

Frações de Fósforo do Solo Sob Diferentes Plantios de Cacau no Sul do Estado da Bahia⁽¹⁾.

Antônio Carlos Gama-Rodrigues⁽²⁾; Seldon Aleixo⁽³⁾; Francisco Costa Zaia⁽⁴⁾; Marlon Gomes da Costa⁽⁵⁾; Emanuela Forestieri Gama-Rodrigues⁽⁶⁾; José Raimundo Bonadie Marques⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ

⁽²⁾ Professor Titular do Laboratório de Solos/CCTA/Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF; Av. Alberto Lamego, 2000, Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes RJ, CEP: 28013-602; tonygama@uenf.br;

⁽³⁾ Mestrando em Produção Vegetal – Bolsista FAPERJ; LSOL/CCTA/UENF; seldon_aleixo@mail.com; ⁽⁴⁾ Pós-doutorando do LSOL/CCTA/UENF – Bolsista FAPERJ; zaia@uenf.br; ⁽⁵⁾ Doutorando em Produção Vegetal – Bolsista FAPERJ/UENF; LSOL/CCTA/UENF; marlongc25@yahoo.com.br; ⁽⁶⁾ Professora Associada do LSOL/CCTA/UENF; emanuela@uenf.br; ⁽⁷⁾ Pesquisador do Laboratório de Melhoramento de Plantas/CEPLAC/CEPEC, Km 22, Rodovia Ilheus, Itabuna, BA; bonadie@ceplac.gov.br.

RESUMO: Os solos apresentam variações na distribuição e concentração das frações de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) de acordo com a cobertura vegetal e sistema de plantio. O objetivo desse trabalho foi avaliar a distribuição das frações de fósforo inorgânico e orgânico em sistemas agroflorestais de cacau no sul do Estado da Bahia através da metodologia de fracionamento de fósforo proposto por Hedley et al. (1982). Os resultados demonstraram que a cobertura de seringueira pode contribuir positivamente na acumulação de fósforo para o sistema de consórcio com cacau, e que as frações Po predominam amplamente sobre as frações Pi em todas as coberturas amostradas. As frações Po-NaHCO₃ e Po-NaOH apresentaram correlação positiva e significativa com Pi-resina e o Pi-NaHCO₃, respectivamente, indicando a maior labilidade destas frações.

Termos de indexação: Fracionamento de fósforo, Sistemas agroflorestais, Fósforo orgânico.

INTRODUÇÃO

O fósforo encontra-se nos solos sob duas formas principais, inorgânicas (Pi) e orgânicas (Po), que de acordo com seu grau de estabilidade ou solubilidade, apresentam diferentes disponibilidades de absorção pelas plantas. O Pi pode ser encontrado em solução, precipitado com Al, Fe e Ca ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, ambos em equilíbrio com a solução, e compõem a fração lábil de P do solo, já o Po é formado pelos íons fosfatos, ligados aos compostos orgânicos (Souza et al., 2007; Gatiboni et al., 2008).

Tendo em vista uma crescente demanda de fertilizantes fosfatados, uma alternativa seria a adoção de agrossistemas acumuladores de matéria orgânica ligados ao Po que possam ser manejados e assim fomentar o aumento de fósforo disponível para plantas em sistemas com déficit de reposição de fósforo, pois nesses sítios a disponibilidade de

fósforo está diretamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (Gama-Rodrigues et al. 2007; Rheinheimer et al., 2008) o que pode suprir uma considerável fração do fósforo reabsorvido pela vegetação natural (Turner et al., 2008) tornando-se uma agricultura com um menor impacto ambiental e mais sustentável.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a distribuição das frações de Pi e Po através de metodologia de extração proposta por Hedley et al. (1982) em sistemas agroflorestais de cacau (*Theobroma cacao* L.) que apresentam diferentes formas de composição e manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho teve como estudo solos classificados como Latossolo Amarelo procedentes da “Fazenda Porto Seguro” localizada no município de Uruçuca (14° 35' 34" S, 39° 17' 2" W) no Estado de Bahia de quatro diferentes coberturas vegetais. As quatro coletas de amostras compostas de solo foram realizadas entre as linhas de plantios na profundidade de 0 – 10 cm em agosto de 2011, em uma área útil de 30 x 30 m onde foi demarcada a parte central de cada sistema de plantio com a finalidade de descartar o efeito de borda.

A primeira área é formada pelo sistema de produção em faixa dupla de cacau em consórcio com seringueira (*Hevea brasiliensis*) na idade quatro anos e que anteriormente era composta por capoeira. A segunda área caracteriza-se pelo consórcio de cacau com eritrina (*Erythrina* sp.) com trinta e cinco anos de uso. A terceira e quarta áreas são formada respectivamente por pasto, com trinta anos de uso, e um fragmento de mata nativa adjacente aos plantios.

As amostras de solo de cada cobertura foram analisadas pelo fracionamento de fósforo proposto por Hedley et al. (1982) com modificações de Condron et al. (1985). Os extratos das frações de Pi

e fósforo residual (P-residual) foram analisados pela metodologia proposta por Murphy & Riley (1962) e as frações de fósforo total (Pt) pela metodologia proposta por Dick & Tabatabai (1977), após o ajuste do pH, usando p-nitrofenol como indicador. O Po foi calculado por diferença entre a concentração do Pt e Pi em cada fração.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e logo após a análise de variância (ANOVA) com o uso do software STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007) e aplicado o teste de comparações de médias de Tukey a 5% de probabilidade. Correlações de Pearson a 5% de probabilidade foram estabelecidas entre as frações de fósforo obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se as frações de fósforo em solos sob cobertura da área de cacau consorciado com seringueira em regime de faixa dupla (Tabela 1) temos que os valores de P (mg kg^{-1}) nas faixas de seringueira foram superiores, tanto em frações de Pi quanto de Po, sobre as faixas de cacau, demonstrando assim uma maior eficiência na acumulação de fósforo pela seringueira, o que pode vir a contribuir positivamente para a adição de fósforo para a cultura do cacau pela reciclagem de resíduos. A relação entre Pi e Po em ambas as faixas demonstra que a fração Po foi superior a porção Pi em todas as frações apresentadas, mostrando a capacidade que o arranjo desse agrossistema possui de acumular formas orgânicas de fósforo. Cunha et al. (2007) corrobora essa afirmação ao inferir que a fração orgânica lábil do fósforo sob florestas, pastagens e plantios de eucalipto, predominou sobre o Pi-lábil, tendo em vista que a fração Po-lábil superou os 80% em florestas naturais e 65% sob plantio de eucalipto.

O fracionamento de fósforo do solo entre as áreas de estudo (Tabela 2) demonstrou que as frações Pi-resina e Pi- NaHCO_3 apresentaram maiores estoques desse nutriente nas áreas de cacau consorciado com seringueira em faixa dupla (CSFD) e de cacau consorciado com eritrina (CE), a fração Pi-NaOH apresentou maior recuperação em CSFD em comparação com as outras áreas, porém a concentração de P (mg kg^{-1}) tanto de CE quanto do fragmento de mata nativa (FMN) não diferiram estatisticamente, Pi- NaHCO_3 e Pi-NaOH são consideradas lábil e moderadamente lábil respectivamente, podendo o Pi- NaHCO_3 tornar-se disponível para as plantas a curto prazo, enquanto o Pi-NaOH não está prontamente disponível, podendo ser através de transformações a longo prazo (Tiessen et al., 1984).

A área CE apresentou maior estoque de fósforo na fração Pi-NaOH+Ultrasson que as demais áreas

(Tabela 2), onde possivelmente ocorre uma alta concentração de P associado a agregados de matéria orgânica, já a área CSFD não diferiu estatisticamente da área de pasto (PA), o que segundo Wohlenberg et al. (2004) as gramíneas contribuem na formação e estabilização de agregados orgânicos do solo através de suas densas raízes. Os valores da fração Pi-HCl apresentaram maior valor na área FNM e o menor valor em PA, as áreas CSFD e CE não apresentaram diferenças estatística entre as demais áreas de estudo. A fração P-residual apresentou maior teor na área CE e seu menor na área CSFD.

As áreas analisadas não apresentaram diferenças nos valores de fósforo do solo para as frações Po- NaHCO_3 e Po-NaOH+Ultrasson (Tabela 2); entretanto, a área CE apresentou concentração superior de fósforo orgânico na fração Po-NaOH que as demais áreas que diferiram estatisticamente entre si. A relação entre Pi e Po em todas as áreas demonstra que a porção Po foi superior a fração Pi em todas as frações apresentada. Segundo Oehl et al. (2004) e Zaia et al. (2008b) a mineralização desse Po bem como a formação do reservatório desse elemento torna-se fundamental na ciclagem do fósforo e constitui um processo fundamental para disponibilização deste elemento às plantas, principalmente em solos com baixa ou nenhuma adição de adubos fosfatados (Gatiboni et al. 2007).

A análise dos coeficientes de correlação entre as amostras de solo demonstraram que o Pi-resina (Tabela 3) correlaciona-se positivamente com as frações inorgânicas de NaHCO_3 , NaOH e NaOH+Ultrasson bem como a fração orgânica extraída com NaHCO_3 , demonstrando assim uma correlação positiva com a contribuição do Po para com a disponibilidade de fósforo as plantas, como demonstrado por Zaia et al. (2008a). A fração Pi- NaHCO_3 apresentou correlação com as frações Po-NaOH e Pi-NaOH+Ultrasson, assim como o P-residual. O fósforo inorgânico extraído por NaOH (Tabela 3) apresentou correlação negativa com o P-residual e uma forte associação com a fração Pi-resina. Araújo et al. (1993) afirmaram que o Pi extraível com NaOH seria a fração que proporcionou maior contribuição para a fase mineral do solo e conseqüentemente para a planta. O fósforo orgânico extraído por NaOH apresentou correlação positiva com o Pi-NaOH+Ultrasson que está protegido pelos agregados do solo bem como o P-residual. As frações Po-NaOH+Ultrasson e Pi-HCl correlacionaram-se com P-residual, porém o fósforo orgânico extraído com NaOH+Ultrasson correlacionou-se positivamente com a fração inorgânica extraída com HCl.

CONCLUSÕES

O plantio de seringueira pode vir a contribuir positivamente na acumulação de fósforo no sistema em consórcio com cacau.

As frações Po predominaram sobre as Pi em todas as coberturas amostradas, evidenciando a importância das frações orgânicas para a manutenção dos estoques de fósforo no solo e nutrição dos sistemas avaliados.

As frações Po-NaHCO₃ e Po-NaOH apresentaram correlação positiva significativa com Pi-resina e Pi-NaHCO₃, respectivamente, indicando a maior labilidade destas frações.

AGRADECIMENTOS

A FAPERJ pela concessão de bolsa de mestrado ao segundo autor a CEPLAC pelo apoio no trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.S.B, SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I Formas disponíveis e efeito residual do P acumulado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17:397-403, 1993.
- CONDON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of Soil Science, Oxford*, 36:199-207, 1985.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S. & VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:667-672, 2007.
- DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, 6:82-85, 1977.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in southeastern Bahia, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:287-298, 2007.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. & FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:691-699, 2007.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46:970-976, 1982.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta, Amsterdam*, 27:31-36, 1962.
- OEHL, F.; FROSSARD, E.; FLIESSBACH, A.; DUBOIS, D. & OBERSON, A. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:667-675, 2004.
- RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C; KAMINSKI, J. & ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed., Porto Alegre, pp. 101-112, 2008.
- SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A.T. & TORRES, P.R.F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1535-1544, 2007.
- StatSoft, Inc.. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0, 2007.
- TIESSEN, H.; STEWART, W.B. & COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal*, 48:853-858, 1984.
- TURNER, B.L.; FROSSARD, E. & BALDWIN, D.S. Organic phosphorus in the environment. *Ascona, Switzerland: Organic Phosphorus*, 2003. 391p.
- ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. & MACHADO, R.C.R. Fósforo orgânico em solos sob agroecossistemas de cacau. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1987-1995, 2008a.
- ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. & GAMA-RODRIGUES, E. F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1191-1197, 2008b.
- WOHLENBERG, E.V. REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solofrancoarenoso em cinco sistemas de culturas em rotação em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:891-900, 2004.

Tabela 1 – Frações de fósforo inorgânico e orgânico em solos na profundidade de 0 – 10 cm sob faixas duplas de plantio de cacau (CFD) e seringueira (SFD) consorciados no sul do Estado da Bahia.

	Pi Resina	Pi NaHCO ₃	Po NaHCO ₃	Pi NaOH	Po NaOH	Pi NaOH Ultrassom	Po NaOH Ultrassom	Pi HCl	P Residual
Coberturas	P (mg kg ⁻¹)								
CFD	5,30b	7,5b	21,32b	81,71b	77,77b	27,51b	61,80b	3,86b	238,32b
SFD	6,65a	9,84a	40,91a	95,93a	151,81a	34,07a	131,79a	4,89a	332,21a
Médias	5,98	8,67	31,11	88,82	114,79	30,79	96,79	4,37	285,26
CV(%)	12,57	16,7	33,28	8,51	34,14	11,88	38,93	13,61	17,76

¹Valores seguidos por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Frações de fósforo inorgânico e orgânico em solos na profundidade de 0 – 10 cm sob coberturas de cacau consorciado com seringueira em faixas duplas (CSFD), cacau consorciado com eritrina (CE), pasto (PA) e um fragmento de mata nativa (FMN) no sul do Estado da Bahia.

	Pi Resina	Pi NaHCO ₃	Po NaHCO ₃	Pi NaOH	Po NaOH	Pi NaOH Ultrassom	Po NaOH Ultrassom	Pi HCl	P Residual
Coberturas	P (mg kg ⁻¹)								
CSFD	5,98a	8,67b	31,11a	88,82a	114,79b	30,79b	96,79a	4,37ab	285,26c
CE	5,50a	18,75a	26,36a	60,34b	269,29a	71,89a	98,23a	4,60ab	440,54a
PA	2,54c	6,25c	23,82a	52,21c	141,31b	30,01b	80,56a	4,15b	328,60ab
FMN	3,53b	3,12d	21,94a	61,74b	140,28b	23,60c	111,43a	4,93a	346,65b
Médias	4,71	9,09	26,87	70,39	156,09	37,42	96,76	4,48	337,26
CV(%)	32,04	59,57	29,84	23,26	40,89	48,06	27,30	10,93	19,68

¹Valores seguidos por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação entre as frações de fósforo inorgânico e orgânico em solos na profundidade de 0 – 10 cm sob diferentes coberturas no sul do Estado da Bahia.

Frações	Pi Resina	Pi NaHCO ₃	Po NaHCO ₃	Pi NaOH	Po NaOH	Pi NaOH Ultrassom	Po NaOH Ultrassom	Pi HCl	P Residual
Pi Resina	1	0,53	0,60	0,81	--	0,36	--	--	--
Pi NaHCO ₃		1	--	--	0,81	0,95	--	--	0,64
Po NaHCO ₃			1	0,62	--	--	0,68	0,47	--
Pi NaOH				1	--	--	--	--	-0,42
Po NaOH					1	0,90	--	0,40	0,95
Pi NaOH+Ultrassom						1	--	--	0,78
PoNaOH+Ultrassom							1	0,82	0,40
Pi HCl								1	0,49
P Residual									1

¹Os valores mostrados apresentam correlações significativa a 5%.