

Formas de fósforo em Luvisso Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE¹

Phosphorus fractions in a Luvisso Crômico Órtico under agroforestry systems in the Sobral, Ceará, Brazil

Rafaella da Silva Nogueira^{2,*}, Teógenes Senna de Oliveira³, Eduardo de Sá Mendonça⁴ e

João Ambrósio Araújo Filho⁵

Resumo – Objetivamos avaliar as formas de fósforo em sistemas de manejo de solo agroflorestal e convencional para verificar a hipótese de que as mesmas sejam alteradas pelo manejo. Foram coletadas, em setembro de 2002, amostras de solo nas profundidades: 0-6; 6-12; 12-20 e 20-40 cm, na Fazenda Crioula, em experimento instalado desde 1997, pertencente ao CNPC-EMBRAPA, no município de Sobral-CE. A partir deste projeto foram selecionadas as seguintes áreas: Agrossilvipastoril (AGP), Silvopastoril (SILV), Tradicional 1998 (TR-98), Cultivo Intensivo em Pousio (CIP), Mata Nativa 1 (MN-1) e Mata Nativa 2 (MN-2). As amostras foram submetidas ao fracionamento de fósforo. Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, sendo os sistemas de cultivo definidos como a parcela e as quatro profundidades como subparcelas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições. O agrossilvipastoril apresentou a maior concentração de fósforo total. Este, juntamente com o silvipastoril foram os sistemas de manejo que apresentaram as melhores distribuições das frações inorgânicas e orgânicas de fósforo quando comparado as áreas de mata nativa. Em relação às áreas TR-98 e CI observou-se um elevado percentual na concentração do Pi (H⁺) e reduzida participação do Po (H⁺). Estes resultados indicam que a contribuição do reservatório orgânico de P tende a ser esgotado com a continuidade deste uso. Portanto, a partir do fracionamento de P, verificou-se que os sistemas agroflorestais favorecem o aporte de matéria orgânica e os estoques de Po, condicionando uma maior ciclagem deste nutriente no solo.

Palavras-chave - Manejo do solo. Fósforo disponível. Fracionamento. Conservação do solo.

Abstract – The objective of this study was to evaluate the soil phosphorus (P) fractions in Agroforestry and conventional systems in order to verify the hypothesis that the analyzed fractions are modified by the soil management. Soil samples were collected, in September of 2002, in the depths of 0-6; 6-12; 12-20 and 20-40 cm; by CNPC-EMBRAPA experiment installed, at Crioula Farm, in Sobral, Ceará, Brazil, since 1997. It were selected the following systems: Agrosilvopastoral (AGP), Silvopastoral (SILV), Traditional cultivated in 1998 (TR-98), Intensive cultivated (CI), Natural forest 1 (MN-1) and Natural forest 2 (MN-2). The phosphorus fractions were fractionated as described by Bowman (1989). The experimental design was complete randomized blocks in a split plot scheme with five replications. The treatments had been arranged in subdivided plots, being the definite systems of culture as the plot and the four depths as subplots. The Agrosilvopastoral presented the higher concentration of total phosphorus. The Agrosilvopastoral and Silvopastoral systems presented the best distributions in the inorganic and organic P fractions when compared with natural forest areas. In relation to the TR-98 and CI systems it was observed an elevated percentage of the Pi (H⁺) fraction and reduced of the participation fraction Po (H⁺). Results suggest that the organic soil P reservoir tends to be depleted with the continuity of this use. In the other hand it was verified that the agroforestry systems favor increases in the organic P fraction speks, conditioning the higher P cycling in the soil.

Key words - Soil management. Phosphorus-liability. Fractioning. Soil conservation.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 12/09/2007; aprovado em 24/07/2008

Pesquisa desenvolvida no Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC, com apoio do CNPq

²Eng. Agrônoma, aluna de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, CCA/UFC, Rua, Padre Antonino, 651, Piedade, CEP: 60.110.480, Fortaleza-CE, rafaellanogueira@yahoo.com.br

³Eng. Agrônomo, Dr., bolsista do CNPq, Prof. do Dep. de Ciências do Solo, CCA/UFC, teo@ufc.br

⁴Eng. Agrônomo, Dr., bolsista do CNPq, Prof. do Dep. de Solos, UFV, esm@ufv.br

⁵Eng. Agrônomo, Ph. D., pesquisador da Embrapa Caprinos, CNPC, ambrosio@cnpic.embrapa.br

Introdução

No Nordeste brasileiro as regiões semi-áridas apresentam agricultura desenvolvida a partir de desmatamento indiscriminado, queimadas, períodos de pousio inadequados e intensa extração de lenha e madeira. Essa região configura-se em um ambiente extremamente frágil (MAIA et al., 2004), tornando-se necessária a aplicação de um sistema de manejo eficiente para manter o equilíbrio e a sustentabilidade de fósforo e outros nutrientes.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem-se em alternativas de uso da terra que consorciavam culturas agrícolas ou pastagens com espécies florestais (MAY, 2006). Segundo Aguiar (2006), os SAFs contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis, podendo amenizar as adversidades encontradas pela agropecuária, sobretudo nas regiões semi-áridas. Os sistemas de cultivos agroflorestais podem gerar níveis cada vez mais elevados de produtividade sustentada para satisfazer as necessidades das populações crescentes (OURIQUES et al., 2006). Apesar de todos os benefícios, os SAFs tem sido pouco difundidos no Nordeste brasileiro (MAIA et al., 2004).

A maioria dos solos brasileiros é deficiente em fósforo (P), razão pela qual se obtêm grandes acréscimos de produção com a aplicação de adubos fosfatados (GALVANI et al., 2004). Contudo, a adubação pesada de P é inviável para a região semi-árida, havendo necessidade de práticas de manejo que otimizem o uso do P nativo do solo (ARAÚJO et al., 2004).

A disponibilidade de P no solo é influenciada pelos fenômenos de adsorção, precipitação do fósforo inorgânico (Pi) e mineralização do fósforo orgânico (Po) (DUDA, 2000). O grau de intemperismo também pode modificar os teores de P disponível, pois o aumento deste ocasionará uma elevação no caráter-dreno-P no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Em sistemas com aporte constante de resíduos orgânicos, o reservatório orgânico de P pode ser maior que a fração inorgânica (ANDRADE et al., 2004). Segundo Cunha et al. (2007), a caracterização do Po é de fundamental importância na compreensão do ciclo de fósforo em solos com avançado estágio de intemperismo.

De acordo com Novais e Smyth (1999), o acúmulo de matéria orgânica no solo favorece a mineralização lenta do Po, garantindo assim o suprimento deste nutriente. Neste sentido, Souza et al. (2007), avaliando as formas de fósforo, verificaram que a calagem e a adubação orgânica promovem incrementos em todas as formas de fósforo. Vários trabalhos que visam compreender a dinâmica do P têm demonstrado a influência de diferentes práticas de

manejo sobre as formas de fósforo no solo (TOKURA et al., 2002; RHEINHEIMER et al., 2003; HENRIQUEZ; KILLORN, 2005; SOUZA et al., 2006; GATIBONI et al., 2007). Logo, o uso de métodos que determinem os compartimentos de P auxiliam nas recomendações técnicas para o manejo mais adequado deste nutriente no solo.

Segundo Novais e Smith (1999), existem vários métodos de extração sequencial de P, dentre estes, o método proposto por Bowman (1989) é utilizado para obtenção dos reservatórios de P no solo, sendo muito vantajoso e eficiente, pois permite a separação de P em duas frações: solúvel em meio ácido e alcalino. Conforme Novais e Smith (1999), as alterações dessas formas de P com o manejo, ao longo dos cultivos estão sendo estudadas para avaliar a sustentabilidade da produtividade agrícola nos sistemas.

O presente trabalho objetivou avaliar as formas de fósforo em sistemas de manejo de solo agroflorestal e convencional para verificar as hipóteses de que as mesmas são alteradas pelo manejo.

Material e métodos

Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-6; 6-12; 12-20 e 20-40 cm, em setembro de 2002 na área experimental localizada na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da EMBRAPA, Sobral-CE. A Fazenda encontra-se no semi-árido cearense a 3° 41'S e 40° 20'W, com altitude de 69 m. A temperatura média anual é de 30 °C e a precipitação média anual de 798 mm.

As características químicas e físicas do Luvisolo Crômico Órtico (Tabela 1), solo dominante na região, foram determinadas por MAIA et al. (2004). Este caracteriza-se, segundo a SUDENE (1973), por apresentar horizonte B textura, argila de alta atividade, baixa ou nula quantidade de alumínio trocável e alta fertilidade natural. Em contraposição, são susceptíveis à erosão apresentando freqüentemente pedregosidade superficial.

O experimento avaliado possui os seguintes tratamentos:

- Agrossilvipastoril (AGP): tratamento que adotou o cultivo em aléias, este visando o estabelecimento das culturas a área (1,6 ha) teve a sua vegetação natural raleada, preservando uma cobertura vegetal arbórea nativa de 22%, ou seja, 200 árvores/ha. O material lenhoso restante foi enleirado de forma perpendicular ao declive predominante na área. O restolho folhoso foi deixado sobre o solo. Durante o período chuvoso, a parte aérea da leucena foi cortada e a massa verde

incorporada ao solo. No período seco, a parcela foi utilizada como banco de proteínas.

- Silvopastoril (SILV): área de 4,8 ha submetida ao processo de raleamento, preservando-se 260 árvores, 38% da cobertura. O restolho lenhoso e folhoso produzido pelo raleamento foram deixados sobre o solo. No período seco foram depositadas anualmente folhas caídas das árvores

e esterco de ovino. Esta área também foi utilizada como pastagem de manutenção do rebanho de 20 matrizes ovinas.

- Agrossilvipastoril Tradicional – 1998 (TR-98): área de 0,8 ha submetida ao desmatamento, que produziu restolhos lenhoso e folhoso que foram queimados no ano de 1997. A parcela foi cultivada com milho em 1998 e 1999 para em seguida ser deixada em pousio. A partir de

Tabela 1 - Características químicas e físicas das amostras de um Luvissole Crômico Órtico, nas camadas 0-6; 6-12; 12-20; 20-40 e 0-40 cm, nos diferentes sistemas agroflorestais e convencional, Sobral-CE

Trat ¹ .	Prof ² . cm	A.G ³ g dm ⁻³	A.F ⁴ g dm ⁻³	Silte g dm ⁻³	Argila g dm ⁻³	pH KCl	Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Na ⁺ cmol _c dm ⁻³	COT ⁵ g dm ⁻³
AGP	0-6	388,6	494,5	407,7	149,9	6,40	20,81	4,46	0,20	22,3
	6-12	396,9	581,9	469,3	229,5	5,73	21,95	4,02	0,19	14,4
	12-20	426,2	587,4	444,7	239,0	5,26	22,82	4,53	0,22	11,5
	20-40	478,5	656,3	342,5	106,6	4,63	21,83	4,26	0,20	8,8
SILV	0-6	716,6	297,1	316,7	110,0	5,96	11,30	2,67	0,10	34,8
	6-12	832,7	320,2	375,7	143,1	5,46	6,40	2,48	0,08	17,2
	12-20	799,9	393,2	434,8	161,5	5,10	4,27	3,47	0,06	14,7
	20-40	697,0	356,6	398,4	333,9	4,70	3,25	3,41	0,07	12,8
TR-98	0-6	557,3	480,6	334,9	148,1	6,23	15,39	4,22	0,15	23,5
	6-12	564,0	520,0	399,4	280,4	5,60	16,86	5,16	0,18	18,2
	12-20	481,9	516,3	429,1	339,3	5,13	16,11	7,30	0,19	13,5
	20-40	470,6	452,8	418,0	337,1	4,83	19,23	5,44	0,24	11,2
CI	0-6	554,1	489,5	316,9	134,4	6,00	13,54	2,82	0,12	21,6
	6-12	529,6	528,9	385,1	208,2	5,73	13,80	2,92	0,14	13,1
	12-20	491,7	507,0	371,7	295,0	5,50	14,95	3,97	0,15	10,7
	20-40	513,5	475,1	444,5	279,2	5,13	15,48	4,92	0,21	7,4
MN-1	0-6	583,9	297,7	345,7	183,8	6,16	22,02	6,71	0,17	36,2
	6-12	555,9	382,7	428,3	283,7	5,66	22,20	7,67	0,19	20,7
	12-20	481,0	397,5	470,5	351,3	5,23	22,51	10,67	0,23	17,7
	20-40	476,4	443,1	504,9	279,2	4,70	21,65	13,54	0,22	12,6
MN-2	0-6	733,5	476,6	249,2	97,9	5,63	10,85	2,94	0,09	27,2
	6-12	780,8	484,5	295,3	111,4	5,16	8,03	2,90	0,12	14,9
	12-20	761,5	530,2	348,3	163,0	4,80	9,38	3,09	0,13	10,5
	20-40	837,2	493,4	394,8	185,9	4,43	12,68	4,19	0,16	6,7

AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR-98: cultivo tradicional 1998, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2. Trat: tratamento. 2. Prof: profundidade. 3. A. G.: areia grossa. 4. A. F.: areia fina. 5. COT: carbono orgânico total

2000 houve adição de matéria seca, originada através das folhas das rebrotações e do estrato herbáceo. No período seco, a forragem e os resíduos culturais da área cultivada foram usados para a suplementação alimentar de um rebanho de 10 matrizes ovinas.

- Cultivo intensivo (CI): parcela de 1,0 ha desmatada e queimada em 1997 e cultivada com milho de 1998 a 2002. A capina do estrato herbáceo referente a palhada de milho era deixada sobre o solo.
- Mata nativa-1 (MN-1): área de 3,5 ha considerada como testemunha, porém utilizada no período seco como piquete de manutenção dos animais e também como fonte madeireira. Nesta área existe uma deposição anual de folhas de árvores sobre o solo e retirada anual devido o pastejo.
- Mata nativa-2 (MN-2): área de caatinga nativa com aproximadamente 3,5 ha considerada como testemunha, sobretudo para o tratamento cultivo intensivo, porém utilizada, no período seco como piquete de manutenção dos animais e também como fonte madeireira. Esta área sofreu retirada de madeira à aproximadamente 15 anos, sem que se saiba qual a intensidade desta intervenção.

O fracionamento de fósforo foi obtido a partir do princípio proposto por Bowman (1989). O fósforo inorgânico solúvel em meio ácido ($P_i(H^+)$) foi extraído com 2 mL de H_2SO_4 concentrado. Em seguida, foram adicionados 25 mL de NaOH 0,5M ao resíduo, sendo agitado por duas horas e centrifugado por 15 minutos a 4500 rpm para obtenção do P_i solúvel em meio básico ($P_i(OH^-)$). O fósforo total solúvel em meio ácido ($P_t(H^+)$) foi obtido a partir de uma alíquota de 3 mL do extrato ácido ($P_i(H^+)$), sendo submetida à digestão perclórica ($HClO_4$) e depois solubilizada com HCl 0,5M. Para obter-se o fósforo total solúvel em meio básico ($P_t(OH^-)$) utilizou-se uma alíquota de 5 mL do extrato básico do fósforo inorgânico (P_i), no qual foi submetida ao mesmo processo descrito anteriormente. O fósforo orgânico (P_o) solúvel em meio ácido ($P_o(H^+)$) e fósforo orgânico (P_o) solúvel em meio básico ($P_o(OH^-)$) foram obtidos por diferença entre o P -total e P_i . O fósforo contido nos extratos foi quantificado de acordo com a metodologia proposta por Murphy e Riley (1962). A determinação do fósforo foi obtida com fotolorímetro no comprimento de onda de 680 nm.

Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, sendo os sistemas de cultivo definidos como a parcela e as quatro profundidades como subparcelas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAEG (Sistema de Análise Estatística e Genética).

Resultados e discussão

Há o predomínio do fósforo extraído em meio ácido (Tabela 2) quando comparado à fração obtida em meio alcalino. De acordo com Novais e Smith (1999), a extração de P em meio ácido solubiliza formas ligadas a P-Ca. Esses resultados podem estar associados à composição mineralógica desse solo, pois, segundo Mota (1997), entre os minerais primários predominantes nos Luvisolos dessa região encontram-se horblenda, feldspatos e biotita.

A fração de $P_t(H^+)$ apresentou maior concentração na camada superficial decrescendo com a profundidade. Vione et al. (1997) determinaram o P por ataque sulfúrico e encontraram resultados com comportamento semelhante, assim como Tokura et al. (2002), que empregou o método proposto por Hedley. Esses resultados são atribuídos à biociclagem proporcionada pelas plantas, onde o fósforo é absorvido nas camadas mais profundas pelas raízes e depositado na superfície pelos resíduos vegetais (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; ARAÚJO et al., 2004; COSTA et al., 2002).

O conteúdo de $P_t(H^+)$ apresentou variação de 69,9 até 414,5 $mg\ kg^{-1}$ de solo com um valor médio de 141 $mg\ kg^{-1}$ de solo. O tratamento AGP destacou-se significativamente com teor médio de 414,5 $mg\ kg^{-1}$ de $P_t(H^+)$, representando um incremento de 166,5 $mg\ kg^{-1}$ (67%), em relação à área de Mata Nativa 1 (MN-1). O SILV e o TR-98 apresentaram teores médios de 153,3 $mg\ kg^{-1}$ e 146,8 $mg\ kg^{-1}$, porém quando comparados a MN-1 tiveram seu teores reduzidos em 94,4 $mg\ kg^{-1}$ (38%) e 100,9 $mg\ kg^{-1}$ (41%), respectivamente. O menor teor desta fração foi verificado no CI (69,9 $mg\ kg^{-1}$) que apesar de não ter diferido da MN-2 (120,0 $mg\ kg^{-1}$) teve seus teores reduzidos em 50,1 $mg\ kg^{-1}$. Assim, a área cultivada intensivamente quando comparada a MN-2 proporcionou uma diminuição de 42% no acúmulo de fósforo total ácido ($P_t(H^+)$).

A maior concentração do $P_t(H^+)$ no tratamento AGP pode ser atribuída ao sistema de manejo desta área. Por outro lado, o pouco aporte de matéria orgânica juntamente ao manejo intensivo favorece a menor concentração de $P_t(H^+)$ no CI. Segundo Vione et al. (1997), o fósforo total presente no solo depende do material de origem, do grau de intemperismo e do manejo da cultura e do solo.

A distribuição percentual das frações orgânicas e inorgânicas, em relação ao $P_t(H^+)$ apresentou o predomínio do P inorgânico, sendo responsável, em média, por 57% do P total (Figura 1). De acordo com Condon et al. (1990), este comportamento é encontrado em solos tropicais geneticamente evoluídos. Assim, verifica-se que o solo estudado encontra-se em estágio inicial de intemperização, o que torna necessário um manejo adequado a fim de manter a fração orgânica deste solo.

Tabela 2 - Concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) solúvel em meio ácido (H⁺)

Variável (mg kg ⁻¹)	Prof (cm)	Tratamentos					
		AGP	SILV	TR-98	CI	MN-1	MN-2
Pt (H ⁺)	0-6	461,5	172,3	164,7	96,9	295,8	149,1
	6-12	407,2	151,4	157,7	62,8	265,9	111,2
	12-20	398,5	147,8	139,3	61,0	243,3	112,3
	20-40	390,9	141,5	125,5	58,8	185,7	107,4
	Média	0-40	414,5a	53,3bcd	146,8cd	69,9d	247,7b
CV (%)		37,0	15,3	17,1	27,3	17,6	31,2
Pi (H ⁺)	0-6	308,3	112,1	114,8	78,9	176,0	98,6
	6-12	272,3	91,6	108,4	47,5	153,9	70,5
	12-20	271,7	89,3	96,4	46,4	143,0	70,5
	20-40	265,3	85,9	82,8	45,9	122,3	70,4
	Média	0-40	279,4a	94,7bc	100,6bc	54,7cd	148,8b
CV (%)		35,2	12,3	18,5	27,9	22,8	33,6
Po (H ⁺)	0-6	153,2bA	60,3cA	49,9c A	18,0cA	119,8bA	50,4cA
	6-12	134,9bA	59,8cA	49,3cA	15,3cA	112,0bA	40,7cA
	12-20	126,9aA	58,5bcA	42,8cA	14,7cA	100,3abAB	41,8cA
	20-40	125,6aA	55,6bcA	42,6bcA	12,9cA	63,4bB	37,0bcA
	Média	0-40	135,1a	58,6c	46,2c	15,2d	98,9b
CV (%)		34,3	16,4	16,1	26,6	29,6	20,3

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR-98: tradicional de 1998, CIP: cultivo intensivo em posio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2

A maior participação percentual do fósforo inorgânico no P total foi observada no tratamento CI com 78%, sendo seguido pelos seguintes tratamentos: TR-98 (68%), AGP (67%), MN-2 (65%), SIL (62%) e MN-1 (60%). Sistemas cultivados intensivamente e submetidos ao desmatamento juntamente com a queima da vegetação promovem aumentos nos teores de fósforo disponíveis através da mineralização do fósforo orgânico.

Os teores de Pi (H⁺) referentes ao AGP, extraídos com H₂SO₄ concentrado, foram superiores a

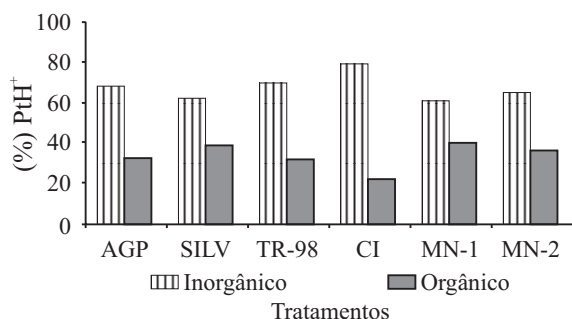


Figura 1 - Distribuição percentual do fósforo total solúvel em ácido (Pt H⁺) nas frações orgânicas e inorgânicas nos sistemas estudados

todas as áreas, sendo observado aumento desta fração em 130,6 mg kg⁻¹ de solo (87,8%) quando comparado a MN-1. Os tratamentos SILV e TR-98 não diferiram entre si, porém foi verificada redução em relação à MN-1 de 36,4 e 32,4%, respectivamente. A área de CI não diferiu do tratamento MN-2, entretanto obteve os menores teores de Pi (H⁺), reduzidos em 63,2 e 24,4% respectivamente, em relação às áreas de MN-1 e MN-2 (Tabela 2).

A maior concentração de Pi (H⁺) na área AGP pode ser explicada pelas práticas adotadas nos SAFs, pois de acordo com Ribaski et al. (2002), esses sistemas favorecem a ciclagem de nutrientes. Neste sentido, Peneireiro (1999) ressalta que os elevados teores de fósforo disponíveis nos sistemas agroflorestais são resultantes da poda dos indivíduos arbóreos que estimulam o bombeamento de nutrientes de maneira intensiva pelas raízes e de uma maior atuação da biota do solo, em função do incremento periódico da matéria orgânica. Lehmann et al. (2001) também demonstraram que árvores submetidas periodicamente à poda proporcionam maiores retornos de nutrientes. Os resultados indicam que este sistema está promovendo maior ciclagem de fósforo no solo.

O reservatório orgânico de fósforo constitui uma importante reserva de P lábil para as plantas (MUZILLI,

2002; ALMEIDA et al., 2003; GALVANI et al., 2004). Desta forma, o Po pode garantir o suprimento gradual deste nutriente para as plantas. Esta fração apresentou diferença tanto entre os tratamentos quanto em profundidade (Tabela 2).

Os tratamentos AGP e MN-1 apresentaram os maiores teores de Po (H^+), 135,1 e 98,9 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente, quando comparados às demais áreas. Desta forma, o AGP aumentou seus teores em 36,2 $mg\ kg^{-1}$ (37%) em relação à MN-1. Porém, as áreas SILV e TR-98 apresentaram 58,6 e 46,2 $mg\ kg^{-1}$ de solo, no qual foram reduzidos em 40,3 $mg\ kg^{-1}$ (41%) e 52,7 $mg\ kg^{-1}$ (53%), respectivamente, comparativamente a MN-1. O tratamento CI, embora não tenha diferido da MN-2, apresentou o menor teor (15,2 $mg\ kg^{-1}$). Tomando-se como referência as áreas de MN-1 (98,9 $mg\ kg^{-1}$) e MN-2 (42,5 $mg\ kg^{-1}$), verificou-se uma diminuição de 83,7 $mg\ kg^{-1}$ (85%) e 27,3 $mg\ kg^{-1}$ (64%), respectivamente.

Nas camadas de 0-6 e 6-12 cm os tratamentos AGP e MN-1 não diferiram estatisticamente entre si, porém apresentaram teores de Po (H^+) significativamente superiores às demais áreas. Na camada de 12-20 cm o AGP destacou-se com 126,9 $mg\ kg^{-1}$ sendo seguido pela MN-1 com 100,3 $mg\ kg^{-1}$. Comportamento semelhante foi obtido na camada de 20-40 cm, onde o AGP e a MN-1 apresentaram respectivamente, 125,6 e 63,4 $mg\ kg^{-1}$.

Esses resultados demonstraram que a área AGP está mantendo de maneira eficiente e equilibrada esse reservatório, quando comparada à MN-1. Por outro lado, não foram observadas diferenças entre o CI e a MN-2, o que pode ser atribuído ao período de pousio (aproximadamente cinco meses) que estava sendo submetido à área de CI no momento da coleta das amostras de solo (setembro de 2002), pois o crescimento espontâneo de gramíneas pode ter favorecido a manutenção da matéria orgânica no solo e por conseguinte o aporte de P orgânico lábil nessa área.

Apesar de ser bastante demonstrado por Duda (2000) Conte et al. (2002) e por Andrade et al. (2004) que o acúmulo de Po está relacionado com o C total, não foi possível obter essa correlação neste estudo.

Tokura et al. (2002), estudando as formas de fósforo, verificaram que em Latossolo Vermelho distroférrico e na camada de 0-5 cm, o Po apresentou em média teores de 117,1 $mg\ kg^{-1}$ em uma área nunca cultivada, enquanto que 81,2 $mg\ kg^{-1}$ foram observados em uma área cultivada por 11 anos com plantio direto. Por outro lado, Cunha et al. (2007), encontraram teores de 160 $mg\ kg^{-1}$ em solos sob florestas e 69,8 $mg\ kg^{-1}$ em áreas de pastagem.

Analisando a participação percentual do Po (H^+) em relação ao Pt (H^+), observou-se que os tratamentos MN-1, SILV, MN-2 e AGP destacaram-se com participações de 40; 38; 35 e 33%, respectivamente. Desta forma, verifica-se que os tratamentos SILV e AGP estão mantendo de

maneira eficiente o reservatório orgânico de P quando comparado às áreas de Mata Nativa. Os tratamentos TR-98 e CI apresentaram participação apenas de 31 e 22% respectivamente, indicando que as áreas convencionais tendem a proporcionar uma redução no compartimento orgânico de P.

O aporte contínuo na área SILV proveniente dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, juntamente com a ausência do revolvimento no solo, justificam este resultado, enquanto que no tratamento AGP, a maior concentração de Po pode ser atribuída à elevada diversidade do material orgânico. Apesar dessa área ter apresentado uma redução nos teores de COT, as variáveis indicadoras da atividade biológica, determinadas por Maia et al. (2004), apontam para o estabelecimento de um novo estágio de equilíbrio no solo. Logo, a população microbiana encontra-se em crescimento, o que, provavelmente, também favoreceu o acúmulo de Po nesse tratamento. Por outro lado, a redução do reservatório orgânico de P nos sistemas cultivados intensivamente deve-se principalmente, a não manutenção da matéria orgânica nesse solo.

Nos sistemas convencionais, a contribuição do reservatório orgânico de P tende a ser esgotada, aumentando a dependência de insumos externos para manter-se produtivo e a não sustentabilidade do ambiente, pois todo o reservatório orgânico de P está sendo mineralizado para suprir as necessidades da planta. Em seu trabalho, Cunha et al. (2007) observaram que o Po representou de 14,6 a 36,9% do Pt, sendo que nos solos sob pastagem houve uma menor participação do Po quando comparado aos solos sob floresta natural. Segundo Novais e Smyth (1999), a maior ciclagem de carbono e de nutrientes proporcionam um maior acúmulo de P na forma orgânica em comparação a outras áreas cultivadas, pois parte do fósforo ciclado nas florestas permanece protegida na forma de compostos orgânicos.

Verificou-se ser muito baixas as concentrações de fósforo total solúvel em meio básico Pt (OH^-), principalmente nos tratamentos SILV e TR-98, pois não foi possível a determinação do fósforo (Tabela 3). A forma de fósforo ligada a Al não foi possível de ser detectada no estudo desenvolvido por Ranno et al. (2005). Esses autores ressaltam que a baixa concentração dessa fração de fósforo associada à pouca sensibilidade do método utilizado podem ter contribuído para a não detecção desta forma de fósforo.

Segundo Novais e Smyth (1999), o fósforo solúvel em meio alcalino é composto por formas de fósforo ligadas a Al e Fe, logo, o baixo conteúdo de P extraído com NaOH é justificado a partir do tipo de solo da região (Luvisolo Crômico Órtico), caracterizado por apresentar baixa ou nula quantidade de alumínio.

Os teores de fósforo total básico (Pt (OH⁻)) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 3), provavelmente devido ao elevado coeficiente de variação (46,2%). Porém, verificou-se que as médias dos teores referentes a esta fração nos tratamentos MN-2, AGP e MN-1 foram inferiores aos dados referentes à área de CI em 22; 64 e 75%, respectivamente. Otutumi (2003) empregou o mesmo método e também encontrou nos sistemas convencionais o predomínio dessa fração, em relação aos sistemas agroflorestais, indicando a possibilidade dos sistemas cultivados intensivamente promoverem uma maior concentração de formas mais estáveis de P no solo. Os valores de Pt (OH⁻) referentes à área de AGP foram superiores em todas as profundidades em relação ao tratamento MN-1, podendo ser explicado pelo revolvimento a que foi submetida a camada superficial do solo, ocasionando assim, formas mais estáveis de P, o que levou à redução na taxa de ciclagem desse nutriente.

O Pi representou para as áreas de MN-1, MN-2, AGP e CI cerca de 89; 73; 49 e 37% do fósforo total, respectivamente, havendo maior participação do Pi, em relação ao Pt nas áreas mantidas como testemunhas. Porém, o tratamento AGP destacou-se em relação à área de CI em 12%. Comportamento semelhante foi obtido por

Ribeiro et al. (2004) quando comparou diferentes sistemas de preparo do solo em Pacajus-CE. O maior valor da relação Po (OH⁻)/Pt (OH⁻) foi observado no tratamento CI (63%), enquanto que as áreas AGP, MN-2 e MN-1 foram compostas por 51; 27 e 11%, respectivamente. Essa fração é altamente resistente à mineralização, porém Zhenga et al. (2002) demonstraram que, em sistemas rotacionados, o Po extraído com NaOH agiu no subsolo com fonte mais lábil de P, quando comparado aos sistemas convencionais.

A adoção de práticas que degradem a matéria orgânica do solo proporciona um aumento na fixação das formas mais lábeis de P, devido os sítios específicos de adsorção presentes nos componentes minerais da argila (NÚÑEZ et al., 2003). De acordo com Duda (2000) o fósforo orgânico solúvel em meio básico contém formas de P altamente resistentes, assim, é de suma importância o conhecimento desse compartimento, não apenas pela sua disponibilidade, mas pelo tamanho do reservatório que é composta por essa fração.

De modo geral, o coeficiente de correlação de 0,90 entre o Pt e o Po indica que o acúmulo de Po, independente do sistema de manejo adotado, pode ser influenciado pelo Pt presente no solo. Neste sentido,

Tabela 3 - Concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) solúvel em meio básico

Variável (mg kg ⁻¹)	Prof (cm)	Tratamentos			
		AGP	CI	MN-1	MN-2
Pt (OH ⁻)	0-6	8,1	25,7	7,2	23,6
	6-12	7,8	22,7	7,5	15,5
	12-20	7,7	22,2	6,4	15,3
	20-40	7,5	15,6	0,0	13,4
Média	0-40	7,8	21,6	5,3	16,9
CV (%)		46,8	47,3	44,9	45,7
Pi (OH ⁻)	0-6	4,0	10,4	6,0	19,9
	6-12	3,9	10,2	6,6	12,2
	12-20	3,8	9,2	6,3	11,4
	20-40	3,5	4,6	0,0	11,3
Média	0-40	3,8	8,6	4,7	13,7
CV (%)		27,4	26,2	25,3	26,1
Po (OH ⁻)	0-6	4,1	15,3	1,2	3,6
	6-12	3,9	12,5	0,9	3,3
	12-20	3,9	13,0	0,1	3,9
	20-40	4,0	11,0	0,0	2,1
Média	0-40	4,0ab	13,0a	0,5b	3,2b
CV (%)		26,1	24,2	23,4	23,9

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a o nível de 5% de probabilidade. AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR98: tradicional 1998, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2

Rocha et al. (2005), estudando os solos da ilha de Fernando de Noronha, encontraram uma correlação de 0,73 entre o fósforo total e o fósforo orgânico. Por outro lado, Cunha et al. (2007) verificaram em seus estudos uma correlação positiva entre os teores de Po total e o carbono orgânico do solo.

Conclusão

1. A forma de fósforo inorgânico ligado ao cálcio apresentou a maior contribuição para o Pt no solo.
2. Os sistemas de cultivo convencionais promoveram incrementos nas formas mais resistentes de fósforo.
3. O aporte e a manutenção de matéria orgânica nos sistemas agroflorestais proporcionaram uma maior concentração de fósforo no solo, além disso, estes sistemas favoreceram a ciclagem deste elemento através do reservatório de fósforo orgânico no solo.

Referências

AGUIAR, M. I. **Perdas de sedimentos, água e nutrientes por erosão hídrica em um Luvisolo sob sistemas agroflorestais no semi-árido nordestino**. 2006. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basaltos do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 985-1002, 2003.

ANDRADE, F. V. et al. Dinâmica das formas de P em solo sob agricultura biodinâmica. In. OLIVEIRA, T. S. et al. (Eds.). **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Viçosa-MG: Editora, 2004. p. 58-75.

ARAÚJO, M. S. B. et al. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 259-268, 2004.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 362-366, 1989.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife: DNPEA - MA, 1973. v. 01, p. 301. (Boletim técnico, 28).

CONDON, L. M. et al. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 1261-1266, 1990.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, S. D. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 925-930, 2002.

COSTA, R. B.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. Sistemas agrossilvipastoris como alternativa sustentável para agricultura familiar. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 03, n. 05, p. 25-32, 2002.

CUNHA, G. M. et al. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 667-672, 2007.

DUDA, G. P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos**. 2000. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GALVANI, R. et al. **Fracionamento de fósforo inorgânico no solo em função de fontes de fósforo na soja cultivada em semeadura direta**. In. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2004, Lages. Anais, Viçosa, SBCS, 2004.

GATIBONI, L. C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

HENRIQUEZ, C.; KILLORN, R. Soil P forms and P uptake under intensive plant growth in the greenhouse. **Agronomía Costarricense**, v. 29, p. 83-97, 2005.

LEHMANN, J. et al. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrat agroforestry system. **Agroforestry Systems**, v. 53, p. 113-124, 2001.

MAIA, S. M. F. et al. Sistemas agroflorestais no trópico semi-árido cearense. In. OLIVEIRA, T. S. et al. (Eds.). **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Viçosa-MG: Folha de Viçosa, 2004. p. 105-131.

MAY, P. H. Políticas públicas e financiamento para o desenvolvimento agroflorestal no Brasil. In. VILCAHUAMÁN, L. J. M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A. M. B. (Eds.). **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: perspectivas, análises e tendências**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2006. p. 167-186.

MOTA, F. O. B. **Mineralogia de solos da região semi-árida do estado do Ceará**. 1997. 205 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade de São Paulo, São Paulo.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

MUZZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no estado do Paraná. **Informações Agrônomicas**, n. 100, 2002.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, 1999. 399 p.

NÚÑEZ, J. E. V.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**, v. 62, n. 01, p. 101-109, 2003.

- OTUTUMI, A. T. **Qualidade do solo em sistemas de cultivo agroecológicos, no município de Taúa**. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- OURIQUES, M. et al. Seqüestro de carbono de um sistema agroflorestal com bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) na região metropolitana de Curitiba-PR. In. VILCAHUAMÁN, L. J. M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A. M. B. (Eds.). **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2006. p. 107-119.
- RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; MALLMANN, F. J. K. Fracionamento do fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 01, p. 47-54, 2007.
- PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo ao acaso**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, T. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 01, p. 151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D. S.; CONTE, E.; ANGHINONI, I. Formas de acumulação de fósforo pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 893-900, 2003.
- RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. **Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos**. 2002. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/TrabRibaski.htm>> Acesso em: 27. jan. 2007.
- RIBEIRO, K. A. et al. Manejo do solo na cultura do cajueiro anão precoce no município de Pacajus-CE. In. OLIVEIRA, T. S. et al. (eds) **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Viçosa-MG: Folha de Viçosa, 2004. p. 105-131.
- ROCHA, A. T. et al. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 09, n. 02, p. 178-184, 2005.
- SOUZA, R. F. et al. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 975-983, 2006.
- SOUZA, R. F. et al. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 1535-1544, 2007.
- TOKURA, A. M. et al. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.
- VIONE, E. L. R. et al. Fracionamento de fósforo em solos sob plantio direto. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1997.
- ZHENG, Z. et al. Pathways of soil phosphorus transformations after 8 years of cultivation under contrasting cropping practices. **Soil Science Society of America**, v. 66, p. 999-1007, 2002.