

- SANTOS, J.O.S. 1982. Granitos Proterozóicos da Plataforma Amazônica, Brasil. CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 2. Anais, 2:97-112. Buenos Aires.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S. & GUIMARÃES, G. 1974. Geologia da Folha SB.22-Araguara e parte da SC.22-Tocantins. Proj. Radam Bras., Rio de Janeiro, DSNPM, 1:1-43, (Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- SILVA, G.H.; LEAL, J.W.L.; SALUM, O.A.L.; DALL'AGNOL, R. & BASEI, M.A.S. 1974. Esboço geológico de parte da folha SC.21 Juruena. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Anais, 4:309-320, Porto Alegre, SBG.
- TASSINARI, C.C.G.; SIGA JR. O. & TEIXEIRA, W. 1984. Épocas metalogenéticas relacionadas à granitogênese do Cráton Amazônico. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 33. Anais, 6:2963-2977, Rio de Janeiro, SBG.
- WERNICK, D. 1984. Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. *Can. J. Earth Sci.* 22: 108-125.

Recebido em 12.08.91
Aprovado em 23.10.91

Cartão



CDD: 631.40981152

CONDIÇÕES EDÁFICAS DE UM LATOSSOLO AMARELO APÓS A EXPLORAÇÃO MINERAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL¹

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo²
Maria Emília da Cruz Sales²
Paulo Fernando da Silva Martins³

RESUMO – Um estudo visando a caracterização das condições edáficas de um Latossolo Amarelo Muito Argiloso submetido à exploração mineral foi realizado em Porto Trombetas-Pará. Para tanto, foram efetuadas análises físicas e químicas do solo, assim como o levantamento da vegetação reflorestada no período de 1981 a 1987. Os resultados indicam a existência de dois comportamentos edáficos dependentes do sistema de recomposição topográfica da área, representados por áreas da borda do platô, onde utilizou-se “motoscraper” e áreas do centro, onde utilizou-se “draglines”, sendo que nestas últimas áreas ocorreu maior desenvolvimento da vegetação em função da maior disponibilidade de nutrientes e maior agregação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Condições Edáficas, Exploração da Amazônia, Mineração, Física de Solo, Química de Solo.

ABSTRACT – A study in an Oxisol submitted to mineral exploration was carried out in Porto Trombetas-Pará. Determinations of chemical and physical characteristics of soil, volume, basal area and density of the vegetation were made from 1981 to 1987. The results indicated that

¹Parte da Tese de Mestrado do 1º Autor junto ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da FCAP, área de concentração Ciência do Solo.

²SCT/CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi - Deptº de Ecologia.

³Faculdade de Ciências Agrárias do Pará - Deptº de Solos.

there exist two edaphological conditions related to the system of rehabilitation of the area. In the dragline area the vegetation was more developed due to the greater availability of nutrients and greater soil aggregation.

KEY WORDS: Edaphic Conditions, Amazon Exploration, Mining, Soil Physics, Soil Chemistry.

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas que utilizam o solo podem modificar profundamente suas características originais ocasionando alterações quase sempre negativas.

O atual processo "desenvolvimentista" a que a região Amazônica vem sendo submetida, ao longo dos últimos anos, coloca em risco o ecossistema regional, notadamente o solo, afetado de modo direto, principalmente pelas atividades agrícolas e de mineração. Esta última vem sendo incrementada a partir da década de 70, pela intensificação das pesquisas e exploração das reservas minerais da serra dos Carajás e da jazida de bauxita do rio Trombetas, entre outras.

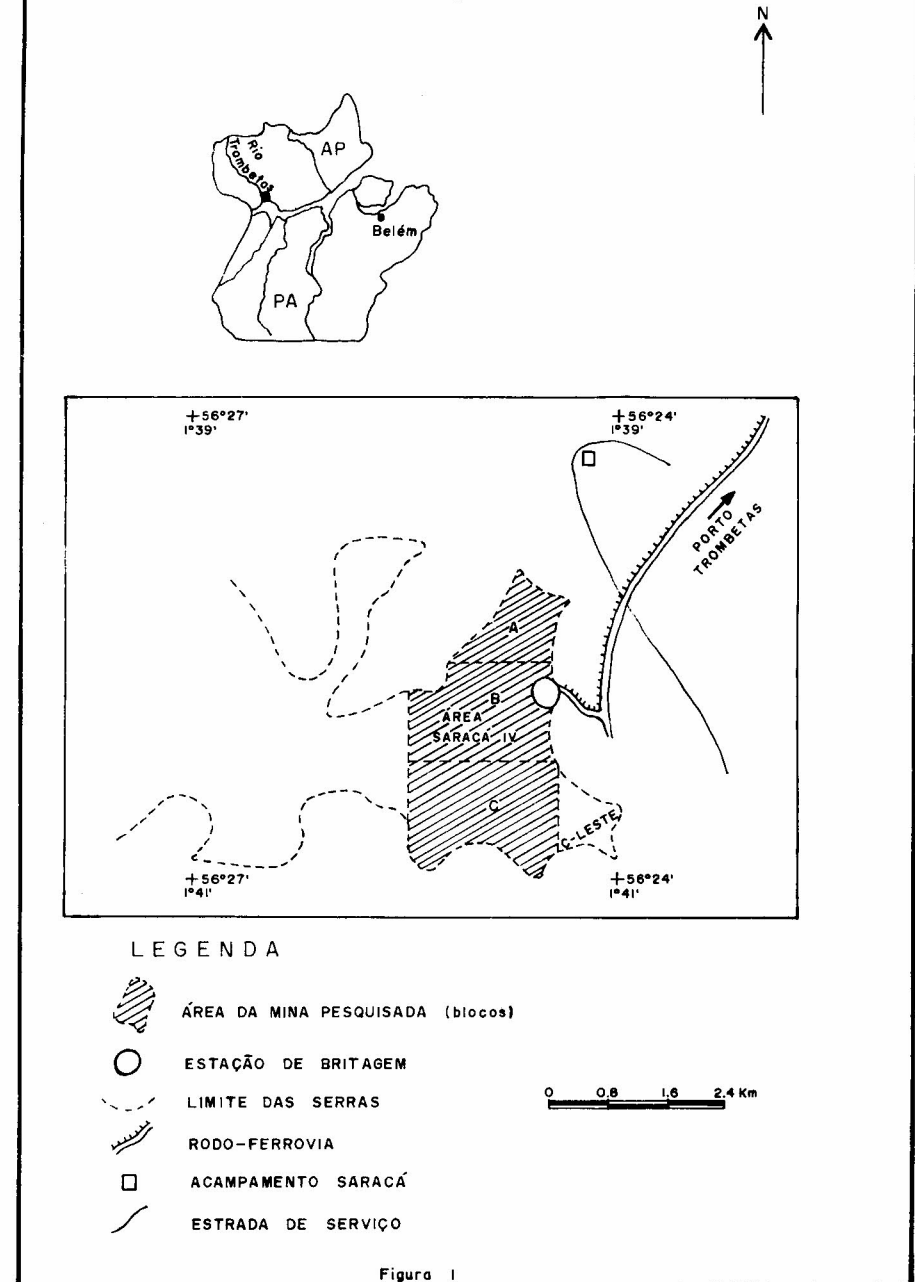
Uma forma de minimizar o processo de degradação ocasionado por atividades produtivas é, sem dúvida, o planejamento racional e a recuperação das áreas degradadas para uso futuro, sendo a mais comum a revegetação da área após o término da atividade ou concomitante a ela (Barth 1989).

No presente trabalho faz-se uma avaliação das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Amarelo Textura Muito Argilosa (Viana et al. 1976) afetado por atividade de mineração de bauxita em Porto Trombetas, Oriximiná-PA (Figura 1), bem como suas relações com a vegetação nele desenvolvida, sob duas formas de decapeamento e recomposição topográfica: uma com "motoscraper" e a outra com "dragline".

OPERAÇÃO DE DECAPEAMENTO E RECOMPOSIÇÃO TOPOGRÁFICA NA ÁREA

O desmatamento da área foi efetuado através da derrubada da mata com tratores CAT D8K e posterior queima dos restos vegetais. Na remoção e transporte do estéril (solum + bauxita nodular + laterita ferugínea) empregaram-se dois métodos de remoção do estéril: o primeiro, designado MS, foi aplicado na borda do platô, empregando-se uma

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



frota de “motoscrapers” (máquina móvel com capacidade de 18 m³), o segundo, designado DL, foi efetuado no centro do platô, utilizando-se uma frota de “draglines” (máquina fixa acoplada a um braço mecânico) que acumula o material na forma de um cone.

A recomposição topográfica da área foi executada de forma diferente, de acordo com o método de decapeamento empregado. Na área onde operaram as “motoscrapers” a topografia da superfície foi obtida normalmente pela forma seqüencial em que o material foi descarregado horizontalmente, enquanto, na área da “dragline”, em razão da camada de estéril ser removida e empilhada na faixa adjacente ao local onde já fora executada a lavra, na forma de um cone, fez-se necessário o aplainamento do terreno o que foi feito com o auxílio dos mesmos tratores utilizados no desmatamento.

Nas duas áreas, após a recomposição topográfica foi feito o espalhamento do horizonte A do solo original, por tratores, sendo que na área da “motoscraper” este processo somente passou a ser realizado a partir de 1982. Após o espalhamento, o terreno foi escarificado a uma profundidade de 50 cm e um espaçamento de 1 m.

No processo de revegetação foram utilizadas espécies nativas e exóticas, listadas no Anexo 1, preparadas em viveiros, sendo que no plantio colocou-se as mudas diretamente nas covas, onde, ao mesmo tempo em que foi feito o plantio, efetuou-se adubação em coroa com formulação 12-36-12 (N-P-K) na quantidade de 50 g por cova. A área de plantio da *Terminalia cattapa* (perfis DL84c₁, DL84c₂ e DL84C₃ ao contrário das demais, foi adubada com 50 g de superfosfato simples.

AMOSTRAGEM

Tendo em vista a grande variabilidade apresentada pelo solo depois da recomposição e a ocorrência de sítios com diferentes graus de desenvolvimento da vegetação dentro de áreas sistematizadas do mesmo modo, selecionou-se perfis correspondentes a sítios com um determinado padrão de desenvolvimento da vegetação, tendo-se avaliado as espécies existentes em cada um deles, em uma área correspondente a 28 m².

Foram coletadas, em janeiro de 1989, amostras de solo em onze perfis representativos de diferentes sítios sendo cinco localizados na borda do platô, onde utilizou-se “motoscraper” e seis no centro, onde utilizou-se “draglines”. Estas amostras são representativas do período de plantio de 1981 a 1987, e de diferentes formas de recomposição do terreno, se-

gundo a relação seguinte:

ANO	RECOMPOSIÇÃO	ESPÉCIES EMPREGADAS NA REVEGETAÇÃO
1981	“motoscraper”	espécies nativas
1983	“motoscraper”	espécies nativas
1984	“dragline”	espécies nativas, exóticas e regeneração natural
1987	“dragline”	espécies nativas e exóticas

As áreas foram separadas e denominadas para fins de localização e controle do reflorestamento, em blocos A, B, C e C-leste (Figura 1).

Os perfis foram designados segundo a ordem do método de recomposição topográfica (MS ou DL), do ano de plantio (81, 83, 84, 87) e de letras (a, b, c,) que referem-se aos diferentes sítios dentro de uma mesma forma de recomposição e de um mesmo ano. No caso do sítio correspondente a designação DL84c foram estudados três perfis (DL84c₁, DL8c₂ e DL84c₃) com o objetivo de avaliar as variações do solo em um mesmo sítio.

PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO SOLO

A fim de avaliar o comportamento atual do solo depois da recomposição topográfica e do reflorestamento foram determinados os valores da densidade global, da estabilidade dos agregados, do pH, os teores de hidrogênio e alumínio trocáveis, a soma de bases trocáveis, a capacidade de troca de cátions e os teores de carbono orgânico e do fósforo disponível.

A densidade global do solo (dg) foi determinada dividindo-se a massa do solo seco pelo volume total ocupado pela massa de sólidos e poros obtido em amostras indeformadas em cilindros.

A estabilidade dos agregados foi determinada através do método do tamizamento à úmido segundo Grohmann (1960). Introduziu-se um refinamento que consistiu em, após o tamizamento, dispersar a amostra com hidróxido de sódio 1 N e posteriormente agitar por 15 min, findo os quais as amostras foram passadas novamente no mesmo tamiz e lavadas com água até a completa eliminação das partículas mais finas. Com esta providência eliminou-se a possibilidade de partículas unitárias serem

tomadas como agregados. A estabilidade dos agregados foi representada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), calculado segundo Van Bavel (1949) apud Kiehl (1979).

O pH foi determinado em água e em solução de cloreto de potássio 1 N, ambos na proporção de 1: 2,5; através do método potenciométrico.

A soma de bases (S) foi calculada utilizando-se a somatória dos teores do cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis dosados segundo EMBRAPA (1979).

A capacidade de troca de cátions (T) foi obtida pela adição da soma de bases mais o $H^+ + Al^{3+}$.

O alumínio trocável (Al^{3+}) e o hidrogênio + alumínio trocáveis ($H^+ + Al^{3+}$) foram extraídos, respectivamente, com solução de cloreto de potássio e acetato de cálcio 1 N a pH 7, titulando-se com solução de hidróxido de sódio 0,0025 N. O teor de hidrogênio trocável foi obtido pela diferença entre o alumínio e hidrogênio + alumínio trocáveis.

O fósforo disponível foi dosado pelo método colorimétrico em espectrofotômetro e o carbono orgânico através da oxidação com o dicromato de potássio titulando-se o excesso com solução de sulfato ferroso amoniacal 1 N.

Os índices utilizados na interpretação dos resultados das análises químicas do solo foram baseados em Amaral Filho et al. (1975).

A avaliação da vegetação foi baseada nos parâmetros área basal, densidade e volume com casca. Para efeito de cálculo considerou-se todos os indivíduos independentemente dos diâmetros e da altura.

A área basal (G) foi obtida pelo somatório dos valores da área transversal de cada árvore (g) no sítio considerado através da seguinte relação $G = g_1 + \dots + g_n$. (expresso em m^2), sendo $g = \pi d^2/4$, onde "d" é o diâmetro da árvore.

A densidade (D) foi obtida através da relação N/A , sendo N o número de árvores e A a área levantada.

O volume com casca (V_{cc}) foi calculado através da fórmula $V_{cc} = 0,077476 + 0,517897 (d^2 \times h)$, expresso em m^3 (Queiroz 1984). Onde "d" é o diâmetro a altura do peito, no caso dos indivíduos com altura superior a 1,5 m e o diâmetro no meio do fuste no caso da altura ser inferior; e "h" a altura comercial.

Os valores de cada um dos parâmetros obtidos foram divididos pe-

lo respectivo ano a partir do início da sistematização da área, com a finalidade de eliminar o efeito temporal.

A relação entre o solo e a vegetação foi verificada através da correlação linear simples, sendo que, no caso do solo, como se dispunha de valores a diversas profundidades tomou-se a média ponderada das camadas até a profundidade de 30 cm.

CONDIÇÕES EDÁFICAS DO SOLO

Em decorrência do processo de adubação diferenciado ocorrido no sítio da *Terminalia cattapa* (perfis DL84c₁, DL84c₂ e DL84c₃), utilizar-se-á para a comparação das propriedades do solo sob os dois diferentes sistemas de recomposição topográfica, na área da "dragline" apenas os perfis DL84a, DL84b e DL87.

Os valores da densidade global do solo foram, de maneira geral, mais elevados na área preparada com "motoscraper" que na área da "dragline", sendo que na primeira obteve-se densidades superiores ao limite máximo indicado por Isasa (1949) apud Kiehl (1979) para solos argilosos que é de $1,25 \text{ g/cm}^3$ (Tabela 1).

Comparando-se os valores da densidade global do solo entre os perfis das áreas sistematizadas com "motoscraper" e com "dragline", verifica-se que na primeira os valores mais elevados do parâmetro ocorrem nos perfis MS81a ($1,28 \text{ g/cm}^3$) e MS81b ($1,33 \text{ g/cm}^3$), o mínimo no perfil MS81d ($1,16 \text{ g/cm}^3$). Já na área sistematizada com "dragline" o valor máximo da densidade foi detectado no perfil DL84b ($1,15 \text{ g/cm}^3$), enquanto o mínimo ($1,04 \text{ g/cm}^3$) no perfil DL84a.

A descrição morfológica dos perfis do solo na área da "motoscraper" (Ruivo 1991) atesta a presença de material argiloso mais compacto, disperso nas diversas camadas, formando bolsões. Estas feições e a ocorrência de valores da densidade global em torno de $1,30 \text{ g/cm}^3$ nos perfis MS81a e MS81b evidenciam que houve um efeito de compactação nestes locais. Este fato é reforçado pela existência de correlação negativa, significativa a nível de 5% de probabilidade entre a densidade do solo e o diâmetro médio ponderado (Tabela 2). Isto indica que o aumento no valor da densidade foi acompanhado pela diminuição no tamanho dos agregados.

Por outro lado, a correlação negativa a nível de 1% de probabilidade entre a densidade do solo e o carbono orgânico, e as correlações

TABELA 1 - Valores da densidade global (dg), diâmetro médio ponderado (DMP), pH, hidrogênio (H⁺) alumínio trocável (Al³⁺), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (T), carbono orgânico (C), e fósforo disponível (P) do solo na profundidade de 0-30 cm nas áreas preparadas com "motoscraper" (MS) e com "dragline" (DL) e respectivos valores de áreas basal (G), densidade (D) e volume com casca (Vcc) de vegetação por ano de plantio.

Pedons	dg	DMP	pH		H ⁺		Al ³⁺		S*	T**	C	P	G	D	Vcc
	(g/m ³)	(mm)					MC/100g	(%)							
MS81a	1,28	2,1	4,2	1,62	0,60	0,65	2,87	1,08	0,01	0,0006	0,0017	0,0049			
MS81b	1,33	0,9	4,4	1,09	0,26	0,53	1,88	0,69	0,01	0,0011	0,0030	0,0085			
MS81c	1,20	3,3	4,0	3,36	0,84	0,50	4,71	2,03	0,01	0,0064	0,0039	0,0316			
MS81d	1,16	2,7	4,2	3,40	0,77	1,83	6,00	2,48	0,88	0,0107	0,0044	0,0867			
MS83	1,20	2,8	4,0	4,44	1,40	1,00	6,81	2,74	0,65	0,0053	0,0081	0,0324			
DL84a	1,04	3,7	4,3	4,71	1,29	1,79	9,73	3,33	3,02	0,0098	0,0088	0,0748			
DL84b	0,15	3,3	4,2	4,44	1,00	2,67	8,61	3,16	2,90	0,0109	0,0114	0,0519			
DL84c1	1,10	4,4	4,7	2,20	0,23	3,00	5,43	1,62	1,80	0,0052	0,0093	0,0498			
DL84c2	1,21	1,4	4,5	1,58	0,41	1,39	5,87	1,51	0,57	0,0072	0,0046	0,0796			
DL84c3	1,02	4,2	4,8	4,39	0,40	4,31	9,10	2,86	3,31	0,0122	0,0101	0,1002			
DL87	-	3,0	4,2	4,48	0,98	2,05	7,64	2,68	0,41	0,0017	0,0045	0,0217			

S* = Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + Na⁺ + K⁺

T** = S + (H⁺ + Al³⁺)

TABELA 2 - Significância (1) da correlação linear obtida entre os parâmetros físicos (2) e químicos (3) do solo nas áreas preparadas com "motoscraper" (Ms) e com "dragline" (DL).

Parâmetros	dg		dmp		pH		H		Al ³⁺		S		T		C		P	
	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL	MS	DL
dg	-	-	(N)*	(N)*	(P)+	ns	(N)*	ns	(N)+	ns	(N)+	ns	(N)*	ns	(N)**	ns	(N)+	(N)+
DMP	-	-	-	-	(N)*	ns	(P)*	ns	(P)+	ns	(P)+	(P)+	ns	(P)+	ns	(N)+	ns	ns
pH	-	-	-	-	-	-	(N)*	ns	(P)*	(P)*	ns	ns	(N)+	ns	(N)+	ns	ns	ns
H	-	-	-	-	-	-	-	-	(N)*	(N)*	ns	ns	(P)**	(P)**	(P)**	(P)**	ns	ns
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns	(P)*	(P)+	(P)*	(P)*	ns	ns
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns	(P)*	ns
T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(P)***	(P)***	(P)*	(P)+
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(P)+	(P)+
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) ns = não significativo; + = significativo ao nível de 10% de probabilidade;

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade;

*** = significativo ao nível de 0,1% de probabilidade;

(2) dg = densidade do solo; DMP = diâmetro médio ponderado

(3) H = hidrogênio; Al³⁺ = Alumínio trocável; S = soma de bases trocáveis; T = capacidade de troca de cátions; C = Carbono orgânico; P = Fósforo assimilável.

positivas a nível de 10% de probabilidade entre este e o diâmetro médio ponderado, podem indicar que a ocorrência de um menor teor de matéria orgânica é responsável pelo aumento no valor da densidade encontrados nos perfis MS81a e MS81b.

As observações evidenciam, portanto, que o solo na área da “motoscraper” encontra-se mais denso do que na área da “dragline”. Isto é, a “motoscraper” pelo fato de deslocar-se muitas vezes à borda do platô, constitui-se um agente de compactação superior à “dragline”. Esta possibilidade já havia sido aventada por Pereira & Knowles (1985) e Ruivo (1990), baseados em observações de campo.

Efeitos de compactação em profundidade do solo recuperado após mineração foram verificados por Toy & Shay (1987) na “Dave Jonston Mine”, uma mina de carvão no estado de Wyoming (EUA). Os autores atribuem este fato tanto à textura grosseira do solo quanto ao uso de equipamentos pesados na recuperação da área.

A compactação do solo recuperado após lavra de carvão no Estado da Virgínia (EUA) foi também atribuída por Plass & Capp (1974) a utilização de máquinas pesadas na recuperação da área. O mesmo foi verificado por Resulovic & Vlahinic (1983) estudando um solo recuperado após lavra de bauxita na Iugoslávia, ao fim de 2 anos, quando a compactação ocasionou a redução da porosidade e o aumento da densidade global.

Verifica-se através da Tabela 1 que os teores de carbono orgânico foram maiores na área da “dragline” do que na área da “motoscraper”. Na primeira estes valores variam de baixo a alto, enquanto na segunda de baixo a médio.

Comparando-se teores de carbono orgânico entre os perfis verifica-se que o teor mais elevado na área da “dragline” foi de 3,33% no perfil DL84a, enquanto o menor 2,68% no perfil DL87. Já na área da “motoscraper” o maior teor de carbono foi de 2,74% no perfil MS83 e o menor 0,69% no perfil MS81b. A diferença no teor de carbono pode ser explicada pela ausência da aplicação localizada (na superfície) do horizonte A do solo original na área sistematizada com “motoscraper” no início do processo, mais precisamente nos perfis MS81a e MS81b (Ruivo 1990 e Ruivo 1991). O menor conteúdo de matéria orgânica desta forma, condicionou um menor desenvolvimento da vegetação nestes sítios, conforme se observa na relação existente entre o teor de carbono e parâmetros de

desenvolvimento da vegetação tais como: área basal, densidade e volume com casca (Tabela 1) e da correlação positiva significativa entre eles (Tabela 3). Nos perfis MS81c e MS81d apesar de não ter havido o espalhamento do conteúdo do horizonte A na superfície a ocorrência de matéria orgânica foi acidental, conforme se constatou na descrição morfológica (Ruivo 1991) já que no período em que a área foi reabilitada (1981) ainda não era feito o recobrimento da nova superfície com o material do horizonte A do Latossolo Amarelo original.

TABELA 3 - Significância(1) da correlação linear obtida entre os parâmetros físicos(2) e químicos(3) do solo com a área basal (G), a densidade (D) e o volume com casca (Vcc) da vegetação.

Parâmetros	G		D		Vcc	
	MS	DL	MS	DL	MS	DL
dg	(N)**	ns	(N)**	ns	ns	ns
DMP	(P)*	ns	(P)**	(P)+	ns	(N)+
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H ⁺	(P)+	ns	(P)*	ns	ns	ns
Al ³⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	(P)*	ns	(P)**	ns	ns	ns
T	(P)*	ns	(P)**	ns	ns	ns
C	(P)*	ns	(P)*	ns	ns	ns
P	(P)**	(P)*	(P)***	(P)**	ns	ns

(1) ns = não significativo; + = significativo ao nível de 10% de probabilidade; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; *** = significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

(2) dg = densidade global; DMP = diâmetro médio ponderado.

(3) H⁺ = hidrogênio; Al³⁺ = alumínio trocável; S = soma de bases trocáveis; T = capacidade de troca de cátions; C = carbono orgânico; P = fósforo assimilável.

Dias & Jucksch (1988) analisando amostras do solo alterado do bloco C-leste (“motoscraper”), revegetado em 1981 e do bloco B (“dragline”), revegetado em 1984, e por Ferraz (1991) analisando amostras deste mesmo solo em toda a área da mina, verificaram que o teor de carbono foi superior na segunda. Diferença que pode também ser observada diretamente nas trincheiras abertas no solo nas duas áreas como foi feita por Ruivo (1990), através das diferenças de cor entre as camadas do solo devido a maior ou menor ocorrência de matéria orgânica.

Os resultados da análise de agregados indicam que na área preparada com "dragline" os valores do diâmetro médio ponderado (Tabela 1) foram mais elevados. Isto indica que o solo nesta área está mais agregado que na área da "motoscraeper". Contudo, em ambas as áreas os valores de DMP foram $> 0,5$ mm o que, segundo o Bureau of Reclamation, 1967 apud Khiel (1979), é característico de solos com alta estabilidade, sendo, portanto, considerado relativamente resistente ao esboroamento e à dispersão.

Neste estudo na mina Saracá IV os valores de DMP foram superiores aos observados por Souza (1988) no solo alterado pela mineração de xisto, originalmente uma associação de Latossolo Vermelho Escuro Álico e Terra Bruna Similar Álico, ambos com textura argilosa, que em média apresentaram valores de 1,4 mm na 1ª coleta e 1,7 mm na 2ª coleta. Valor muito aquém da média verificada no solo alterado em questão, que foi em torno de 2,6 mm, quando não se procedeu ao refinamento pela eliminação das partículas unitárias, como foi o caso do método utilizado por aquele autor.

O elevado DMP verificado no solo da mina Saracá está relacionado principalmente ao alto grau de floculação da argila (Ruivo 1991), que contribui para formar e manter os agregados, provavelmente influenciados pelos óxidos de ferro na fração argilosa, agente cimentante e abundante nos Latossolos da região (Kondo & Iwasa 1981; Livens & Hennbert 1953 e Sombroek 1966).

Os resultados indicam a existência de diferenças estruturais do solo entre os perfis da área da "motoscraeper". A diferenciação pode estar ligada à presença de matéria orgânica como indica a correlação negativa e significativa a nível de 1% de probabilidade entre a densidade global e o carbono orgânico e positiva, significativa a nível de 10% de probabilidade, entre este e o DMP (Tabela 2), já que os valores máximos do DMP nesta área foram verificados nos perfis MS81c, MS81d e MS83 do mesmo modo que no teor de carbono.

O tamanho dos agregados tem influência no crescimento e no sistema radicular das plantas (Khiel 1979). Os valores mais elevados do DMP na área preparada com "dragline" estão relacionados ao maior conteúdo de matéria orgânica, à atividade de organismos e ao aumento do número de árvores nestas áreas (e portanto sistemas radiculares) que concorrem para melhorar a estruturação do solo e que são mais representativos na área da "dragline" (Tabela 1).

Os valores do pH apresentam-se, nas duas áreas estudadas, com caracter fortemente ácido (Tabela 1).

Apesar das duas áreas terem sido adubadas com a mistura N-P-K (12-36-12), os teores de fósforo disponível no solo obtido nestas foram diferentes (Tabela 1). Os mais baixos foram obtidos na área sistematizada com "motoscraeper", não ultrapassando o valor de 0,88 ppm, que foi detectado no perfil MS81d, sendo ainda que nos perfis MS81a, MS81b e MS81c o fósforo só ocorreu em traços. Isto evidencia a deficiência deste nutriente no solo da área. Já na área da "dragline" ocorreu uma maior concentração do fósforo, com valor máximo no perfil DL84a (3,02 ppm) (Tabela 1) considerado, assim mesmo, baixo.

O fósforo contido na vegetação é liberado quando da decomposição desta, sendo a matéria orgânica a principal fonte de fósforo no solo, também contribui para a liberação de bases trocáveis. Esta relação pode ser verificada através da correlação positiva, significativa ao nível de 10% entre o fósforo e o carbono, e da correlação positiva, significativa a nível de 5% de probabilidade entre o fósforo e a soma de bases (Tabela 2).

A Tabela 1 mostra que as diferenças nos valores do hidrogênio e alumínio trocáveis entre as áreas da "motoscraeper" e da "dragline" foram pouco acentuadas. Os valores do hidrogênio variaram de baixo a alto, enquanto os de alumínio trocável de médio a alto. Características essas peculiares dos solos da região aos quais a vegetação nativa encontra-se adaptada.

Os resultados apresentados na Tabela 1 referentes aos teores da soma de bases e capacidade de troca de cátions na área onde se utilizou "motoscraeper", mostram que os dois primeiros foram baixos, enquanto na área da "dragline" os valores da soma de bases variam de baixo a médio e os da capacidade de troca de cátions são também considerados baixos.

Os teores da soma de bases trocáveis (Tabela 1) foram mais elevados nos perfis da área da "dragline" que nos da área da "motoscraeper", o mesmo ocorrendo com a capacidade de troca de cátions, muito embora esta última área tenha sido revegetada a mais tempo e não ter havido correlação entre o teor de carbono e a idade da vegetação.

Os maiores teores de S e T na área da "dragline" podem ser decorrentes do aumento dos cátions trocáveis provenientes da matéria

orgânica, já que o carbono orgânico foi também maior nessa área, o que mostra que a reciclagem de nutrientes foi maior na área da “dragline”.

A comparação dos parâmetros físicos (dg e DMP) e químicos (pH, Al^{3+} , H^+ , T e C) do solo alterado entre as duas áreas indicou que ocorreu uma interação entre estes parâmetros e o modo de sistematização com “dragline”, onde a presença de condições físicas adequadas, aliada à presença de matéria orgânica, possibilitou o melhor desenvolvimento da vegetação através do aproveitamento da adubação.

A adubação apesar de não ter contribuído para elevação do pH correu, porém, para elevar os teores da soma de bases e da capacidade de troca de cátions e diminuir a acidez potencial, principalmente na área da “dragline”. O acréscimo de cátions trocáveis e decréscimo na acidez e no alumínio trocável através do processo de adubação em solos alterados por atividades de mineração foi também verificado por Resulovic & Vlahinic (1983) em solo alterado por lavra de bauxita na Iugoslávia; por Dias (1985) e Williams (1985), estudando o solo alterado por lavra de bauxita em Poços de Caldas (MG) utilizando a mesma formulação N-P-K utilizada em Porto Trombetas.

Ainda através do exame da Tabela 1 verifica-se que os valores da área basal, densidade e volume com casca da vegetação obtidos na área preparada com “dragline” foram maiores que os da área com “motoscraper”. Porém, na segunda, o sítio com maior volume com casca, o MS81d, apresentou diferença marcante em relação aos demais, o mesmo ocorrendo na primeira área com o sítio DL84a em virtude do maior número de indivíduos lá estabelecidos aliado também ao porte mais elevado.

No sítio representado pelo perfil MS83 verifica-se que, embora ocorra a maior densidade (Tabela 1), o volume da vegetação foi baixo, em decorrência da existência de espécies de porte reduzido e muito embora o sítio DL84a apresente valores de densidade próximos aquele, a diferença nos volumes verificados entre eles, resulta do menor porte (diâmetro e altura), obtidos na área do primeiro em relação ao segundo (Ruivo, 1991).

A comparação do número de árvores (Anexo 1) mostra que na área preparada com “dragline” cresce um número significativamente maior de indivíduos.

A diferença no desenvolvimento vegetal entre os sítios de uma mes-

ma área está ligado ao efeito temporal e as condições edáficas. Verifica-se, como era de se esperar, que na área da “dragline” a vegetação do sítio sistematizado em 1987 foi menor que o do reabilitado em 1984. As condições edáficas nestes sítios foram mais homogêneas e melhores que as da área da “motoscraper”, possibilitando assim um desenvolvimento vegetal mais uniforme entre os sítios plantados num mesmo período.

Esse resultado é decorrente da maior aeração e disponibilidade de água e nutrientes no solo na área da “dragline”, os quais implicam em condições mais favoráveis à atividade biológica do solo, e portanto, mais propícias para a germinação das sementes (zoocoria e anemocoria) e crescimento das plantas nestas áreas.

A comparação dos parâmetros da vegetação sob diferentes preparos indica que ocorreu uma interação entre o tipo de preparo da área e o recobrimento vegetal no solo. Se se toma para avaliação do desenvolvimento da vegetação a área basal e a densidade da vegetação verifica-se claramente que foi na área da “dragline” que ocorreu o melhor desenvolvimento.

O sucesso da revegetação, portanto, foi condicionado pela maior disponibilidade de nutrientes, reguladas principalmente pela matéria orgânica e pela menor compactação do solo. Tais resultados confirmam os obtidos por Ferraz (1991) no estudo do diagnóstico do reflorestamento da mina Saracá. Resultado semelhante também foi verificado por Pereira (1990) estudando a influência de fatores edáficos em áreas de empréstimo em Latossolo Vermelho Amarelo, porém sob vegetação de cerrado no Distrito Federal.

Quando compara-se as propriedades do solo entre os perfis DL84c (Tabela 1) verifica-se que o valor mais elevado da densidade global ($1,21 \text{ g/cm}^3$) foi obtido no perfil DL84c₂, enquanto o menor ($1,02 \text{ g/cm}^3$) no perfil DL84c₃. No primeiro também foi observado o menor valor do DMP (1,4 mm) e o maior (4,4 mm) no perfil DL84c₁. Quanto as propriedades químicas verifica-se que apesar do pH ser excessivamente ácido em todos os sítios, observa-se que no perfil DL84c₂ os teores de soma de bases (4,31 meq/100g), capacidade de troca de cátions (9,10 meq/100g), carbono orgânico (2,86%) e fósforo disponível (3,31 ppm) foram mais elevados, sendo que, de maneira geral, estes foram mais baixos no perfil DL84c₂.

O perfil DL84c₃ apresenta melhores condições edáficas, principal-

mente em termos de disponibilidade de nutrientes, em decorrência, houve um maior desenvolvimento da vegetação. O perfil DL84c2 apresentou uma menor densidade de vegetação em função dos menores valores de DMP e fósforo no solo, de acordo com as correlações positivas significativa ao nível de 10% de probabilidade entre a densidade da vegetação e o DMP, e significativa ao nível de 1% de probabilidade entre aquela e o fósforo (Tabela 3).

A maior ocorrência do fósforo disponível neste sítio foi em decorrência da aplicação da adubação fosfatada (superfosfato simples) e também do espalhamento do material do horizonte A do solo inalterado, que embora tenha reduzido teor de matéria orgânica, não deixa de ser uma fonte de fósforo, conforme indica também a correlação positiva e significativa a nível de 10% de probabilidade entre estes parâmetros (Tabela 2).

CONCLUSÕES

1 - Foi possível identificar dois tipos de ambientes edáficos, que por sua vez são função dos diferentes modos de sistematização do sítio. O primeiro, situado na área preparada com "motoscraper" (borda do platô), tem menor disponibilidade de nutrientes, teor de carbono orgânico e fósforo disponível, aliado ao aumento da densidade e diminuição da estabilidade dos agregados do solo o que dificultou o desenvolvimento da floresta replantada. O segundo, na área sistematizada com "dragline" (centro do platô) apresenta-se com maior disponibilidade de nutrientes, aliado a melhor agregação do solo que permitiu um melhor desenvolvimento da vegetação ali instalada.

2 - Identificou-se também diferentes ambientes edáficos dentro de um mesmo sistema de recomposição topográfica e durante um mesmo período de plantio. Os sítios que possuem maior conteúdo de carbono, independentemente da idade da vegetação, apresentam também melhores condições físicas e químicas do solo e causam um melhor desenvolvimento da vegetação.

AGRADECIMENTOS

À Mineração Rio do Norte, pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo. À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, pela cessão dos Laboratórios de Física e Química de Solos. Ao Laboratorista José Paulo Sarmiento, do Museu Paraense Emílio Goeldi, pela execução das análises

químicas dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL FILHO, P. Z.; RÉGO, R. S.; SANTOS, P. L.; LOPES, D. N.; GAMA, J. R. N. F. & REIS, C. M. 1975. *Estudo detalhado dos solos de uma área do município de Bragança*. Belém, IDESP, 86p. (Monografia, 19).
- BARTH, R.C. 1989. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. *Bol. Téc. Soc. Invest. Florest. Viçosa*, (1): 1-41.
- DIAS, A.C. 1985. Reabilitação de áreas mineradas de bauxita. In: DNPM *Coletânea de trabalhos sobre controle ambiental na mineração*. Brasília, p.175-183.
- DIAS, L. E. & JUCKSCH, I. 1988. *Relatório de visita técnica a Porto Trombetas - Mineração Rio do Norte*. Belo Horizonte, GADEP, 12p.
- EMBRAPA. 1979. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro.
- FERRAZ, J. 1991. *Diagnóstico do comportamento do reflorestamento realizado na mina Saracá IV (Porto Trombetas - PA) entre 1981 - 1987*. Manaus. INPA/CPST, v.1, 101p.
- GROHMANN, F. 1960. Análises de agregados de solos. *Bragantia*, Campinas, part. 1, 19(13): 201-213, mar.
- KIEHL, E.J. 1979. *Manual de edafologia, relações solo-planta*. São Paulo, Agronômica Ceres, 262p.
- KONDO, R. & IWASA, Y. 1981. Biogenic o pals of humic yellow latosol and yellow latosol in the Amazon region. *Res. Bull. Obinino Univ.*, 12:231-39.
- LIVENS, P.J. & HENNBERT, G. 1953. Caracteristiques physiques et chimiques d'un Latossol de l'Ituri. *Bull. Agric. Congo Belge*. 44(5): 398-960.
- PEREIRA, R. A. 1990. Influência de fatores edáficos sobre a revegetação natural de áreas de empréstimo em Latossolos sob cerrado. Brasília. Universidade de Brasília, 120p. Tese de Mestrado.
- PEREIRA, F. S. & KNOWLES, O.H. 1985. Recuperação das áreas mineradas pela Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas. In: DNPM. *Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração*. Brasília, p.343-358.
- PLASS, W. T. & CAPP, J.P. 1974. Physical and chemical characteristics of surface mine spoil treated with fly ash. *J. Soil. Wat. Conserv.* 29(1): 119-121.
- QUEIROZ, W. T. 1984. *Análise de fatores ("factor analysis") pelo método da máxima verossimilhança: aplicação ao estudo das florestas tropicais*. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 112p. Tese de Doutorado.
- RADAM BRASIL .1976. Folha SA.21 - Santarém III. *Pedologia*. DNPM, 3:201-303. (Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- RESULOVIC, H. & VLAHINIC, M. 1983. Some characteristics of fertility of reclaimed bauxite minesoils. In: SZEGI, J. (ed.). *Matraalja Coal Mining Company Recultivation of Technogenous Area Gyongyos*. Budapest. p.225-233.

- RUIVO, M. L. P. 1990. Um desafio as mineradoras. *Ciênc. Hoje*. Rio de Janeiro, 11(62): 68-69.
- RUIVO, M. L. P. 1991. 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, 199 p. Tese de Mestrado.
- SOMBROEK, W.G. 1966. *Amazonian soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region*. Wageningen Center for Agriculture Publication and Documentation, 292p.
- SOUZA, M. L. de P. 1988. *Estudo da recuperação de solos degradados pela mineração do xisto*. Curitiba. Relatório da 1ª etapa. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 93p.
- TOY, T. J. & SHAY, D. 1987. Comparison of some oil properties on natural and reclaimed hillslopes. Baltimore. *Soli Sci.* 143(4): 264-277.
- WILLIAMS, D.D. 1985. Reabilitação de minas de bauxita exauridas em Poços de Caldas (MG). In: DNPM. *Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração*. Brasília. p.52-56.

Recebido em 01.08.91
Aprovado em 07.01.92

ANEXO 1 – Ocorrência das espécies vegetais no solo nas áreas reabilitadas com “motoscaper” (MS) e com “dragline” (DL)

Nome Científico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1- <i>Acacia manjuin</i>											1
2- <i>Astronium lecointei</i>	1	2	2	4	2						
3- <i>Bagassa guianensis</i>				1							
4- <i>Bertholletia excelsa</i>											2
5- <i>Bowdichia nitida</i>											2
6- <i>Byrsonima crispa</i>				1						1	
7- <i>Cariniana decandra</i>		1	1								
8- <i>Cecropia</i> sp						6	3	1	1	3	
9- <i>Clinostemon mahuba</i>				1	1		1	1			
10- <i>Cochlospermum</i> sp			1								
11- <i>Dalbergia spruceana</i>	1										
12- <i>Dinizia excelsa</i>	1		1								
13- <i>Dypteryx odorata</i>	1			2	3						
14- <i>Enterolobium timbouva</i>						1					
15- <i>Eucalyptus toreliana</i>											1
16- <i>Goupia glaba</i>							1				
17- <i>Hevea guianensis</i>					1						
18- <i>Lactia procera</i>						4	3	9	4	5	
19- <i>Licaria puchury</i> major			1								
20- <i>Miconia</i> sp										1	
21- <i>Ouratea spruceana</i>						2					1
22- <i>Parahancornia amapa</i>					1						
23- <i>Parkia</i> sp		1	2		5		1				
24- <i>Psychotria</i> sp							4				
25- <i>Stryphondendron augustum</i>		2	1								
26- <i>Tabebuia</i> sp								1			
27- <i>Tachigalia</i> sp											1
28- <i>Tachigalia paniculata</i>					1						
29- <i>Tapirira guianensis</i>											1
30- <i>Tovomita macrophylla</i>											2
31- <i>Termilalia cattapa</i>								8	8	9	
32- <i>Unqropsis stipitata</i>										4	1
33- <i>Vismia guianensis</i>					2	8	12			1	
34- <i>Vouacapoua americana</i>				1	1						
35- <i>Xylopia</i> sp									4		

1 = MS81a, 2 = MS81b, 3 = MS81c, 4 = MS81d, 5 = MS83, 6 = DL84a, 7 = DL84b, 8 = DL84c₁, 9 = DL84c₂, 10 = DL84c₃, 11 = DL87.