, mais recentemente, ao interesse em quantificar os

nutrientes contidos nas células microbianas, em especial o C, o N e o P, tendo em vista que essa fração da matéria orgânica representa importante indicador ecológico da qualidade do solo (GAMA RODRIGUES et al., 1994; GAMA RODRIGUES; GAMA RODRIGUES; BARROS, 1997; POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987; FAUCI; DICK, 1994), pois fornece informações úteis sobre mudanças decorrentes do seu uso (GERALDES; CERRI; FEIGL, 1995; LUIZÃO; LUIZÃO, 1991). A biomassa microbiana é mais sensível às modificações no ambiente do que as características físico-químicas normalmente avaliadas (POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987).

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar o estado de recuperação de sítios minerados após a reabilitação topográfica, tendo como padrão o Latossolo Amarelo original, e obter indicadores que possam indicar esta recuperação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi feito em julho de 1996 na mina de bauxita do platô Saracá, na localidade de Porto Trombetas, município de Oriximiná (PA), pertencente à Companhia de Mineração Rio do Norte (MRN).

A área, após a lavra mineral, teve a topografia e cobertura vegetal recuperadas. Assim, o solo alterado resultou numa mistura aleatória dos horizontes do Latossolo Amarelo álico muito argiloso original e estéril do minério (laterita ferruginosa e bauxita nodular). Os sítios, quando de sua

recuperação, receberam, em sua maioria, o recobrimento do horizonte A original, em camadas que variavam de 10 a 40 cm. Neste trabalho, os sítios selecionados para estudo, preparados em 1981 e em 1986, na borda do platô (sítios 1 a 4 e 7), e em 1994, no centro do platô (sítio 14), não receberam o recobrimento do horizonte A. Os sítios de 1981 (1 a 4) não receberam o recobrimento da parte superficial do solo, mais rica em matéria orgânica (MO), em virtude de não se adotar, na época, a estocagem em separado do horizonte superficial mais rico, MO, do Latossolo Amarelo, e os sítios 7 e 14, por tratar-se de áreas experimentais.

Em geral, essas áreas apresentam grande heterogeneidade quanto às características dos substratos. Há dificuldades de ca-

racterização, mas, em geral, o recobrimento vegetal foi feito da seguinte forma: foram utilizadas espécies florestais nativas, a partir da coleta de sementes na floresta e do preparo de mudas em viveiros, e espécies exóticas (as espécies vegetais mais utilizadas no reflorestamento estão listadas abaixo), com exceção do sítio 9, onde a cobertura vegetal se desenvolveu a partir de regeneração natural, e do sítio 7, onde foram plantadas exclusivamente gramíneas. Em todos os sítios, as plantas receberam 50 g por cova da mistura NPK 12-36-12. O sítio 10 (plantio experimental de *Terminalia catappa*, com posterior regeneração natural da vegetação), ao contrário dos demais, recebeu 50 g por cova de superfosfato simples. Maiores detalhes acerca da lavra e recuperação da cobertura vegetal são encontrados em Ruivo, Sales e Martins (1991).

Algumas espécies vegetais usadas no reflorestamento do platô Saracá

<i>Acácia manjium</i>	<i>Cássia</i> sp	<i>Parkia velutina</i>
<i>Anacardium giganteum</i>	<i>Denizia excelsa</i>	<i>Psychotria</i> sp
<i>Annona</i> sp	<i>Dipteryx odorata</i>	Sapindacea
<i>Astronium lecointei</i>	<i>Eucaliptus</i> sp	<i>Sclerolobium paniculatum</i>
<i>Bagassa guianensis</i>	<i>Goupia glabra</i>	<i>Sclerolobium</i> sp
<i>Bellucia grossularoides</i>	<i>Guateria</i> sp	<i>Tapirira guianensis</i>
<i>Bertholletia excelsa</i>	<i>Hevea guianensis</i>	<i>Terminalia catappa</i>
<i>Bowdichia nitida</i>	<i>Laectia procera</i>	<i>Trattinickia burserifolia</i>
<i>Byrsonima crispera</i>	<i>Licania</i> sp	<i>Vismia guianensis</i>
<i>Byrsonima spicota</i>	<i>Miconia crassinervia</i>	<i>Vismia guianensis</i>
<i>Cariniana micrantha</i>	<i>Parkia multijuba</i>	
<i>Casearia grandiflora</i>	<i>Parkia</i> sp	

Foram selecionados para estudo 14 sítios, recuperados entre 1981 e 1994, e um local não-minerado, no Latossolo Amarelo (LA), sob floresta perturbada. Algumas características dos sítios e de seus substratos estão listadas nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 2 não constam os dados dos sítios 11, 12 e 13 porque não foram determinados.

Na seleção dos sítios levaram-se em consideração áreas que representassem os diversos padrões de desenvolvimento da vegetação, independentemente da localização no platô recuperado. Nesses locais, foi identificada a vegetação e anotado o valor do diâmetro à altura do peito (DAP) em ár-

vores com DAP ≥ 5 cm, em parcelas de dimensões variadas, de 25 a 100 m², de acordo com a densidade da cobertura vegetal. Em locais onde a vegetação era mais alta e densa, a parcela amostrada foi menor (25 m²).

A área basal (AB) foi obtida pelo somatório dos valores da área transversal de cada árvore (g) no sítio considerado, através da seguinte equação $AB = g_1 + \dots + g_n$ (expresso em m²), sendo $g = (\pi d^2)/4$, em que d é o DAP de cada indivíduo. A densidade absoluta (D) foi obtida dividindo-se o número de indivíduos pela área amostrada.

Tabela 1 – Algumas características dos sítios amostrados

Sítio	Localização no platô	Ano de preparo	Vegetação implantada	Recobrimento em horizonte A
1	Borda	1981	Nativa	não
2	Borda	1981	Nativa	não
3	Borda	1981	Nativa	não
4	Borda	1981	Nativa	não
5	Borda	1983	Nativa	sim
6	Borda	1984	Nativa	sim
7	Borda	1986	Gramíneas	não
8	Centro	1984	Nativa	sim
9	Centro	1984	Regeneração natural	sim
10	Centro	1984	Nativa e exótica	sim
11	Centro	1986	Nativa e exótica	sim
12	Centro	1987	Nativa e exótica	sim
13	Centro	1993	Nativa	sim
14	Centro	1994	Nativa	não
LA	Centro Latossolo Amarelo sob floresta densa perturbada (referência)			

Tabela 2 – Algumas características do solo no platô Saracá (média ponderada dos valores de características de amostras da camada até 30 cm de profundidade)

Sítios	Ano de plantio	Argila (g/kg)	DS (g/cm ³)	DMP (mm)	C (g/kg)	SCTC	
						— cmol _c /dm ³ —	
LA		780	1,08	3,7	25,8	0,49	6,00
1	1981	780	1,28	2,1	10,8	0,65	2,87
2	1981	745	1,33	0,9	6,9	0,53	1,88
3	1981	784	1,20	3,3	20,3	0,50	4,71
4	1981	626	1,16	2,7	24,8	1,83	6,00
5	1983	805	1,20	2,8	27,4	1,00	6,81
8	1984	802	1,04	3,7	33,3	1,79	9,73
9	1984	725	1,15	3,3	31,6	2,67	8,61
10	1984	649	1,02	4,2	28,6	4,31	9,10
12	1984	808	1,00	4,0	26,8	2,05	7,64

Fonte: RUIVO (1991).

Nota: convenções adotadas:

LA = Latossolo Amarelo; DS = densidade do solo; DMP = diâmetro médio ponderado dos agregados do solo; C = carbono orgânico total; S = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca de cátions.

As observações de campo evidenciaram que não houve relação entre a idade dos plantios e o crescimento em altura e diâmetro e a densidade da vegetação. Por esta razão, o item ano de preparo (idade do plantio) não foi considerado como uma característica isolada.

Neste trabalho, faz-se referência ao índice geral de desenvolvimento da vegetação (id), proposto por Ruivo (1991), que consiste na obtenção, para cada sítio, dos valores da média aritmética (\bar{x}) e do desvio padrão (s) das seguintes características da vegetação: diâmetro, altura, relação hipsométrica, área basal, área transversal média, densidade absoluta, volume com casca, área basal por área amostrada, diâmetro

da área transversal média, número de árvores e número de espécies florestais. Com esses dados, elaborou-se uma curva de distribuição normal, em que se delimitaram seis intervalos, separados pelos seguintes limites: ($\bar{x} - s$), ($\bar{x} - s/2$), (\bar{x}), ($\bar{x} + s/2$) e ($\bar{x} + s$). A frequência com que os valores absolutos de cada característica situavam-se dentro de cada intervalo foi considerada com um valor relativo, e a estes foram atribuídos pesos variando de 1 (para o valor mínimo de cada característica) a 6 (para o valor máximo de cada característica). A partir do número de ocorrência de cada classe numérica e do seu respectivo peso, foi calculado o valor da média ponderada para cada característica, designada índice geral de desenvolvimento da vegetação.

Tendo em vista que o reflorestamento dos sítios não teve fins comerciais, optou-se por usar o índice de desenvolvimento da vegetação (id) para avaliar o estado de recuperação paisagística da área. Neste trabalho, o id foi calculado usando-se somente os valores da densidade absoluta (D), calculada pela relação $N/\text{área amostrada}$, do número de árvores (N) e do número de espécies vegetais (n) em cada um dos sítios.

Para estimar a biomassa microbiana, cinco amostras compostas de solo, constituídas de dez amostras simples, por sítio, foram coletadas ao acaso, à profundidade de 0–2,5 cm, preservadas à temperatura de 4 °C e enviadas ao laboratório onde foram peneiradas em tamiz de 2 mm e reumedecidas, para atingirem 40 % da capacidade de campo. As estimativas dos teores de carbono (CBM), nitrogênio (NBM) e fósforo (PBM) da biomassa microbiana foram feitas utilizando-se o método da fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; GUERRA, 1993).

Para determinação da CBM e do NBM, pesaram-se 25 g de solo, em triplicata, fumigando-os por 24 horas, em dessecador, com 2 mL de clorofórmio. Amostras não-fumigadas e fumigadas foram agitadas, por 30 minutos, com 50 mL de solução K_2SO_4 0,5 mol/L. No extrato, o CBM foi determinado pela digestão com dicromato de potássio, e o nitrogênio total, pelo método Kjeldahl. Para cálculo do CBM e NBM, os teores de C e N das amostras não-fumigadas foram subtraídos dos valores das amostras fumigadas, sendo a diferença dividida pelo valor de $K_n = 0,54$

(BROOKES et al., 1985), para a obtenção do NBM, e de $K_c = 0,26$ (FEIGL et al., 1995), para o CBM.

Na determinação do PBM, também analisado com amostras em triplicata, foram usadas 10 g de solo, fumigados por 24 horas, sendo colocado dentro de cada frasco 1 mL de clorofórmio. Amostras fumigadas e não-fumigadas foram agitadas, por 30 minutos, com 100 mL de solução $NaHCO_3$ 0,5 mol/L (pH 8,5). A estimativa do PBM foi feita a partir da determinação do P no extrato, após a formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio ácido (ácido sulfúrico), na presença de ácido ascórbico (EMBRAPA, 1997). A dosagem de P foi feita em espectrofotômetro, utilizando-se comprimento de onda de 660 nm. Para o cálculo do PBM, os valores obtidos das amostras não-fumigadas foram subtraídos dos valores das amostras fumigadas, sendo a diferença dividida pelo valor de $K_p = 0,4$ (BROOKES; POWLSON; JENKINSON, 1982).

Os fatores de correção (K) utilizados nos cálculos de CBM, NBM e PBM do solo expressam a fração destes nutrientes recuperada pelos diferentes extratores após a fumigação.

Em cada um dos sítios selecionados para o estudo, foram coletadas cinco amostras compostas de solo, a partir de cinco amostras simples, por sítios, nas profundidades de 0–2,5 cm; 2,5–10 cm e 10–20 cm. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em tamiz de 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar e, posteriormente, analisa-

das quanto ao pH em água e em KCl (1:2,5). Os elementos constituintes do complexo sortivo foram determinados segundo Embrapa (1997). Os elementos Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1 mol/L, sendo os dois primeiros determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o último, por complexometria. A extração da acidez potencial (H + Al) foi realizada com solução de acetato de cálcio 1 mol/L, pH 7 e, posteriormente, dosada por complexometria. O teor de H⁺ foi obtido pela diferença entre os valores da acidez potencial e os do alumínio.

Fósforo, K e Na foram extraídos por Mehlich-1. O P foi determinado por colorimetria, e Na e K, por fotometria de chama. A determinação do carbono orgânico foi realizada por meio de combustão úmida, pelo método Walkley-Black, citado por Defelipo e Ribeiro (1981). O N foi determinado pelo método Kjeldahl, de acordo com Embrapa (1997). Foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) potencial, a soma de bases (S), a saturação de bases (V) e a saturação em alumínio (m).

Os dados foram submetidos à análise multivariada, utilizaram-se métodos de agrupamentos, usando-se o programa GENES - Análise de Modelos Biométricos Aplicados à Genética Quantitativa e Estatística Experimental (CRUZ, 1997). Para o processo de agrupamento dos sítios, passou-se, basicamente, por duas etapas: inicialmente, foi caracterizada a similaridade, ou dissimilaridade, entre os sítios, e, depois, adotou-se a técnica de agrupamento.

As características do solo nas amostras obtidas nas profundidades de 0–2,5 cm; 2,5–10 cm e 10–20 cm, usadas para esta separação, foram: C, N, P, S e CTC; à profundidade de 0–2,5 cm levaram-se também em consideração os teores de CBM e de PBM para agrupar os sítios. Dessa maneira, procurou-se reunir os sítios recuperados após lavra mineral, com base nas similaridades com o ecossistema inalterado (Latossolo Amarelo sob cobertura de floresta perturbada).

No presente estudo, pela ausência de delineamento experimental (fez-se um estudo de caso, um reflorestamento que iniciou a partir de 1981), optou-se pela Distância Euclidiana Média Padronizada como medida de dissimilaridade. Foi feita a padronização dos dados, para que fosse possível avaliar as características expressas em diferentes unidades de medidas. Esta técnica foi utilizada para se ter a matriz de dissimilaridade, obtida dos dados de distância relativa entre os sítios, a partir da qual os sítios foram reunidos em grupos homogêneos pelo método hierárquico do vizinho mais próximo, capaz de estabelecer grupos similares entre si (CRUZ; REGAZZI, 1994).

No método do vizinho mais próximo, identificam-se na matriz de dissimilaridade os sítios mais similares, os quais são reunidos formando o grupo inicial. Calculam-se, então, as distâncias daquele grupo em relação aos demais sítios e, no estágio mais avançado, em relação aos outros grupos já formados (CRUZ; REGAZZI, 1994). Com

base nos cálculos, é estabelecido um dendrograma, em que as distâncias entre os indivíduos são convertidas em percentagens, tomando-se o valor obtido na formação do grupo final como referência de 100%. A análise do dendrograma permite a verificação de similaridade entre os grupos, com a separação dos grupos distintos.

Neste estudo procurou-se agrupar os sítios segundo as semelhanças quanto à cobertura vegetal e às características químicas do solo nas profundidades de 0–2,5cm; 2,5–10cm e 10–20 cm. Objetivou-se, com isso, reunir os sítios em grupos, de modo a existir homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AGRUPAMENTO DE SÍTIOS COM BASE NA VEGETAÇÃO

O dendrograma representativo da análise de agrupamento com base no índice de desenvolvimento da vegetação (id) é mostrado na Figura 1. No dendrograma, verifica-se que foi possível a formação de quatro grupos: o primeiro (G1), constituído pelos sítios 1 e 14, agrupados por não se encaixarem em nenhum dos demais grupos; o segundo (G2), considerando-se um nível de similaridade de até 20%, pelos sítios 2, 3, 4, 6, 9, 11 e 12; o terceiro (G3), considerando-se um nível de similaridade de até 60%, formado pelos sítios 5, 8 e LA; e o quarto (G4), com 90% de similaridade, pelos sítios 10 e 13.

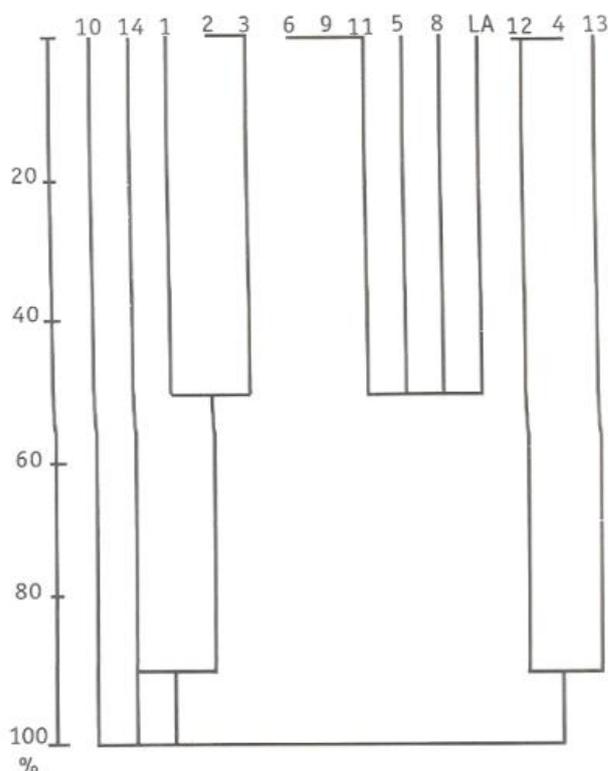


Figura 1 - Dendrograma ilustrativo da similaridade da cobertura vegetal entre os 14 sítios, obtido pelo método do vizinho mais próximo, com base nas distâncias euclidianas médias.

Fazem parte do G1 os dois sítios com menor desenvolvimento de cobertura vegetal. O sítio 14 é o plantio mais recente (1994); portanto, ainda de menor cobertura, o que já era esperado. O sítio 1, apesar de ser um plantio antigo (estabelecido em 1981), além de mostrar baixa densidade absoluta, apresenta, também, pouca diversidade de espécies (Tabela 3). Em G2 está agrupado o maior número de sítios, refletindo maior similaridade entre as características estudadas (D, N, n e id); e alguns sítios são mais similares entre si (2-3, 6-9-11, 4-12), resultado ora do aumento ora da diminuição nos valores das características

estudadas, ou seja, os valores de D, N e n levam a uma transição para os grupos de maior cobertura vegetal.

Nos sítios de G3 ocorre um aumento nítido, tanto da população quanto do número de espécies vegetais, aumentando, com isso, o *id* destes sítios. Nesse grupo encontra-se o sítio de referência (LA), que apresenta, em relação aos demais sítios de G3, menor número de espécies vegetais e maior valor de densidade absoluta (Tabela 3). Isso deve estar relacionado ao fato de a cobertura vegetal do Latossolo, considerada neste estudo como padrão de avaliação da

Tabela 3 – Área basal (AB m²/ha), número de árvores (N), número de espécies (n), densidade absoluta da vegetação (D) e índice geral de desenvolvimento da vegetação (id) nos sítios do platô Saracá

Sítio	Ano de Plantio	AB	N	n	D	id
1	1981	1,24	8	4	0,27	0,28
2	1981	1,66	9	4	0,30	0,33
3	1981	1,48	8	5	0,27	0,33
4	1981	1,35	10	5	0,28	0,43
5	1983	0,78	10	8	0,33	0,57
6	1984	2,25	13	8	0,27	0,52
8	1984	1,36	16	9	0,33	0,67
9*	1984	1,51	14	6	0,28	0,52
10	1984	2,60	26	10	0,53	0,86
11	1986	1,29	14	3	0,39	0,52
12	1987	1,62	11	5	0,30	0,43
13	1993	1,36	27	8	0,38	0,76
14	1994	0,30	7	3	0,12	0,19
LA		0,58	8	6	0,40	0,61

Nota: Convenção utilizada:

* regeneração natural.

recuperação do substrato reabilitado, já estar perturbada pela retirada dos indivíduos mais altos e de maior valor econômico, pela entrada de tratores e pela retirada de sementes, pois o agrupamento dos sítios foi independente da idade do plantio.

Em G4 (10 e 13) estão os sítios de maior cobertura vegetal, com o crescimento da população vegetal em número de indivíduos e espécies (Tabela 3). O fato de o sítio 13, um plantio também recente (1993), estar com desenvolvimento semelhante a um sítio com plantio estabelecido em 1984 (10), contrastando com outros plantios estabelecidos (1981 e 1983) ou mais recentes, no caso os de 1986 e 1987, mostra que a associação de algumas espécies vegetais leguminosas que nodulam, aliada a um eficiente preparo de solo, é benéfica à recuperação de sítios degradados. O uso de técnicas de revegetação associada a microrganismos pode acelerar o processo de recuperação do solo.

Estudos realizados em Porto Trombetas por Dias, Franco, Campelo (1994); Franco e Campello (1997) e Franco e Faria (1997) mostram que o uso de técnicas de revegetação com espécies vegetais associadas a microrganismos diazotróficos e a fungos micorrízicos, com a utilização de adubação fosfatada, favoreceu, entre outros, a qualidade da manta orgânica de espécies vegetais que nodulam, acelerando a sucessão vegetal e a incorporação de C, N, P e bases trocáveis ao solo.

Não se observou relação entre o grau de cobertura vegetal, representado pelo índi-

ce de desenvolvimento da vegetação, e o tempo decorrido desde o plantio. Ao caracterizar as condições edáficas do platô Saracá, Ruivo (1991) também não verificou correlação entre a época de plantio (nesse caso somente para os sítios plantados nos anos de 1981 e 1984), a densidade absoluta e o índice de desenvolvimento da vegetação (valor médio indicador do grau de desenvolvimento da cobertura vegetal, que engloba várias características dendrométricas), indicando que as diferenças do desenvolvimento vegetal existente entre os sítios de uma mesma área e mesmo ano são devidas mais às condições edáficas que ao efeito temporal.

Outros estudos também não mostraram relação entre o tempo decorrido entre a recuperação da lavra de carvão e o grau de cobertura da vegetação, além de não haver relação entre o tempo de recuperação dos sítios e o valor de importância para cada espécie (SKOUSEN; JOHNSON; GARBUTT, 1994; JOHNSON; SKOUSEN, 1995). As condições edáficas, principalmente a acidez do solo, foram as que mais influenciaram a composição da comunidade de plantas. A menor acidez do substrato favoreceu a invasão de espécies de plantas de área adjacentes não-perturbadas. Em Porto Trombetas, em área reflorestada à borda do platô, Parrota, Knowles e Wunderle Jr. (1997) registraram que a presença de matéria orgânica no substrato e a proximidade de fragmentos da floresta nativa favoreceram a recolonização, diversidade e densidade de regeneração natural nesta área.

Mesmo nas áreas plantadas e afastadas de fragmentos da floresta nativa, ocorreu regeneração natural. Isto decorreu, provavelmente, da existência de propágulos vegetais no solo superficial e da influência de outras áreas reflorestadas próximas, sem descartar, no entanto, a influência dos pássaros e de outros animais na dispersão das sementes (PARROTTA; KNOWLES; WUNDERLE JR., 1997).

Os sítios situados no centro do platô (sítios de 8 a 14) são os que mais se assemelham, em termos de densidade absoluta da vegetação, ao sítio de referência. Neste estudo, os sítios 10 e 13 apresentaram os maiores índices de desenvolvimento da vegetação, os sítios 1 e 14, a vegetação mais rala. Já o sítio 1 (1981) demonstra a dificuldade inicial dos trabalhos de recuperação da área minerada, quando não se tinha um sistema definido e ainda não se fazia a reposição da camada orgânica superficial para recobrir os rejeitos da mineração.

A cobertura vegetal precisa de um substrato adequado para instalação, propagação e desenvolvimento. A vegetação poderá se instalar em um substrato ácido, pobre em nutrientes e fisicamente degradado, mas, se não encontrar condições mínimas para que possa completar as fases de seu ciclo (floração, frutificação etc.), não irá se desenvolver e se propagar. Se, por outro lado, o substrato conseguir sustentar a planta, esta poderá completar todas as fases do ciclo, contribuindo para a melhoria do substrato, de forma a torná-lo apto a sustentar uma comunidade de plantas por período indeterminado. Por isso, as características do

solo são, freqüentemente, mais indicadas para avaliar a sustentabilidade e o estágio de recuperação de uma área degradada.

3.2 AGRUPAMENTO COM BASE NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Os teores de C e P da biomassa microbiana foram menores no substrato alterado, em relação ao inalterado. O nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana no sistema inalterado, em geral, foi igual ou menor que o N imobilizado na biomassa dos substratos alterados (Tabela 4). Isso pode ser de particular importância na recuperação dos sítios, visto que a biomassa microbiana representa importante compartimento de reserva de N orgânico e previne sua perda através dos processos de erosão e lixiviação.

Gama Rodrigues, Gama Rodrigues e Barros (1997) encontraram correlação negativa e significativa entre o NBM e o N mineral do solo, indicando que, quanto maior for a mineralização do N do solo, menor será o seu acúmulo na biomassa microbiana. Assim, é possível que os maiores teores de NBM em alguns sítios, nos substratos alterados, sejam consequência da mineralização deficiente e consequente depleção de N nesses substratos.

O fato de o CBM e o PBM terem sido menores no solo alterado mostra-os como bons indicadores de recuperação do substrato e, em última análise, da qualidade dos sítios. Em consequência disso, ambos foram associados, na análise de agrupamento, às características químicas do solo.

Tabela 4 – Carbono (CBM), nitrogênio (NBM) e fósforo (PBM) da biomassa microbiana, à profundidade de 0 a 2,5 cm, de três áreas submetidas (borda do platô, sítios 1 a 7 e centro do platô, sítios 8 a 14) ou não (LA) à atividade de mineração, em Porto Trombetas. Os valores são médias e desvio padrão de cinco repetições

Sítio	Ano de plantio	CBM	NBM	PBM
1	1981	36,9±15,1	42,4	5,7±2,2
2	1981	61,5±23,0	42,4	5,4±0,2
3	1981	89,2±21,8	84,7	6,1
4	1981	70,8±21,8	70,6±19,9	2,0±0,2
5	1983	43,1±34,8	84,7	4,0±1,5
6	1984	116,9±8,7	42,4	1,7±0,6
7*	1986	129,2±52,2	45,1±2,8	1,1±0,2
8	1984	79,9±45,9	42,4	5,2±0,2
9**	1984	116,9±17,4	42,4±56,2	4,7±1,7
10	1984	73,8±30,2	56,2±20,9	1,7±1,3
11	1986	36,9	63,5±21,8	7,1±2,1
12	1987	36,9±15,1	42,4	6,2±2,5
13	1993	104,6±43,5	84,7	2,6±0,8
14	1994	49,2±17,4	105,8±21,2	4,9±0,4
LA		141,5±37,9	42,3	6,9±0,4

Nota: Convenções utilizadas:

*gramíneas; ** regeneração natural.

Profundidade de 0 a 2,5 cm

Observando o dendrograma referente à profundidade de 0–2,5 cm (Figura 2), verifica-se que é possível a formação de três grupos de sítios quanto à similaridade, considerando-se o conjunto CBM + PBM + características químicas: o primeiro (G1), com nível de até 40 % de similaridade, constituído pelos sítios 4, 5, 6, 7 e 14; o segundo (G2), com nível de até 70% de similaridade, constituído pelos sítios 1, 2, 3, 8, 9, 12 e 13; e o terceiro (G3), formado pelos sítios 10, 11 e LA.

Os sítios do grupo 1 e 3 apresentaram os teores mais elevados de CBM (43,1 - 129,2 µg/g e 36,9 - 141,5 µg/g, respectivamente), em comparação com os sítios do grupo 2, diferindo, no entanto, quanto aos teores de C, N e P, que foram mais elevados em G3. Nos grupos 2 e 3 foram registrados os teores mais elevados de PBM (2,6–6,2 µg/g e 1,7–7,1 µg/g, respectivamente). Nos grupos 1 e 2 os teores de C e P foram similares; porém, os menores teores de N foram registrados em G2, enquanto os valores de S, C e CTC foram similares nos três grupos (Tabela 5).

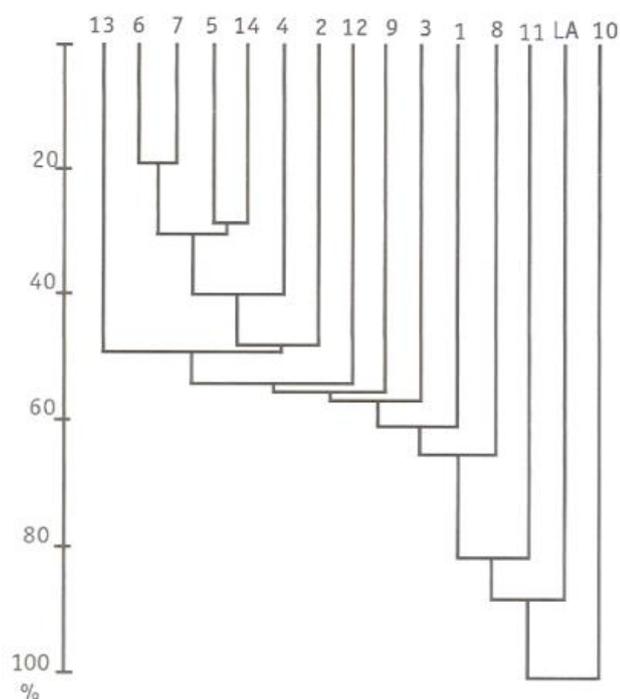


Figura 2 - Dendrograma ilustrativo da similaridade do solo na profundidade de 0-2,5 cm, entre os 15 sítios, obtido pelo método do vizinho mais próximo, com base nas distâncias euclidianas médias.

Tabela 5 – Teores de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo disponível; valores de pH, relação C/N, soma de bases, saturação de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de alumínio e alumínio trocável no solo, à profundidade de 0-2,5 cm (média de cinco repetições)

Sítio	Ano de Plantio	C g/kg	N g/kg	P mg/dm ³	pH	C/N	S cmo/dm ³	V %	CTC cmo/dm ³	m %	Al ³⁺ cmo/dm ³
1	1981	23	0,2	5,44	4,9	115	0,56	5,43	10,31	79,41	2,16
2	1981	30	0,4	8,61	5,0	75	0,71	5,15	13,99	78,28	2,56
3	1981	34	0,5	5,34	4,6	68	0,83	4,74	17,49	82,96	4,04
4	1981	28	0,4	3,36	5,0	70	2,46	17,42	14,12	38,19	1,52
5	1983	27	0,4	3,27	5,1	68	1,55	12,12	12,77	55,33	1,92
6	1984	30	0,5	6,24	4,7	60	3,82	24,90	15,34	27,24	1,43
7*	1986	32	0,5	5,74	5,2	64	4,30	29,92	14,37	13,83	0,69
8	1984	38	0,6	7,13	5,1	63	5,29	29,67	17,83	15,63	0,98
9**	1984	28	0,5	4,95	4,7	56	5,54	39,26	14,11	6,58	0,39
10	1984	29	0,5	17,23	5,4	58	2,01	23,84	8,43	22,69	0,59
11	1986	49	0,4	3,66	5,0	122	1,87	13,20	14,17	51,93	2,02
12	1987	30	0,6	2,27	4,8	50	2,38	16,66	14,29	51,93	2,07
13	1993	24	0,5	4,35	4,5	48	3,29	19,68	16,72	37,45	1,97
14	1994	24	0,5	2,18	4,7	48	1,14	10,26	11,09	60,14	1,72
LA		47	0,8	13,57	4,0	59	4,26	23,18	18,23	37,08	2,51

Nota: Convenções utilizadas:

* gramíneas; ** regeneração natural.

No grupo 1, os sítios 6-7 e 5-14 foram mais similares entre si. Os dois primeiros por apresentarem todas as características com valores mais elevados em relação aos demais sítios do grupo, e 5-14, em virtude dos menores teores de CBM, P e S. Já no grupo 3, os sítios 11 - LA foram mais similares, devido, principalmente, aos maiores teores de CBM e PBM, em relação ao sítio 10.

Tanto a análise do dendrograma como os resultados do Tabela 5 mostram que os sítios em melhores condições edáficas estão agrupados em G3. Faz parte deste grupo o LA. Assim, pode-se admitir que os sítios 10 e 11, por estarem agrupados com a referência, são os substratos que se encontram mais próximos da recuperação.

À profundidade de 0-2,5 cm ocorreu maior influência da vegetação nos teores de C, P e N, que apresentaram teores elevados nesta profundidade. Daí esses nutrientes terem se sobressaído na separação dos grupos, por serem elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Todos esses constituintes têm como principal fonte a vegetação, o que mostra o quanto ela e seu efeito no solo superficial são capazes de recuperar o solo, devido ao maior aporte de matéria orgânica e à maior atividade biológica na superfície. Esse fato foi, também, indicado pela diminuição, na maioria das vezes, dos teores de CO_2 evoluído nos macro e microagregados do solo com o aumento da profundidade (RUIVO; SCHAEFFER, 1998). A atividade da microbiota é a responsável pela mineralização dos resíduos vegetais, liberando P, N, C e outros nutrientes.

Os teores de C e P da biomassa microbiana indicam o potencial de reserva destes elementos na matéria orgânica do solo. Quanto maior o teor de C e de P da biomassa microbiana do solo, maior será a reserva na forma orgânica destes elementos no solo. No presente caso, as reservas de C são maiores no LA, em relação à quase totalidade dos sítios alterados. A exceção é o sítio 7, recoberto por gramíneas, cujo teor de CBM aproxima-se do encontrado no LA. Isso pode ser devido ao aumento do teor de C do solo, provido pela grande quantidade de raízes das gramíneas (LUIZÃO; CAMPISTA; COSTA, 1991). De modo geral, os elementos contidos nas células microbianas constituem uma parte significativa do potencial mineralizável, que poderá estar disponível para as plantas (MARUMOTO; ANDERSON; DOMSCH, 1982), sendo esse reservatório maior no LA. No entanto, existem sítios alterados (6, 8, 13) onde ocorre, também, uma reserva significativa desses elementos na biomassa. Presume-se que isso seja consequência da quebra do equilíbrio da comunidade microbiana do solo pela atividade de mineração, não tendo, ainda, passado tempo suficiente para que esta alcance novo equilíbrio no solo alterado.

Conforme apontado por Li e Daniels (1994), o baixo teor de N constitui um dos principais fatores limitantes do crescimento vegetal em áreas degradadas, e o estabelecimento da cobertura vegetal minimizaria esta limitação. O P, porém, é um elemento limitante para o estabelecimento e crescimento da vegetação nos solos tropicais.

A compactação do solo, também, mostra-se como fator limitante da recuperação de solos degradados. Ruivo (1991) verificou que nos sítios onde a revegetação foi mais bem sucedida houve maior disponibilidade de nutrientes e menor compactação do solo, e estes sítios estavam localizados mais no centro do platô. A compactação mais intensa do solo alterado na borda do platô contribuiu para diminuir a atividade biológica. Relação significativa entre o incremento da compactação e o decréscimo da atividade microbiana na camada superficial do solo foi também encontrada por Campista et al. (1996) em trilha de trator, durante a extração seletiva de madeira na Amazônia central.

A importância da matéria orgânica no desenvolvimento vegetal foi verificada por Ruivo (1991) e Parrotta, Knowles e Wunderle Jr. (1997), ao avaliarem o efeito do C e P nas características da vegetação, nas áreas reabilitadas. Ruivo (1991), estudando alguns dos sítios pesquisados no presente estudo, verificou que o carbono só apresentou correlação positiva com a área basal e a densidade absoluta nos sítios da borda do platô. O fósforo, por outro lado, correlacionou-se positivamente com a área basal e a densidade absoluta da vegetação em ambas as áreas. Já Parrotta, Knowles e Wunderle Jr., (1997), estudando a diversidade florística de um sítio reflorestado em 1985, na borda do platô, registrou também a ação da matéria orgânica (presença de manta orgânica, espessura da camada or-

gânica e atividade da fauna do solo) como a responsável pelo sucesso da revegetação.

No presente estudo, o fato de existirem alguns sítios que se assemelham ao Latossolo Amarelo original é um indício promissor da recuperação do solo. Na parte mais superficial, está sendo formado pela adição e incorporação de matéria orgânica um material semelhante ao do horizonte A. Entretanto, o tempo decorrido desde o início da recuperação dos sítios (1981) ainda não foi suficiente para que ocorram os processos de pedogênese. Esta mesma conclusão foi assumida por Dias, Franco e Campelo (1994), estudando os talhões de *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*.

Profundidade de 2,5 a 10 cm

O dendrograma representativo do agrupamento dos sítios pelas características do solo à profundidade de 2,5–10 cm (Figura 3), também apresentou três grupos: o primeiro (G1), com nível de até 40 % de similaridade, formado pelos sítios 1, 2, 3, 12, 13 e 14; o segundo (G2), com nível de até 80 % de similaridade, pelos sítios 4, 5, 6, 8, 9, 11 e LA; e o terceiro (G3), pelos sítios 7 e 10.

Em G3 foram agrupados os sítios com os menores valores das características químicas, à exceção de S. Os grupos 1 e 2 diferenciam-se, principalmente, em termos de teores de C, P e CTC, mais elevados em G2, onde está agrupado o LA, denotando estarem os sítios deste grupo mais próximos da recuperação (Tabela 6).

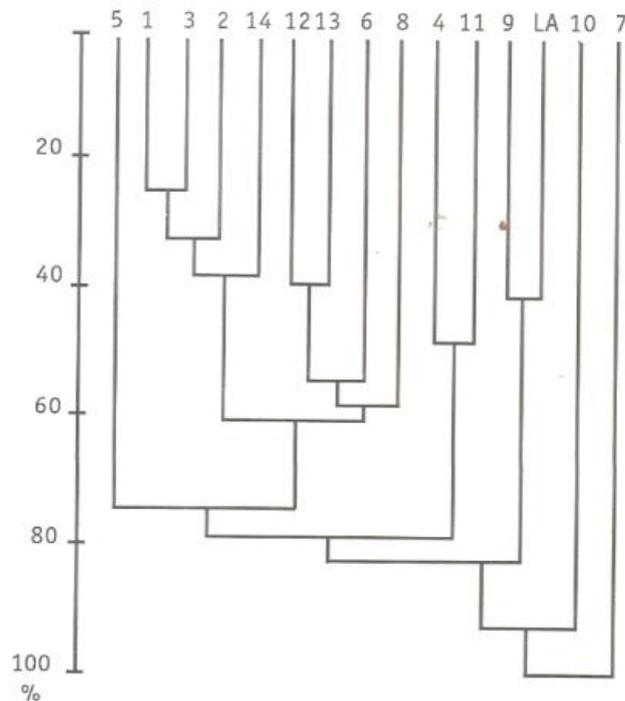


Figura 3 – Dendrograma ilustrativo da similaridade do solo na profundidade de 2,5–10 cm, entre os 15 sítios, obtido pelo método do vizinho mais próximo, com base nas distâncias euclidianas médias.

Tabela 6 – Teores de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo disponível; valores de pH, relação C/N, soma de bases, saturação de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de alumínio e alumínio trocável no solo, à profundidade de 2,5–10 cm (média de cinco repetições)

Sítio	Ano de Plantio	C g/kg	N g/kg	P mg/dm ³	pH	C/N	S cmo/dm ³	V %	CTC cmo/dm ³	m %	Al ³⁺ cmo/dm ³
1	1981	14	0,4	1,08	4,5	35	0,30	5,18	7,34	81,00	1,62
2	1981	11	0,4	2,27	4,6	28	0,41	5,80	7,07	79,80	1,62
3	1981	15	0,4	0,01	4,6	38	0,37	4,62	8,01	76,88	1,23
4	1981	19	0,3	1,58	5,0	63	0,76	7,00	10,86	72,16	1,97
5	1983	15	0,5	0,01	4,8	30	0,44	4,70	9,36	79,15	1,67
6	1984	14	0,4	2,87	4,7	35	0,99	9,96	9,94	61,02	1,55
7*	1986	13	0,3	1,38	5,6	43	0,77	16,74	4,60	16,30	0,15
8	1984	24	0,4	5,64	4,8	60	1,35	11,06	12,21	55,74	1,70
9**	1984	27	0,5	7,33	4,8	54	1,61	12,42	12,96	52,78	1,80
10	1984	19	0,4	2,27	5,2	48	2,10	20,02	10,49	23,64	0,65
11	1986	21	0,3	3,27	4,7	40	0,49	5,16	9,49	78,60	1,80
12	1987	20	0,4	3,56	4,6	50	0,91	7,51	12,11	70,26	2,15
13	1993	26	0,4	3,66	4,2	65	0,83	6,78	12,25	77,75	2,90
14	1994	18	0,4	0,59	4,7	45	0,67	7,54	8,83	72,31	1,75
LA		31	0,5	8,02	4,2	62	1,31	9,39	13,95	64,59	2,30

Nota: Convenções utilizadas:

* gramíneas; ** regeneração natural.

No grupo 1, os sítios 1–3, 12–13 e 2–14 são mais similares entre si, como mostram os valores mais próximos de C, S e CTC. Já no grupo 2, os sítios mais similares entre si são 4–11, 6–8 e 9–LA; nestes dois últimos são encontrados os valores mais elevados de todas as características estudadas no solo. Os demais sítios de G3 assemelham-se, principalmente, em se tratando de S e CTC.

Na profundidade de 2,5–10 cm, as concentrações de C e P continuaram com certa importância na seleção dos grupos, as características relacionadas à matriz do solo, como S e CTC, começam a atuar, principalmente, na definição dos sítios mais similares entre si dentro de cada grupo, pois com o aumento da profundidade, a influência da vegetação e dos organismos vai diminuindo; com isto, a importância do C, P e N na seleção dos grupos tende, também, a diminuir, cedendo lugar a outras características do solo.

Profundidade de 10 a 20 cm

O dendrograma referente à profundidade de 10–20 cm (Figura 4), gerou a formação de quatro grupos: o primeiro grupo (G1), com nível de similaridade de até 20%, foi formado pelos sítios 1, 3, 4, 8, 9, 11 e 12; o segundo (G2), com nível de similaridade de até 50%, pelos sítios 13, 14 e LA; o terceiro (G3), com nível de similaridade de até 80%, pelos sítios 2, 6, 7 e 10; e o quarto (G4), pelo sítio 5. Os sítios dos grupos 1 e 2 apresentaram os mais altos valores de C, N e S, diferindo, no entanto, quanto aos valores de P e CTC, maiores em G1. Os menores valores de P e CTC, em relação a G1 e G2, foram a causa principal do agrupamento, em separado, formando um grupo G3. O sítio 5 ficou sozinho no grupo 4, em razão, principalmente, de seu alto valor de N e mais baixos valores de C e CTC (Tabela 7).

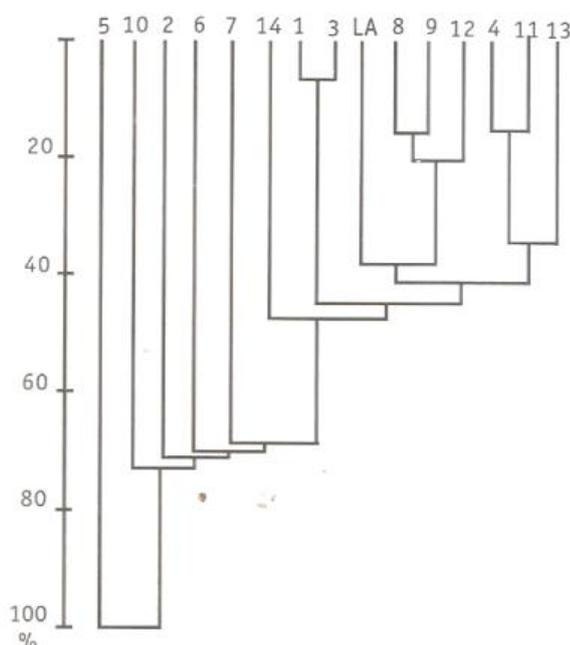


Figura 4 – Dendrograma ilustrativo da similaridade do solo na profundidade de 10–20 cm, entre os 15 sítios, obtido pelo método do vizinho mais próximo, com base nas distâncias euclidianas médias.

Tabela 7 – Teores de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo disponível; valores de pH, relação C/N, soma de bases, saturação de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de alumínio e alumínio trocável no solo, à profundidade de 10–20 cm (médias de cinco repetições)

Sítio	Ano de Plantio	C g/kg	N g/kg	P mg/dm ³	pH	C/N*	S cmo/dm ³	V %	CTC cmo/dm ³	m %	Al ³⁺ cmo/dm ³
1	1981	14	0,3	1,29	4,8	47	0,28	3,96	7,07	84,27	1,50
2	1981	20	0,3	0,89	4,6	67	1,42	14,74	9,63	57,86	1,95
3	1981	14	0,3	1,19	4,8	47	0,29	3,93	7,37	81,76	1,30
4	1981	14	0,4	0,20	4,8	35	0,57	6,50	8,77	71,78	1,45
5	1983	15	1,0	1,09	4,8	15	0,53	0,45	6,63	76,23	1,70
6	1984	11	0,3	0,01	5,0	47	0,47	0,76	3,97	64,39	0,85
7*	1996	6	0,2	0,00	5,7	30	0,50	0,21	9,58	23,08	0,15
8	1984	17	0,5	2,27	4,7	34	0,72	0,52	9,82	73,53	2,00
9**	1984	18	0,5	2,37	4,6	36	0,79	0,57	10,57	69,50	1,80
10	1984	15	0,5	2,17	5,3	30	1,85	19,58	9,85	24,49	0,60
11	1986	13	0,4	0,00	4,8	32	0,57	6,86	8,31	71,06	1,40
12	1987	17	0,4	1,88	4,8	34	0,67	7,04	9,52	72,87	1,80
13	1993	16	0,3	0,69	4,2	53	0,53	5,26	10,08	81,27	2,30
14	1994	20	0,3	1,78	4,9	23	0,70	9,67	7,24	58,82	1,00
LA		20	0,5	3,17	4,0	40	0,52	4,57	11,38	76,04	1,65

Nota: Convenções utilizadas:

*gramíneas; ** regeneração natural.

Em G1, os sítios 1–3, 8–9 e 4–11 foram agrupados, principalmente devido à similaridade nos valores de C, N e CTC entre os pares de sítios. Por outro lado, em G2, onde está agrupado o LA, as características entre os sítios foram muito similares entre si, evidenciando sua maior tendência de recuperação.

Ao analisar os dendrogramas referentes aos agrupamentos, verificou-se que ocorre o aumento da dissimilaridade entre os sítios com o aumento da profundidade. Assim, a avaliação da recuperação de áreas degradadas, considerando-se as características em camadas delgadas de solo, poderá mais facilmente detectar as mudanças ocor-

ridas e, ou, os efeitos da cobertura vegetal na recuperação do solo.

Em todas as profundidades, o substrato apresentou características de ambiente ácido a moderadamente ácido e álico (Tabelas 5, 6 e 7). Assim, não ficou clara, em nenhuma das profundidades, a influência do pH do solo como fator limitante do desenvolvimento vegetal, como foi verificado por Johnson e Skousen (1995) em minas de carvão abandonadas, na Virgínia (EUA). Nessa situação, os solos com valores de pH >5 foram predominantemente recobertos por espécies arbóreas variadas. No presente estudo, o pH não foi relevante, provavelmente, em decorrência da natureza ácida do solo

da área, onde regionalmente os solos dominantes são ácidos e caulíníticos e a vegetação já está adaptada aos níveis de acidez prevalentes.

Os sítios que estão nos mesmos grupos apresentaram maior similaridade quanto às características químicas do solo, na profundidade considerada, apesar de possuírem diferenças na cobertura vegetal (composição florística e de grau de desenvolvimento vegetal), como é o caso do sítio 7, coberto por gramíneas. Verificou-se que o agrupamento dos sítios baseado nas características da vegetação não coincidiu com o agrupamento usando-se as características do solo, em nenhuma das profundidades consideradas. Somente na profundidade de 2,5–10 cm ocorreu maior número de sítios agrupados com o solo natural; nas profundidades de 0–2,5 cm e 10–20 cm, apenas dois sítios assemelharam-se ao Latossolo Amarelo. Isto pode ser indicativo de que ainda persistem diferenças entre os solos alterados e o original, principalmente em termos de propriedades físicas, decorrentes da mobilização do solo por máquinas pesadas, durante o processo de decapeamento e recomposição da superfície.

Observando a frequência com que aparece determinado sítio alterado agrupado com o sítio de referência (LA), considerando tanto as características do solo quanto as da vegetação, conclui-se que os sítios que podem ser considerados recuperados ou parcialmente recuperados edáfica e paisagisticamente são: 5, 8, 10, 11 e 13. Os

dois primeiros, situados na borda do platô, são plantios estabelecidos em 1981 e 1983, respectivamente. Os três restantes situam-se no centro do platô, sendo dois plantios estabelecidos em 1984 e 1986 e um mais recente (1993). Deve-se ressaltar, no entanto, que nem sempre um sítio que, com base nas características da vegetação, obteve índice para ser considerado parcialmente recuperado apresentou essa condição, quando se consideraram as características do solo. Este é o caso dos sítios 8 e 5, que, embora apresentem uma cobertura vegetal com características aproximadas das do sítio de referência, não confirmam esta melhoria no que tange ao solo, com exceção da profundidade de 2,5–10 cm. Assim, o uso das características do solo, como a reserva de C, N e P da biomassa microbiana, para avaliar o estado de recuperação do solo alterado foi o mais indicado neste trabalho, em virtude de o sítio usado como referência (LA) ter sido um local onde a vegetação encontrava-se impactada.

Verificou-se que, com o aumento da profundidade, as características relacionadas à matriz do solo (S e CTC) tiveram papel importante na separação dos grupos, principalmente a CTC. Por outro lado, na condição de superfície, principalmente na camada de 0–2,5 cm, as características relacionadas à vegetação (C, N e P) foram mais determinantes na separação dos grupos. Esses elementos são muito influenciados pela vegetação e, de modo geral, foram mais elevados no LA e nos sítios a ele agrupados. Isso mostra o importante papel da

cobertura vegetal na recuperação do solo, não só do ponto de vista químico (aporte de matéria orgânica e nutrientes), mas, também, do ponto de vista físico e biológico, em razão do desenvolvimento do sistema radicular, que cria um ambiente propício ao estabelecimento e à atuação da população microbiana, mesofauna e agregação do solo (DEGENS, 1997; SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Com base nos valores médios das características do solo de referência e dos solos alterados mais similares ao LA, nas três profundidades, são indicados os valores do conjunto de características, a partir dos quais o solo alterado pode ser considerado mais próximo da recuperação (Tabela 8).

Os teores dos nutrientes requeridos para que o solo seja considerado recuperado ou em via de recuperação diminuem com o aumento da profundidade e, na maioria das vezes, são mais baixos ou próximos aos

do solo de referência. Para o CBM é requerido um pouco mais de 50% do teor contido no LA, e, para o PBM, um teor semelhante ao solo de referência. O único nutriente que apresenta requerimento superior ao verificado no LA é o P.

O C da biomassa microbiana apresentou correlação positiva e significativa com N, P, S e CTC, enquanto o PBM se correlacionou negativamente com o CBM e positivamente com o C. Por outro lado, o NBM se correlacionou negativamente com P e S (Tabela 9).

Neste trabalho, o CBM aparece como melhor indicador das mudanças no solo, sendo S a característica que melhor se correlaciona com CBM (Tabela 9), indicando que, quanto maior for a soma de bases do solo, maior será o CBM. Considerando que a soma de bases (S) é uma característica facilmente avaliável, ela também pode ser utilizada como um indicador de recuperação da área.

Tabela 8 – Características químicas e biológicas do solo indicativas da recuperação do substrato (n=15) em diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Características						
	CBM	PBM	C	N	P	S	CTC
	— $\mu\text{g}/\text{kg}$ —		— g/kg —		— mg/dm^3 — cmol/dm^3 —		
0 – 2,5	89,2	6,9	38,00	0,65	15,4	3,14	13,33
2,5 – 10			29,00	0,50	7,68	1,46	13,46
10 – 20			18,67	0,37	1,88	0,58	9,57

Tabela 9 – Correlações entre CBM, PBM e NBM e características químicas do solo

	CBM	C	N	P	S	CTC
CBM			0,58*	0,38 ⁺	0,71**	0,53*
PBM	-0,35 ⁺	0,49*				
NBM				-0,38 ⁺	-0,45*	

Nota: Convenções utilizadas:

⁺ significativo a 10%; * significativo a 5%; e ** significativo a 1% pelo teste t.

4 CONCLUSÃO

a) Os sítios alterados pela mineração não estão recuperados no mesmo nível do LA de referência, em razão da depleção do estoque de nutrientes no solo com exceção, talvez, dos sítios 10 e 13 que apresentaram maiores id que o LA de referência;

b) O desenvolvimento da cobertura vegetal, na área em estudo, foi mais em função das condições edáficas e de espécies vegetais do que do efeito temporal.

c) A reposição do horizonte superficial do solo antes da revegetação estabelecida na área acelerou a recuperação do solo.

d) As características CBM, PBM, C, P e N são boas indicadoras do estágio de recuperação/degradação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.14, p.319-329, 1982.

———; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.17, n.6, p.837-842, 1985.

CAMPISTA, D.; DESJARDINS, T.; LUIZÃO, R.; LUIZÃO, F. Modificações a curto prazo no carbono, nitrogênio e biomassa microbiana no solo após o corte seletivo da floresta na Amazônia Central. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1996, Manaus. *Resumos expandidos...* Manaus: Universidade do Amazonas, 1996. p.598-599

CRUZ, C.D. *Programa GENES, aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1997. 442p.

———; REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1994. 390p.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo (metodologia)*. Viçosa: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)

DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and factors affecting these: a review. *Australian Journal of Soil Science*, Victoria, v.35, p.431-459, 1997.

DIAS, L.E.; FRANCO, A. A.; CAMPELO, E.F.C. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1994, Curitiba; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.515-535.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, 1997.

FAUCI, M. F.; DICK, R. P. Microbial biomass as an indicator of soil quality: effects of long-term management and recent soil amendments. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.B. (Eds.) *Defining soil quality for sustainable environment*, Madison: SSSA/ASA, 1994. p.229-234. (SSSA. Special Publication Number, 35).

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.27, n.11, p.1467-1472, 1995.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, F.C. Importância da qualidade da serapilheira na sucessão vegetal em áreas de recuperação na Amazônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., 1997, São Carlos. *Anais...* São Carlos: EMBRAPA-CNPPDIA, 1997. p.53-59.

———; FARIA, S.M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.29, n.5/6, p.897-903, 1997.

———; CAMPELO, E.F.; SILVA, E.M.R.; FARIA, S.M. *Revegetação de solos degradados*. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1992. 11p. (Comunicado Técnico, 9).

GAMA RODRIGUES, E.F.; GAMA RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.3, p.361-365, 1997.

———; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono em solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p.427-432, 1994.

GERALDES, P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.1, n.19, p.55-60, 1995.

GUERRA, J.G.M. *Produção sazonal de Brachiaria decumbens stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural*. 1993. 234p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1993.

JOHNSON, C.D.; SKOUSEN, J.G. Mined soil properties of 15 abandoned mine land sites in West Virginia. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.24, p.635-643, 1995.

LI, R.S.; DANIELS, W.L. Nitrogen accumulation and form over time in young mine soils. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.23, p.166-172, 1994.

LUIZÃO, R.C.; LUIZÃO, F.J. Liteira e Biomassa microbiana no solo no ciclo da matéria orgânica e nutrientes em terra firme na Amazônia Central. In: VAL, A. L.; FIGLIUOLO, R.; FELDBERG, E. (Eds.) *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia, fatos e perspectivas*. Manaus: INPA, 1991. v.1, p.65-75.

———; CAMPISTA, D.; COSTA, E.S. Efeito da idade e do manejo das pastagens da Amazônia central sobre a biomassa microbiana e sua atividade no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA, 2., 1991, São Paulo. *Resumos...* São Paulo, 1991. p.49.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.14, p.469-475, 1982.

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. *Forest Ecology and Management*, Cambridge, v.99, p.21-42, 1997.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation, *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

RUIVO, M.L.P. *Caracterização das condições edáficas do Latossolo Amarelo textura muito argilosa após mineração de bauxita em Porto Trombetas-Oriximiná-Pará*. 1991. 199p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1991.

———; SCHAEFFER, C.E.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., 1998, Fortaleza. *Resumos expandidos...* Fortaleza: p. 392-393.

———; SALES, M. E.; MARTINS, P.F. da S. Condições edáficas de um Latossolo Amarelo após exploração mineral na amazônia oriental. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, n. 3, p. 27-43, 1991.

SCHROEDER, S.A. Topographic influences on soil water and spring wheat yields on reclaimed mineland. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.24, p.467-471, 1995.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.1, p.113-117, 1997.

SKOUSEN, J.G.; JOHNSON, C.D.; GARBUTT, K. Natural revegetation of 15 abandoned mine land sites in West Virginia. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.23, p.1224-1230, 1994.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

WEISSBERG, I. *Estudo da reabilitação em solos em área bauxíticas mineradas em Poços de Caldas (MG); uma abordagem ambiental e uma contribuição técnica para otimização*. 1995. 130p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.