

NUTRIENTES NO SOLO EM FLORESTA DE TERRA FIRME CORTADA SELETIVAMENTE NA AMAZÔNIA CENTRAL

Sávio J. Filgueiras FERREIRA¹, Silvio CRESTANA², Flávio J. LUIZÃO³,
Sebastião A. Fonseca MIRANDA¹.

RESUMO - Foram medidos o pH, a matéria orgânica, o fósforo assimilável, o potássio, o magnésio, o cálcio e o alumínio trocáveis no solo de uma área de manejo florestal em floresta de terra firme localizada a 80 km ao norte de Manaus. O solo é um Latossolo Amarelo álico de textura muito argilosa. O experimento constou de duas parcelas controle e duas que sofreram manejo em tempos distintos (uma em 1987 e a outra em 1993). Os resultados mostraram que esses solos são muito ácidos e que os teores de fósforo assimilável, potássio, magnésio, cálcio, e alumínio trocáveis são mais altos no período chuvoso do que no período seco. Nos perfis do solo da floresta remanescente e do centro de clareira do manejo de 1987, as concentrações dos elementos estudados seguiram a ordem $Al > Ca > K > Mg$ no período chuvoso e $Al > K > Mg > Ca$ no início do período seco. Há evidências de que os resíduos de madeira deixados pela extração seletiva aumentaram a concentração de nutrientes no solo, pela sua decomposição, especialmente na estação chuvosa.

Palavras-chave: Amazônia, nutrientes no solo, floresta de terra firme, corte seletivo de árvores.

Soil Nutrients in Selectively Logged Upland Rain Forest in Central Amazonia

ABSTRACT - Soil pH, organic matter, and concentrations of extractable-P, exchangeable K, Ca, Mg and Al were measured in selectively logged plots of upland rain forest, 80 km north of Manaus. Soil type corresponds to an acid and very clayey Oxisol, (ca. 80 % of clay). Two control plots of intact forest and two plots submitted to selective logging were studied in 1987 and 1993. Results confirmed high soil acidity, and showed highest concentrations of extractable-P, and exchangeable-K, Ca, Mg and Al in the wet season. Both control and logged plots, showed the following ranking of concentrations for soil pit analyses: $Al > Ca > K > Mg$, in the wet season, and $Al > K > Mg > Ca$ in the dry season. There are evidences that the timber residues left from selective logging rises soil nutrient values through decay, especially during the wet season.

Key-words: Amazonia, soil nutrients, upland rain forest, selective logging.

INTRODUÇÃO

O desmatamento na Amazônia, principalmente em áreas de floresta de terra firme, tem sido foco de interesse e preocupação, não só nacional, mas mundial, uma vez que a Amazônia representa uma das últimas fronteiras florestais e a maior extensão de floresta tropical remanescente no mundo, em grande parte intocada, e de elevada

diversidade biológica. Assim, a preocupação é que o desmatamento possa provocar grandes alterações no clima local e mundial. Na terra firme, que corresponde a 90 % da área florestada da Amazônia, a existência de uma floresta densa e de alta biomassa é garantida por uma eficiente reciclagem de nutrientes contidos na biomassa, além da entrada de nutrientes pela água das chuvas e, possivelmente,

¹INPA – Geociências. Cx. Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM. E-mail: savio@inpa.gov.br

²EMBRAPA/CNPDIA, 13560-970, São Carlos, SP.

³INPA- Ecologia. Cx. Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM.

pela deposição de nutrientes transportados a longa distância.

O padrão de ciclagem de nutrientes nos trópicos depende de várias adaptações e interações biológicas, inclusive mutualísticas entre microorganismos e plantas, que propiciam a conservação de nutrientes. Por isso, a remoção desta evoluída e bem-organizada estrutura biótica implica na perda rápida de nutrientes por lixiviação sob condições de altas temperaturas e chuvas intensas. Assim, práticas agrícolas empregadas em regiões temperadas, tais como a utilização de monoculturas de plantas anuais de ciclo curto, são inapropriadas para as regiões tropicais; ao contrário, a rica diversidade de espécies nos trópicos de alguma forma tem que ser preservada, devendo fazer uma reavaliação ecológica da agricultura tropical, em particular, e do gerenciamento ambiental em geral, se quisermos corrigir os erros do passado e evitar desastres ecológicos no futuro (Odum, 1988).

Em regiões tropicais, a matéria orgânica do solo (MOS) tem um papel muito importante na ciclagem de nutrientes. Os produtos de decomposição da matéria orgânica favorecem as interações com a matriz do solo, principalmente com as argilas e, em solos ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica, são importantes para a retenção de nutrientes (Anderson & Spencer, 1991). As maiores contribuições para a MOS são dadas pela liteira produzida pela parte aérea da vegetação e pelas raízes e seus

exudatos.

Na terra firme da Amazônia central, Luizão & Schubart (1987) observaram que uma maior produção de liteira se dá no período menos chuvoso, de junho a outubro e que a maior parte da decomposição ocorre durante a estação chuvosa. As folhas, que representam 70 % do total da liteira, são de rápida decomposição. A liteira fina produzida cada ano (8,25 t. ha⁻¹), proporciona uma entrada de 3880 kg de carbono, 151 kg de nitrogênio, 3 kg de fósforo, 16 kg de enxofre, 15 kg de potássio, 37 kg de cálcio, 14 magnésio e 9 kg de sódio, para o solo de uma floresta de platô sobre Latossolo Amarelo na região de Manaus (Luizão, 1989). Além destes elementos químicos geralmente considerados como nutrientes para as plantas, a floresta cicla uma quantidade significativa de elementos da liteira, nutrientes ou não, principalmente de silício e de alumínio (Lucas *et al.*, 1993). Isto indica uma forte relação entre a atividade biológica e a composição mineral dos solos da floresta de terra firme.

Num estudo sobre a dinâmica das raízes e da biomassa microbiana nas camadas superficiais do solo de floresta de terra firme e de uma pastagem jovem adjacente, Luizão *et al.* (1992) observaram que a contribuição das raízes, principalmente das mais finas (diâmetro inferior a 1 mm), de renovação muito rápida e intimamente relacionadas à atividade microbiana do solo, pode ser tão importante quanto a liteira como fonte de matéria

orgânica e de nutrientes. Assim, a dinâmica de uma fina camada superficial do solo é a chave para o funcionamento do ecossistema, devendo sempre ser levada em consideração nos casos de manejo racional do solo na Amazônia.

A extração seletiva de madeira tem sido apontada como uma forma racional de uso da floresta (Higuchi *et al.*, 1991), mas os impactos desta intervenção são ainda pouco conhecidos. Em 1987, a Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, realizou a extração seletiva de madeira em uma área de manejo florestal em terra firme, a 80 km ao norte de Manaus. Uma nova extração foi feita na mesma região em 1993 pelo Projeto BIONTE - “Biomassa e Nutrientes em Floresta Tropical”, financiado pelo DFID (Department for International Development) do Reino Unido. O “BIONTE” foi um projeto interdisciplinar que teve o intuito de estudar os efeitos ecológicos da exploração de madeira e definir as estratégias de extração seletiva sustentável de árvores para futuros empreendimentos madeireiros em áreas de floresta de terra firme. Levando-se em conta que a retirada de árvores representa uma exportação de nutrientes, pretende-se, com este estudo, verificar se a retirada seletiva de árvores causou algum efeito em um dos componentes da ciclagem de nutrientes, ou seja, no compartimento solo, no que diz respeito aos teores de

micro e macro nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, do INPA, cerca de 80 km ao norte de Manaus, em uma área de estudo de manejo florestal (Fig. 1), localizada entre os quilômetros 21 e 24 da margem esquerda da estrada vicinal ZF-2, no distrito Agropecuário da SUFRAMA (coordenadas geográficas: 02° 37' a 02° 38' de latitude Sul e 60°09' a 60°11' de longitude Oeste).

O solo da área deste estudo é um Latossolo Amarelo, álico, textura muito argilosa, composto de caulinita (80%), muito ácido, com alto teor de alumínio e baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (Camargo & Rodrigues, 1979, apud Chauvel *et al.*, 1992). Faz parte da área da Sinéclise do Amazonas, em cujas margens foi depositada no Terciário uma sequência sedimentar, formando o que se denomina Grupo Barreiras (Vieira & Santos, 1987).

Delineamento experimental e tratamentos. O delineamento experimental do manejo florestal do INPA na ZF-2 consistiu em três blocos (I, II e IV), dentro dos quais foram alocadas, ao acaso, seis parcelas de 4 ha cada (parcelas de 1 a 6), onde foram feitos os tratamentos silviculturais planejados. A extração de madeira foi feita em julho de 1987 (M87) e em fins de setembro de 1993 (M93), consistindo em ambos os casos, na remoção de toda árvore das espécies com potencial madeireiro, chamadas

“Espécies Listadas” (Higuchi *et al.*, 1991), com um DAP (diâmetro à altura do peito) maior de 50 cm. As árvores foram cortadas com motosserra e retiradas do local por um trator de esteira Caterpillar D6; isto produziu, nas parcelas, a formação de áreas de clareira e trilha de trator, além de áreas de floresta remanescente. Para este estudo foram investigadas três parcelas de 200 x 200 m em um único bloco (bloco IV): uma parcela controle (floresta intacta) e duas que sofreram extração seletiva de intensidades similares, mas em tempos diferentes, em 1987 e 1993 (Fig. 1). A parcela manejada em 1987 foi dividida em duas partes, sendo uma clareira e uma área de floresta remanescente.

As amostras de solo foram coletadas em dois períodos: fevereiro de 1995, no período chuvoso (PC) e depois em julho de 1995, no período seco, praticamente no início da estação seca (PS). A primeira amostragem foi realizada na parcela manejada em 1987 e foram considerados dois tratamentos: centro da clareira (CC) e floresta remanescente (FR). Foram abertas trincheiras de 1 m x 1,5 m para a retirada das amostras nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, utilizando-se de um facão e sacos plásticos, num total de 12 amostras. As determinações químicas utilizadas foram: pH em H₂O e KCl, fósforo assimilável, potássio, magnésio, cálcio e alumínio.

Depois de analisadas as amostras coletadas no primeiro período e observado o comportamento do pH e

dos nutrientes, optou-se por uma segunda amostragem, onde foram acrescentadas as parcelas controle e manejada em 1993 e foi adicionada a determinação da matéria orgânica. Nesta amostragem foram considerados seis tratamentos: trilha do trator de 1987 (TT87), trilha do trator de 1993 (TT93), centro da clareira de 1987 (CC87), centro da clareira de 1993 (CC93), floresta remanescente de 1987 (FR87) e controle de 1993. Em cada trilha do trator foram escolhidos dois pontos de coletas e nos demais tratamentos três, sendo as amostras coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm, totalizando 80 amostras.

pH. A atividade dos íons hidrogênio foi determinada potenciométricamente em água e em cloreto de potássio (solução de 10g de solo/25 cm³ de H₂O ou KCl 1 N), utilizando-se um pH-metro ORION RESEARCH 601A/DIGITAL com eletrodo de vidro.

Matéria orgânica. Foi determinada (apenas nas amostras do período seco) através do método volumétrico pelo bicromato de potássio, seguida pela titulação com sulfato ferroso (Raj *et al.*, 1987).

Fósforo assimilável e potássio trocável. Esses elementos foram extraídos das amostras de solo utilizando a solução extratora HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N (duplo ácido). O fósforo assimilável foi analisado através do método do molibdênio azul, fazendo-se as leituras da absorbância num espectrofotômetro SHIMADZU, modelo UV-120-01. O potássio foi determinado por espectrofotometria de

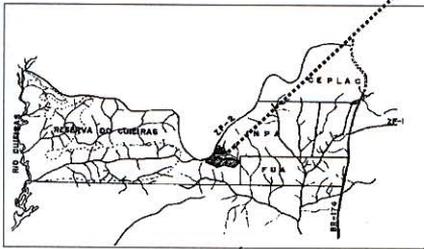
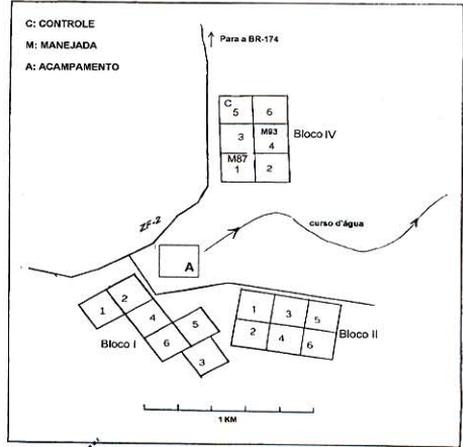


Figura 1. Localização da área de estudo do manejo florestal (hachuriada) com a distribuição dos blocos (I, II e IV), divididos em parcelas (1 a 6) do Projeto BIONTE. C=controle; M87 parcela submetida à extração seletiva em 1987; M93= extração seletiva em 1993.

absorção atômica (AAS).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis. Nestas determinações foi utilizada a solução extratora de KCl 1N, que é um sal neutro, capaz de deslocar apenas os cátions ligados eletrostaticamente com os colóides do solo, recebendo a denominação de íons trocáveis. As concentrações de cálcio e magnésio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (Raij *et al.*, 1987), num aparelho PERKIN ELMER, modelo 1100B. Na determinação do alumínio trocável, parte do extrato foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,025 N.

Os resultados das determinações efetuadas na segunda coleta foram submetidas à análise de variância para comparação entre blocos e tratamentos. Para isto o bloco foi dividido em dois, ficando os tratamentos TT87 CC87 e FR87 em um e TT93, CC93 e Controle 93 no outro. A FR87 foi considerada como controle. Nos perfis de solo amostrados foram calculados os coeficientes de correlação (r) entre a MOS e os elementos químicos: fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio

RESULTADOS

pH. No período chuvoso os valores de pH em água variaram de 4,01 a 5,07; em KCl variaram de 3,67 a 4,28, com valores mais altos na parcela com extração de madeira (CC87) do que na floresta remanescente (FR87), nas duas camadas superiores do solo, até 20 cm (Tab. 1). No início do período seco os valores de pH em água e em KCl foram, na sua maioria, ligeiramente mais baixos do que os registrados no período chuvoso, considerando-se apenas os mesmos locais de coleta, com os valores de pH em água variando de 4,09 a 4,72 e em KCl de 3,60 a 4,23 (Tab. 2). Com exceção da CC87, o pH do solo nos locais afetados pela extração de madeira foram mais altos do que no controle e FR87, nos 20 cm superiores do solo.

Matéria orgânica do solo (MOS). O valor mais elevado de MOS (7,14 %, Tab. 3) foi encontrado na área de FR de 1987, no início do período seco. Todos os locais investigados mostraram o

Tabela 1. pH em água, pH em solução de KCl 1 N, em diferentes profundidades, até 1 metro, no centro da clareira (CC) e na floresta remanescente (FR) de 1987 do bloco IV, no período chuvoso.

Local	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)
Bloco IV CC 87	0-10	4,25	3,72
	10-20	4,64	4,05
	20-40	4,76	4,11
	40-60	4,88	4,20
	60-80	5,07	4,24
	80-100	4,95	4,26
Bloco IV FR 87	0-10	4,01	3,67
	10-20	4,33	3,97
	20-40	4,70	4,13
	40-60	4,88	4,20
	60-80	4,90	4,22
	80-100	4,84	4,28

Tabela 2. pH do solo em água e em KCl 1N no solo das trilhas do trator (TT) de 1987 e 1993, do centro das clareiras (CC) de 1987 e 1993, da floresta remanescente (FR) de 1987 e da parcela controle 93, no bloco IV, no início do período seco.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)					
	TT 87	TT 93	CC 87	CC 93	FR 87	Controle 93
0-10	4,29	4,63	4,06	4,50	4,09	4,20
10-20	4,41	4,72	4,32	4,52	4,23	4,35
20-30	4,17	4,09	4,42	4,28	4,31	4,33
30-40	4,56	4,40	4,51	4,50	4,50	4,43
40-60	4,66	4,31	4,70	4,60	4,55	4,51

Prof. (cm)	pH (KCl)					
	TT 87	TT 93	CC 87	CC 93	FR 87	Controle 93
0-10	3,86	4,17	3,86	4,12	3,78	3,90
10-20	3,97	4,19	3,97	4,16	3,99	3,98
20-30	3,60	3,68	3,60	3,89	4,08	4,00
30-40	4,16	3,83	4,16	4,05	4,16	4,09
40-60	4,23	4,00	4,23	4,10	4,20	4,14

mesmo padrão de comportamento, com os valores mais elevados registrados na camada mais superficial do solo (0-10 cm) e diminuindo rapidamente com a profundidade.

Fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis. Nas camadas superiores do solo (até 40 cm), as concentrações dos elementos químicos trocáveis ou assimiláveis seguiram a seguinte

Tabela 3. Matéria orgânica do solo (%) nas trilhas de trator (TT) de 1987 e 1993, nos centros das clareiras (CC) 1987 e 1993, na floresta remanescente (FR) 1987 e no controle 1993 do bloco IV.

Prof. (cm)	Local					
	TT 87	TT 93	CC 87	CC 93	FR 87	controle 93
0-10	6,68	4,48	4,26	4,22	7,14	4,24
10-20	3,31	2,34	3,19	3,98	3,23	2,82
20-30	2,03	1,84	2,47	2,16	2,50	2,04
30-40	1,21	1,47	2,00	1,70	1,97	1,88
40-60	0,93	1,27	1,51	1,51	1,54	2,23

Tabela 4. Concentrações (mg/dm³) de fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis no centro da clareira (CC) e floresta remanescente (FR) de 1987 no bloco IV, no período chuvoso.

Local	Prof.(cm)	P	K	Ca	Mg	Al
CC 87	0-10	2	56	34	18	150
	10-20	0,5	31	60	14	87
	20-40	0,5	32	68	14	80
	40-60	0,3	33	68	14	65
	60-80	0,3	19	68	13	59
	80-100	0,3	20	82	13	62
FR 87	0-10	2	57	40	32	184
	10-20	1	24	38	17	132
	20-40	0,5	11	70	19	77
	40-60	0,3	16	130	16	62
	60-80	0,4	18	86	14	50
	80-100	0,3	15	86	13	42

ordem: Al > Ca > K > Mg > P (Tab. 4). Da mesma forma que a MOS, as concentrações destes elementos minerais foram geralmente diminuindo com a profundidade, com exceção do cálcio. As concentrações de P assimilável no solo, que variaram de 0,3 a 2,0 mg/dm³ (Tab. 4), diminuíram drasticamente a partir das camadas mais superficiais, de 10 ou 20 cm de profundidade, no período chuvoso. No período seco, as concentrações foram mais baixas e variaram de 0,2 a 1,0 mg/dm³ (Tab. 5), sem que houvesse diferenças claras entre tratamentos e/ou idades de corte.

As concentrações de K no período chuvoso variaram de 11 a 57 mg/dm³ (Tab. 4) e no período seco de 8 a 47 mg/dm³ (Tab. 5). Os dois tratamentos investigados no período chuvoso, CC e FR de 1987, apresentaram valores praticamente iguais entre si na camada superficial do solo, onde ocorreram os mais elevados valores no perfil do solo. No início do período seco, em todos os

locais amostrados, houve uma diminuição na primeira camada (0-10 cm) em relação ao período chuvoso. O perfil de solo do CC93 apresentou os valores mais altos de potássio, principalmente até a profundidade de 40 cm e, nas camadas superiores do solo tanto nos CC como nas TT, as concentrações de K diminuíram entre 1987 e 1993. As concentrações de Mg apresentaram comportamento similar ao do K com os valores mais altos nas camadas mais superficiais e as concentrações diminuindo do período chuvoso para o seco (Tab. 4 e 5). As concentrações de magnésio no período chuvoso variaram de 13 a 32 mg/dm³, e no início do período seco variaram de 5 a 26 mg/dm³. Em contraste com o Mg, as concentrações de cálcio aumentaram com a profundidade, possivelmente influenciando o correspondente aumento de pH. No período chuvoso, no perfil de solo do CC87, a camada mais superficial teve o valor mais baixo, 34 mg/dm³, enquanto que o valor mais elevado nesse perfil foi 82 mg/dm³, na camada

80-100 cm (Tab. 4). No início do período seco, as concentrações de cálcio no solo diminuíram fortemente, chegando a ser 30 vezes menor do que na época chuvosa (camada 10-20 cm, CC87, Tab. 6).

As concentrações de alumínio (Tab. 4 e 5) também diminuíram da estação chuvosa para a seca: na FR87, para a camada de 0-10 cm, a

concentração baixou de 184 para 92 mg/dm³. No CC87 a diminuição foi de 150 para 81 mg/dm³, para a mesma camada de solo.

Calculando-se a proporção de cada elemento químico entre os dois períodos amostrados (chuvoso/seco) nas camadas dos perfis do CC e da FR de 1987, observou-se que todos os elementos analisados sofrem, em

Tabela 5. Fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio nas trilhas do trator (TT) de 1987 e 1993, centro da clareira (CC) de 1987 e 1993, floresta remanescente (FR) de 1987 e parcela controle 1993 do bloco IV, no início do período seco. Resultados expressos em (mg/dm³).

Prof. (cm)	Passimilável					
	TT 87	TT 93	CC 87	CC 93	FR 87	Controle 93
0-10	1,00	0,85	0,83	0,70	0,93	0,87
10-20	0,45	0,80	0,53	0,60	0,57	0,60
20-30	0,40	0,45	0,40	0,53	0,67	0,43
30-40	0,25	0,30	0,37	0,33	0,30	0,50
40-60	0,20	0,30	0,23	0,30	0,43	0,33
K+						
0-10	30	46	27	47	36	35
10-20	16	26	16	31	23	20
20-30	12	20	12	31	20	13
30-40	8	14	9	19	16	13
40-60	8	16	9	15	19	12
Ca ²⁺						
0-10	4	27	2	23	4	4
10-20	5	24	2	25	3	28
20-30	5	29	2	24	4	27
30-40	3	87	3	25	19	19
40-60	5	5	3	29	7	17
Mg ²⁺						
0-10	15	26	12	18	20	14
10-20	8	14	8	11	12	12
20-30	7	8	7	10	11	10
30-40	5	10	6	9	11	10
40-60	7	6	7	10	10	11
Al ³⁺						
0-10	200	38	81	90	92	71
10-20	79	43	53	51	53	80
20-30	72	70	47	50	36	44
30-40	101	29	59	54	27	41
40-60	70	25	21	33	27	30

Tabela 6. Proporção entre as concentrações de cada elemento químico nos períodos chuvoso e seco (chuvoso/seco) nas profundidades até 60 cm, no CC e na FR de 1987.

Prof. (cm)	P	K	Ca	Mg	Al
CC 1987					
0-10	2,4	2,1	17,0	1,5	1,8
10-20	0,9	1,9	30,0	1,7	1,6
20-40	1,3	2,9	22,7	2,0	1,5
40-60	1,3	3,7	22,7	2,0	3,1
média	1,5	2,6	23,1	1,8	2,0
FR 1987					
0-10	2,1	1,6	10,0	1,6	2,0
10-20	1,7	1,0	12,7	1,4	2,5
20-40	1,0	0,6	5,8	1,7	2,4
40-60	0,7	0,8	18,6	1,6	2,3
média	1,4	1,0	11,8	1,6	2,3

relação aos valores médios, uma diminuição de concentração no período seco. Esta diminuição foi especialmente acentuada para o K e o Ca no centro da clareira (Tab. 6). O potássio, na camada de 20-40 cm, apresentou o valor absoluto mais baixo (0,61) na FR, e o cálcio o mais alto (30,0) no CC, na camada de 10-20 cm.

A Tabela 7 apresenta a análise de variância dos dados de matéria orgânica do solo, P assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio entre dois blocos e entre os tratamentos: trilha do trator de 1987 (TT87), trilha do trator de 1993 (TT93), centro da clareira de 1987 (CC87), centro da clareira de 1993 (CC93), floresta remanescente de 1987 (FR87) e controle de 1993. Apenas o cálcio apresentou diferença significativa entre os blocos, mas com relação aos tratamentos não houve diferenças

significativas ao nível de 5 %.

Os coeficientes de correlação (r) obtidos da análise de regressão (Tab. 8) entre os dados de MOS e as concentrações dos elementos químicos investigados, mostraram uma relação positiva e mais forte da MOS com o P assimilável, potássio e o magnésio. O cálcio não apresentou nenhuma correlação significativa com a MOS. Na FR87 o alumínio mostrou uma boa correlação com a MOS, o que não aconteceu nos demais tratamentos.

DISCUSSÃO

As medidas de pH confirmaram a forte acidez dos perfis, bem como a tendência do pH (em H_2O e em KCl) aumentar com a profundidade (Chauvel, 1982), tanto no centro das clareiras (CC) como na área de floresta remanescente (FR) de 1987. A caulinita, mineral silicatado do tipo

Tabela 7. Análise de variância de dois fatores (tratamentos e profundidades) para a matéria orgânica do solo (MOS), P assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
MOS				
Blocos	1	1,117	1,117	0,45 ^{NS}
Tratamentos	2	0,834	0,417	0,17 ^{NS}
Resíduo	26	64,531	2,482	
Total	29			
P assimilável				
Blocos	1	0,0036	0,0036	0,07 ^{NS}
Tratamentos	2	0,0362	0,0180	0,33 ^{NS}
Resíduo	26	1,4371	0,0552	
Total	29			
K				
Blocos	1	313,6	313,6	2,79 ^{NS}
Tratamentos	2	20,1	10,0	0,09 ^{NS}
Resíduo	26	2923,3	112,4	
Total	29			
Ca				
Blocos	1	3456,1	3456,1	18,61*
Tratamentos	2	233,9	116,9	0,63 ^{NS}
Resíduo	26	4829,5	185,7	
Total	29			
Mg				
Blocos	1	36,30	36,30	1,83 ^{NS}
Tratamentos	2	27,27	13,63	0,69 ^{NS}
Resíduo	26	514,6	19,79	
Total	29			
Al				
Blocos	1	2412	2412	2,13 ^{NS}
Tratamentos	2	1929	1464	1,29 ^{NS}
Resíduo	26	29460	1133	
Total	29			

(^{NS}) não significativo e (*) significativo ao nível de 5 %.

Tabela 8. Coeficientes de correlação (r) entre a MOS e os elementos químicos: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio.

	TT 87	TT 93	CC 87	CC 93	FR 87	Controle 93
P	0.990**	0.846 ^{NS}	0.986**	0.924*	0.881*	0.909*
K	0.998***	0.993***	0.966**	0.859 ^{NS}	0.979**	0.986**
Ca	-0.072 ^{NS}	-0.171 ^{NS}	-0.790 ^{NS}	-0.618 ^{NS}	-0.413 ^{NS}	-0.709 ^{NS}
Mg	0.958*	0.980**	0.898*	0.761 ^{NS}	0.991***	0.985**
Al	0.881*	0.072 ^{NS}	0.846 ^{NS}	0.722 ^{NS}	0.989**	0.705 ^{NS}

(^{NS}) não significativo e significativo ao nível de: (***) 0,1%, (**) 1% e (*) 5% de probabilidade pelo teste "t".

1:1, predomina no solo na área deste estudo (Chauvel, 1982), e possui carga negativa, proporcionando adsorção preferencial por cátions (Brady, 1989). Também a matéria orgânica, que apresentou valores mais elevados na camada de solo mais superficial (0-10 cm), geralmente apresenta cargas negativas devido aos grupos carboxílico, enólico e fenólico presentes. O pH medido em água foi mais elevado do que em solução de KCl em todas as amostras, o que confirma uma predominância de cargas negativas no solo (Tomé Jr., 1997).

Durante o período chuvoso, o pH do solo, tanto em água como em KCl, foi mais alto no CC87 do que na FR87, em especial até 20 cm de profundidade. Considerando que os teores de cálcio e magnésio foram mais baixos no CC, na camada 0-10 cm, do que na FR, há um indício de que o alumínio seria o responsável pelo pH mais alto no solo do CC. Por outro lado, na amostragem do período seco, o pH em água na camada 0-10 cm da trilha do trator (TT) de 1987 foi relativamente baixo (4,29) e a concentração de alumínio muito alta (200 mg/dm³). No perfil da TT93 o pH em água mais baixo (4,09) ocorreu na profundidade 20-30 cm, onde foi registrada a maior concentração de alumínio (70 mg/dm³), sugerindo que o alumínio não influenciou no pH do solo. No entanto, o papel do alumínio em solos amazônicos deve ser melhor estudado, pois aqui verificou-se que na floresta intacta seu teor é mais elevado. Lucas *et al.* (1993) apresentam resultados de reposição de alumínio ao

solo devido à queda de diversos componentes da floresta que formam a liteira, principalmente pelas folhas, que contribuiu com 2,0 kg/ha/ano, numa área próxima à do presente estudo. Quando o pH do solo diminui, o alumínio adquire a forma catiônica; neste caso, atua como um tampão básico e fixa-se no complexo adsorvente (colóide), deslocando outros cátions. Devido a esse comportamento do alumínio no solo, Luizão (1995) sugere que a sua falta (aliada à pouca matéria orgânica) em áreas de campina e campinarana sobre areias brancas, possa ser a responsável pela ausência de tamponamento da acidez, fazendo com que o pH baixo (por volta de 4), com a acidez trocável amplamente dominada pelos íons H⁺, seja tóxico para muitas espécies de plantas, impedindo seu estabelecimento nas areias brancas. Outra possível explicação para o pH no solo do CC e TT se manter ou mesmo ser mais elevado seria a menor quantidade de liteira nova (especialmente na clareira de 1993) e/ou de qualidade química menor, que é produzida após a extração seletiva de madeira.

Nos centros das clareiras de 1987 e 1993, os valores de matéria orgânica foram muito próximos aos da parcela controle de 1993, principalmente na camada de 0-10 cm, em torno de 4,2 %. Em todos os perfis, a quantidade de matéria orgânica teve a tendência de diminuir com a profundidade nos perfis, num padrão idêntico ao observado por Chauvel (1982) para os Latossolos Amarelos argilosos da região, que encontrou um

valor mais elevado de MOS (5,0 %) e de todos os macro-nutrientes, exceto cálcio, na superfície do solo (0-10 cm) para a floresta primária. Estes solos foram por ele considerados como parte de uma unidade pedológica homogênea. A capacidade de troca iônica nos horizontes superficiais é grandemente dominada pela matéria orgânica, que chega a alcançar, em média, 82% da capacidade de troca catiônica total (Vieira & Santos, 1987). Os produtos de decomposição da matéria orgânica favorecem as interações com a matriz do solo, principalmente com as argilas; em solos ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica, estes produtos seriam especialmente importantes para a retenção de nutrientes (Anderson & Spencer, 1991). As camadas 0-10 cm da TT87 e da FR87 forneceram valores excepcionalmente mais elevados em relação aos outros tratamentos, mas isto não garante que a extração seletiva tenha causado essas diferenças, uma vez que não é possível notar tendências consistentes com a intensidade do impacto e a idade da extração seletiva, além disso a análise de variância não detectou diferenças significativas entre os tratamentos e os blocos.

As concentrações de fósforo assimilável no CC87 e FR87 diminuíram fortemente nas camadas de solo 0-10 e 10-20 cm no período seco, chegando a diferenças de mais de 100 % em relação ao período chuvoso. Na segunda amostragem, a análise estatística mostrou que não ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos e os blocos (exceto para o cálcio, entre os blocos), e os

coeficientes de correlação (r) calculados, com exceção para a TT93, indicam que o fósforo está associado à MOS. Os valores encontrados são muito baixos se comparados aos de outras regiões ou mesmo aos das várzeas amazônicas. Em trabalho feito na região de várzea próximo a Manaus, Ferreira *et al.* (1997) verificaram que a concentração mais baixa de fósforo assimilável, num solo com 12 % de argila, foi $9,2 \text{ mg/dm}^{-3}$. Comparando-se isto com os dados deste trabalho (2 mg/dm^{-3} na camada 0-10 cm), verifica-se que a terra firme dispõe de pouco fósforo assimilável para ser reciclado.

Todos os tratamentos apresentaram comportamento similar em relação ao potássio e magnésio, com os valores mais elevados nas camadas mais superficiais, indicando que possivelmente estes se originam da decomposição dos resíduos orgânicos. Com exceção do CC93, os outros tratamentos apresentaram correlação com a MOS. O aumento e a decomposição da matéria orgânica produzida pela extração seletiva de madeira em 1993 possivelmente foram responsáveis pelas concentrações mais altas de potássio (na TT e no CC de 1993) e de magnésio (TT93), nas medidas do período seco. Os tratamentos e os blocos amostrados não revelaram diferenças significativas, indicando que a extração seletiva não provocou alterações no perfil de solo até a profundidade de 60 cm. Comparando-se as mesmas classes de distúrbios (CC e TT) de 87 com as de 93, foi possível constatar teores mais altos de

K e Mg na parcela de exploração mais recente, principalmente para a camada 0-10 cm. Isto parece indicar um aumento de K e Mg disponíveis nas camadas superiores do solo, nos primeiros anos após a extração de madeira, seguido por uma redução posterior por lixiviação.

A forte diminuição nas concentrações de cálcio na clareira de 1987 pode estar relacionada à absorção pelas raízes de plantas pioneiras. O solo encontrava-se com cobertura de floresta secundária bem desenvolvida, e esta possivelmente esteja retirando mais o cálcio do solo (Lucas *et al.*, 1993) do que as árvores das áreas de floresta primária ou de capoeira ainda jovem. No CC e na TT de 1993 houve diminuição nas concentrações de cálcio, mas não tão elevadas como nas demais parcelas; possivelmente a decomposição da matéria orgânica deixada no local ainda esteja mantendo os níveis de cálcio mais elevados e esta talvez seja a razão para que houvesse diferença significativa entre os blocos. As concentrações de cálcio não apresentaram correlação com a MOS em todos os perfis amostrados.

Os teores de fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis no solo foram todos mais altos no período chuvoso do que no seco, podendo ser resultantes da decomposição da liteira, mais acelerada no período chuvoso. A reposição anual de cálcio pela queda de liteira fina na floresta intacta é da ordem de 36,7 kg/ha/ano, sendo, depois do N (151 kg/ha/ano), a mais elevada entre os nutrientes

essenciais (Luizão, 1989).

Entre os cátions trocáveis dos perfis de solo na FR e no CC de 1987 para o período chuvoso a ordem dos valores foi: Al > Ca > K > Mg; e para o período seco foi: Al > K > Mg > Ca. Observa-se que o cálcio, que é o segundo mais abundante no período chuvoso, passa para último no início do período seco, numa forte indicação de ciclagem de cálcio durante a estação chuvosa.

Comparando os valores médios dos elementos entre o CC com a FR, verifica-se que no CC foram, com exceção da do alumínio, mais elevados. Uma possível razão para isto seria a liberação de bases da madeira morta durante a extração seletiva, especialmente cálcio e magnésio, que ainda estejam indo para o solo. Confirmou-se que no período chuvoso os teores são mais elevados, possivelmente causados pela decomposição dos resíduos vegetais e o cálcio, dos nutrientes analisados, foi o que apresentou um fluxo mais intenso no solo. Mais uma vez, isto enfatiza o papel dos detritos vegetais acumulados nas clareiras durante a extração seletiva de madeira na ciclagem da matéria orgânica, nutrientes e, conseqüentemente, na regeneração natural da floresta. Assim, estes detritos vegetais não deveriam ser removidos dos locais onde se faz a extração seletiva de madeira.

CONCLUSÕES

As medidas de pH no solo confirmaram a forte acidez dos perfis e a tendência do pH aumentar com a

profundidade.

A extração seletiva de madeira não provocou mudanças evidentes nos teores de matéria orgânica e P assimilável nos tratamentos. Porém, as concentrações K, Ca, e Mg foram mais altas nas clareiras e trilhas de trator de 1993 (mais recentes), possivelmente devido ao acúmulo de madeira morta, ainda em decomposição, resultante da extração. No centro da clareira de 1987, onde não há restos de madeira, as concentrações de K, Ca e Mg na camada 0-10 cm do solo foram mais baixas do que nos demais tratamentos, reforçando evidências de que os restos de madeira deixados no local mantêm o estoque de nutrientes no solo, pelo menos por mais de 2 anos.

Adicionalmente, as concentrações de fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio e alumínio no solo foram mais altas no período chuvoso do que no período seco, indicando a decomposição dos resíduos de madeira como fonte principal dos nutrientes. O cálcio apareceu como o nutriente mais retirado do solo na área de clareira mais antiga.

Os detritos vegetais produzidos pela extração seletiva de madeira têm papel fundamental na manutenção dos teores de matéria orgânica e nutrientes no solo, devendo ser deixados nas clareiras onde são produzidos.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos aos colegas José Geraldo Martins dos Santos, João Augusto Dantas de Oliveira, William E.

Magnusson, Jonas de Oliveira Moraes, José Edivaldo Chaves e Sandoval do Nascimento Moraes, pelas valiosas colaborações.

Bibliografia citada

- Anderson, J. M.; Spencer, T. (1991). *Carbon, nutrient and water balances of tropical rain forest ecosystems subject to disturbance*. Paris, UNESCO. 95p.
- Brady, N. C. (1989). *Natureza e propriedade dos solos*. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo F^o. 7^a ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 878p.
- Camargo, M. N.; Rodrigues, P. E. (1979). *Guia de excursão*. XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Manaus. EMBRAPA, 72p.
- Chauvel, A. (1982). Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica*, 12(3): 47-60.
- Chauvel, A.; Vital, A. R. T.; Lucas, Y.; Desjardins, T.; Franken, W.; Luizão, F. J.; A-Araguás, L.; Rozanski, K.; Bedmar, A. P. (1992). O papel das raízes no ciclo hidrológico da floresta Amazônica. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. São Paulo. p. 29-37.
- Ferreira, S. J. F. (1999). *Ciclo hidrológico e de nutrientes em uma área de manejo florestal em floresta de terra firme na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 190p.
- Ferreira, S. J. F.; Reichardt, K.; Miranda, S. Á. F.; Muraoka, T. (1997). Estudo de características químicas de sedimentos e solos de dois lagos de várzea na Amazônia Central. *Anais do I Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária*. São Carlos. p. 240-249.
- Higuchi, N.; Vieira, G.; Minete, L.J.; Freitas, J.V.; Jardim, F.C.S. (1991). Sistema S. E. L. (Seleção de Espécies Listadas) para

- manejar a floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia. In: Val, A.L.; Figliuolo, R.; Feldberg, E. (Eds). *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia*: Vol 1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p. 197-206.
- Lucas, Y; Luizão, F. J.; Chauvel, A.; Rouiller, J.; Nahon, D. (1993). The relation between biological activity of the rain forest and the mineral composition of soils. *Science*, 260: 521-523.
- Luizão, F. J. (1989). Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19(4): 407-417.
- Luizão, F. J. (1995). *Ecological studies in contrasting forest types in Central Amazonia*. Tese de Doutorado, University of Stirling, Stirling, Escócia, 288p.
- Luizão, F.; Luizão, R.; Chauvel, A. (1992). Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage. *Cah. ORSTOM*, (Sér. Pédol.), 27(1): 69-79.
- Luizão, F. J.; Schubart, H. O. R. (1987). Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43(3): 259-265.
- Odum, E. P. (1988). *Ecologia*. Trad. por Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Guanabara. 434p.
- Raij, B. van; Quaggio, J. A.; Cantarella, H.; Ferreira, M. E.; Lopes, A. S.; Bataglia, O. C. (1987). *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill. 170p.
- Tomé Jr., J. B. (1997). *Manual para interpretação de análise do solo*. Guaíba, Rio Grande do Sul. Agropecuária. 247p.
- Vieira, L. S. & Santos, P. C. T. C. (1987). *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres. 416p.