

ORIGINAL
ORIGINAL**Editor**

Diego de Melo Conti

Conflito de interesses

O autor declara não haver conflito de interesses

Recebido

2 fev. 2023

Aprovado

22 maio 2023

Implementação de Sistemas Agroflorestais como estratégia sustentável para melhorar a disponibilidade de fósforo no cultivo de palma de óleo na Amazônia

Implementation of agroforestry systems as a sustainable strategy to improve phosphorus availability in oil palm cultivation in the Amazon

Rodrigo da Silva Maia¹

¹ Instituto Federal do Pará, Campus Tucuruí, Curso de Ciências Biológicas, Laboratório de Microbiologia e Parasitologia. Tucuruí, Pará, Brasil. E-mail: rodrigomaia@hotmail.com

Artigo elaborado a partir da tese de R. S. MAIA, intitulada "Colonização Micorrízica e disponibilidade de fósforo no solo em Sistemas Agroflorestais com Palma de óleo na Amazônia". Universidade Federal do Pará, 2020.

Como citar este artigo/How to cite this article: Maia, R. S. Implementação de Sistemas Agroflorestais como estratégia sustentável para melhorar a disponibilidade do fósforo no cultivo de palma de óleo na Amazônia.

Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, v. 4, e237167, 2023. <https://doi.org/10.24220/2675-7885v4e2023a7167>

Resumo

O fósforo é um nutriente limitante para a produção agrícola nos trópicos. Na Amazônia, a baixa disponibilidade de fósforo tem afetado a produção agrícola familiar. Os Sistemas Agroflorestais podem ser uma alternativa sustentável e de baixo custo econômico para o fornecimento e manutenção das reservas de fósforo no solo nos sistemas agrícolas amazônicos; porém, existe pouca informação sobre a contribuição dos Sistemas Agroflorestais para a distribuição e labilidade de fósforo nesse ecossistema. O objetivo deste estudo foi avaliar as frações lábeis e moderadamente lábeis de fósforo (orgânico e inorgânico) no solo em cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) inserida em dois Sistemas Agroflorestais orgânicos com diferente composição vegetal. As frações de fósforo foram determinadas utilizando o método sequencial de extração. Os resultados mostraram que, além dos Sistemas Agroflorestais não diferirem do cultivo convencional no fornecimento de fósforo lábil, esses sistemas promoveram o aumento de 20% do fornecimento de fósforo mod lábil em relação ao cultivo convencional. A inserção de Sistemas Agroflorestais orgânicos no cultivo de palma de óleo na Amazônia representa um tipo de manejo promissor tanto para o fornecimento de fósforo disponível (lábil) quanto para a manutenção de reservas de fósforo no solo.

Palavras-chave: Agricultura amazônica. Agroecologia. Manejo do solo.

Abstract

Phosphorus (P) is the most limiting nutrient for agricultural production in the tropics. In Amazon soil, the low availability of P has been affected family farming production. Agroforestry Systems are used usually as a sustainable and low-cost alternative for the supply and maintenance on P stocks in amazonian agricultural systems. However, there is few information about AFSs contribution to the distribution and lability of P in this ecosystem. The aim of this study was to evaluate the labile and

moderately fractions of P (organic and inorganic) in the soil under oil palm cultivation (Elaeis guineensis), inserted in two organic Agroforestry Systems with different plant composition. We determined P fractions using the sequential extraction method. The results showed that Agroforestry Systems didn't differ from conventional cultivation in the supply of easily-available P and promoted an increment of 20% in the supply of moderately available P in relation to conventional cultivation. The insertion of organic agroforestry systems in oil palm cultivation in the Amazon represents a promising type of management both for the supply of easily-available P and maintenance of P stocks in the soil by increasing moderately available P.

Keywords: Amazonian agriculture. Agroecology. Oil palm diversification. Soil management.

Introdução

O fósforo (P) é um dos elementos essenciais à vida e à produção de alimentos no mundo. Em muitas áreas, especialmente nos trópicos, o P é o elemento mais limitante à produção agrícola (Scholz *et al.*, 2014; Nziguheba *et al.*, 2016). O elevado grau de intemperismo da maioria dos solos tropicais causa forte retenção de P pelo processo de adsorção, tornando o nutriente indisponível para a planta (Bünemann; Oberson; Frossard, 2011; Roy, 2016). Assim, os produtores precisam aplicar maiores quantidades de fosfatos em solos tropicais.

No Brasil, as reservas de rochas fosfáticas são limitadas, e, por isso, cerca de 60 % dos fertilizantes inorgânicos de P usados na agricultura brasileira são importados (Withers *et al.*, 2018). A escassez das reservas minerais mundiais de P, cuja longevidade estimada é de até 80 ou 90 anos (Bünemann; Oberson; Frossard, 2011), representa um problema iminente para a agricultura global. Dessa forma, o manejo da adubação fosfatada é uma demanda crítica para a sustentabilidade do cultivo de diversas culturas agrícolas, especialmente nos trópicos.

O cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*), por exemplo, demanda alta quantidade de P, especialmente nos estágios iniciais de crescimento (Phosri *et al.*, 2010). O óleo de palma é uma *commodity* cuja demanda tem sido crescente em função do seu uso em diversas aplicações, como na indústria alimentícia, produção de cosméticos e produtos de limpeza domésticos.

No Brasil tem havido forte expansão do plantio da palma de óleo na região nordeste do estado do Pará (Córdoba *et al.*, 2019), seguindo o modelo padrão de plantio da cultura; ou seja, o monocultivo. Alguns estudos têm mostrado que o modelo produtivo de palma de óleo, baseado na monocultura convencional, impacta negativamente a conservação da floresta, a biodiversidade e o meio de vida das comunidades tradicionais locais (Backhouse, 2015; Vijay *et al.*, 2016).

A inserção da palma de óleo em Sistemas Agroflorestais (SAFs) pode configurar um modelo produtivo mais sustentável e de baixo custo para o produtor na Amazônia em relação ao monocultivo convencional. Os SAFs podem ser uma alternativa para reduzir a dependência do P importado e garantir maior eficiência na agricultura amazônica, cuja deficiência de P pode limitar a produção agrícola em até 90 % (Mcgrath *et al.*, 2001).

Poucos trabalhos mostraram a contribuição dos Sistemas Agroflorestais para a disponibilidade de P no solo dos agroecossistemas amazônicos. Os SAFs podem melhorar a ciclagem de P nesses solos através da maior absorção de P pela presença da extensa rede de raízes no solo. Além disso, os SAFs geralmente aportam alta quantidade de matéria orgânica vegetal, e o P pode ser liberado na forma orgânica pela decomposição e na forma inorgânica pela mineralização (Mcgrath; Comerford; Duryea, 2000; Mcgrath *et al.*, 2001).

O fracionamento sequencial de P proposto por Hedley, Stewart e Chauhan (1982), tem sido largamente utilizado em vários estudos para estimar diferentes labilidades (disponibilidade) de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) no solo. Sabe-se que o aumento da capacidade de fixação

de P no solo está relacionado à maior concentração de argila e óxidos de ferro e alumínio, e, como consequência direta, ocorre a redução da disponibilidade de P aos vegetais, condições características do solo amazônico. Por isso o entendimento de diferentes graus de disponibilidades de Pi e Po é importante para compreender a real disponibilidade de P para os cultivos agrícolas.

O objetivo deste estudo foi avaliar frações orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em SAFs manejados organicamente e compará-las com um cultivo convencional de palma de óleo (monocultivo). A adubação orgânica de fósforo, além de ser mais sustentável em relação à adubação mineral, é considerada menos onerosa e pode ser mais acessível ao pequeno agricultor. Dessa forma, esta pesquisa pode contribuir para os avanços das discussões sobre um modelo de manejo de solo mais sustentável e econômico aos agricultores na região amazônica.

Materiais e Métodos

Área de estudo e locais de experimento

O estudo foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de Tomé-Açú, no estado do Pará, Região Norte do Brasil. O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo argiloso (Baena; Falesi, 1999). O clima é do tipo Ami, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26,2 °C e precipitação média anual de 2400 mm (Pacheco; Bastos, 2008).

Na propriedade foram estudados dois sistemas agroflorestais em que a palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma das culturas-chave (Tabela 1). Cada sistema apresentava uma área de 2 ha composta por 11 faixas de linhas duplas de palma de óleo, intercaladas por faixas de 15 m (Figura 1) formada por espécies madeireiras e frutíferas, além de espécies com função de adubação verde (Tabela 1). Em um SAF (denominado SAF com baixa diversidade) a palma de óleo foi plantada com apenas duas espécies de plantas (*Gliricidia sepium* e *Inga edulis*), cuja função era adubo verde. Em outro SAF (denominado SAF com alta diversidade), a palma de óleo foi plantada com 13 espécies.

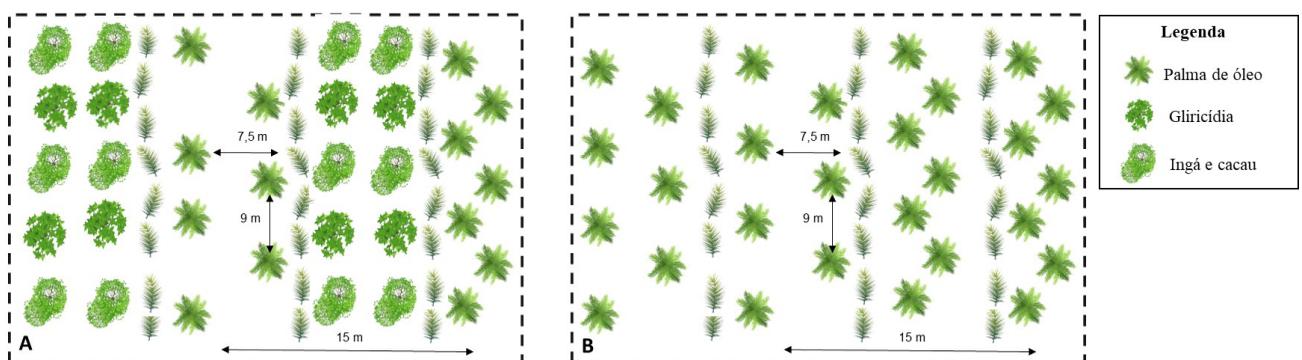


Figura 1 – Área experimental do estudo, onde A representa uma parcela de SAF e B, uma parcela de monocultivo de palma de óleo.
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A adubação dos SAFs foi realizada de maneira orgânica, incluindo 1 kg de farinha de osso (2 % de N; 20 % de P_2O_5 e 0.12 % de K_2O), 1 kg de torta de mamona (5.44 % de N; 1.91 % de P_2O_5 e 1.54 % de K_2O) e 0.3 kg de fosfato de rocha reativo (ARAD) por planta no plantio (Carvalho *et al.*, 2014). Periodicamente foi adicionada ao solo fitomassa oriunda do manejo da poda da palma de óleo e de outras espécies presentes nos SAFs.

Tabela 1 – Densidade, altura e diâmetro à altura do peito (DAP) de espécies de plantas no sistema agroflorestal.

Espécie	Nome científico	Família	Agrofloresta							
			Baixa diversidade			Alta diversidade				
			D abs	DAP (cm)	h (m)	Ind	D abs	DAP (cm)	h (m)	Ind
<i>Acacia mangium Willd</i>	<i>Fabaceae</i>						5,56	15,55	10,05	2
<i>Adenantha pavonina</i>	<i>Fabaceae</i>						2,78	17,40	8,60	
<i>Bertholletia excelsa bonpl</i>	<i>Lecythidaceae</i>									
<i>Bixa orellana L.</i>	<i>Bixaceae</i>									
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	<i>Calophyllaceae</i>						33,33	5,61	6,98	12
<i>Carapa guineenses Aubl.</i>	<i>Meliaceae</i>						25,00	18,31	9,26	9
<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>	<i>Arecaceae</i>	75,00	87,93	3,27	27	75,00	76,39	4,06	27	
<i>Euterpe oleracea</i>	<i>Arecaceae</i>						244,44	9,72	6,30	88
<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Fabaceae</i>	438,89	8,30	4,49	158					
<i>Inga edulis</i>	<i>Fabaceae</i>	177,78	6,87	2,60	64	8,33	7,18	1,08	3	
<i>Jacaranda copaia (Aubi.)</i>	<i>Bignoniaceae</i>						2,78	54,40	19,20	1
<i>Lecythis pisonis</i>	<i>Lecythidaceae</i>									
<i>Mangifera indica L.</i>	<i>Anacardiaceae</i>						16,67	5,04	2,95	6
<i>Oenocarpus bacaba</i>	<i>Arecaceae</i>									
<i>Platonia insignis Mart.</i>	<i>Clusiaceae</i>									
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	<i>Fabaceae</i>							30,39	16,18	4
<i>Spondias lutea L.</i>	<i>Anacardiaceae</i>							26,15	15,50	2
<i>Swietenia macrophylla King</i>	<i>Meliaceae</i>									
<i>Tabebuia spp.</i>	<i>Bignoniaceae</i>							21,19	9,40	17
<i>Theobroma cacao</i>	<i>Malvaceae</i>							9,54	4,63	161
<i>Theobroma grandiflorum (Willd. ex Spreng)</i>	<i>Malvaceae</i>							8,40	3,95	2

Notas: d abs = densidade absoluta (número de indivíduos/ hectare); DAP (diâmetro à altura do peito); h (altura) e N° ind (Número total de indivíduos presentes na área). Os valores de DAP e h são médias.

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para efeito comparativo das variáveis estudadas nos SAFs, foi selecionado, no mesmo município, um monocultivo de palma de óleo com idade aproximada dos SAFs. O monocultivo recebeu adubação mecanizada de três a quatro vezes ao ano, na coroa da palma (raio de 2,4 metros), utilizando-se 1 kg da formulação 12-2-20 de NPK. As folhas da palma de óleo também foram podadas após cada colheita e depositadas sobre o solo entre as linhas duplas.

Nas áreas experimentais foram estabelecidas aleatoriamente seis parcelas (Figura 1). Em novembro de 2017, foram coletadas, de cada parcela, amostras de solo (camada: 0-10cm) com trado (diâmetro: 5cm) em três locais: (a) na linha da palma de óleo, sob a projeção da copa (a aproximadamente 0,6m da base do estipe); (b) na linha da palma de óleo (a aproximadamente 2,5m da base do estipe), e (c) abaixo da pilha de folhas podadas. As amostras coletadas nesses três locais foram reunidas para formar uma amostra composta. Cada amostra composta resultou da reunião de seis amostras simples. No laboratório, as amostras foram secas ao ar, destorradas e passadas em peneira de malha de 2mm (terra fina seca ao ar – TFSA).

Análise físico-química do solo

As análises dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , P total, K^{+} , Fe, Zn, Mn, C orgânico e N total e da capacidade de troca catiônica (CTC), granulometria e umidade gravimétrica foram realizadas segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2017). Resumidamente, elas seguiram estes métodos: (a) os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} foram determinados por absorção atômica (Ca^{+2} e Mg^{+2}) e por titulação (Al^{+3}) após extração das amostras com KCl; (b) os teores de P, K^{+} , Fe, Zn e Mn foram determinados por absorção atômica (K^{+} , Fe, Zn e Mn) e colorimetria (P) após extração das amostras com solução de Mehlich, o pH em água foi medido com eletrodo combinado e a CTC foi determinada pela soma do total de bases trocáveis e alumínio. A proporção de areia, silte e argila do solo foi determinada pelo método da pipeta (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017). Os resultados dessas variáveis estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do solo nos tratamentos da área de estudo.

Tratamentos	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	K	Fe	Mn	Zn	P	C org	N	pH	areia	silte	argila
	----- cmolc.dm-3 -----					mg.dm-3 -----			g.kg -----		H2O -----		g.kg -----			
Baixa diversidade	3.70	1.09	0.00	6.69	10.29	56.66	85.70	20.41	1.91	6.20	37.46	2.10	6.69	333	134	199
Alta diversidade	3.80	0.96	0.00	6.47	10.27	50.54	108.27	24.14	1.86	5.60	33.31	2.03	6.47	329	138	203
Monocultivo	2.70	0.50	0.04	6.00	7.72	82.25	158.87	28.12	1.58	17.20	30.97	3.52	5.96	303	141	253

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Fracionamento do fósforo

O fracionamento de P foi realizado de acordo com Hedley, Stewart e Chauhan (1982) modificado por Condron, Goh e Newman (1985) a partir de 0,5g de amostras de solo. Foram usados três extratores para extrair sequencialmente cinco frações de P: (a) Resina Trocadora de Ânions (AMI-7001S *Membranes International*, New Jersey/USA), com medida de 1 x 5cm e 10mL de HCl 0,5mol L⁻¹ (fração Pi resina); (b) 10mL de NaHCO₃ 0,5mol L⁻¹ com pH 8.5 (frações Pi NaHCO₃ e Po NaHCO₃) e (c) 10 mL de NaOH 0,1mol L⁻¹ (frações Pi NaOH 0,1 e Po NaOH 0,1). O Pi dos extratos alcalinos de NaHCO₃ e NaOH foram determinados de acordo com Dick e Tabatai (1977); o P total nos extratos alcalinos foi analisado a partir da digestão com persulfato de amônio e ácido sulfúrico em autoclave conforme *United States Environmental Protection Agency* (1971) e o Po foi obtido pela diferença entre P total e P inorgânico. Para avaliar o P dos extratos ácidos foi usada a metodologia proposta por Murphy e Riley (1962).

As frações de P neste estudo foram agrupadas em formas lábeis (P resina, Pi NaHCO₃ e Po NaHCO₃) e moderadamente lábeis (Pi NaOH 0,1 e Po NaOH 0,1). Esse agrupamento é um parâmetro didático utilizado para entender qual fração de P apresenta maior ou menor disponibilidade no solo para a planta (Rodrigues *et al.*, 2016).

Análise dos dados

Foi utilizada *one way* ANOVA de medidas repetidas para testar os efeitos dos tipos de plantios de palma de óleo nas cinco frações de P. O teste Tukey a 5 % de significância foi utilizado para evidenciar as diferenças estatisticamente significativas dos componentes de cada fração de P entre os tipos de plantios. Antes das análises estatísticas os dados foram testados quanto à homogeneidade e normalidade usando o teste de Kolmogorov-Smirnov, e quando necessário foram transformados em log para corrigir desvios das suposições. As análises foram realizadas nos programas estatísticos Bioestat 5.3 e no SigmaPlot® versão 12.0 (*Systat Software*. Inc., EUA, 2006).

Resultados e Discussão

Frações de P lábil

Nas frações de P-lábil, o tratamento SAF com baixa diversidade de plantas apresentou menor concentração de P-resina em relação aos outros plantios (Tabela 3). Por outro lado, apresentou maior concentração de Po lábil (Tabela 3).

O plantio de monocultivo de palma de óleo foi o que apresentou a maior concentração de Pi lábil (Pi NaHCO₃), porém não foram observadas diferenças significativas na concentração do P lábil

(Pi + Po) nos plantios estudados (Figura 3). Observou-se que 46 % do P lábil no solo era formado pela fração orgânica no SAF com baixa diversidade, enquanto 52 % do P lábil no SAF com alta diversidade era formado pela fração inorgânica (Figura 2). No monocultivo, a fração inorgânica representa 64 % do P lábil.

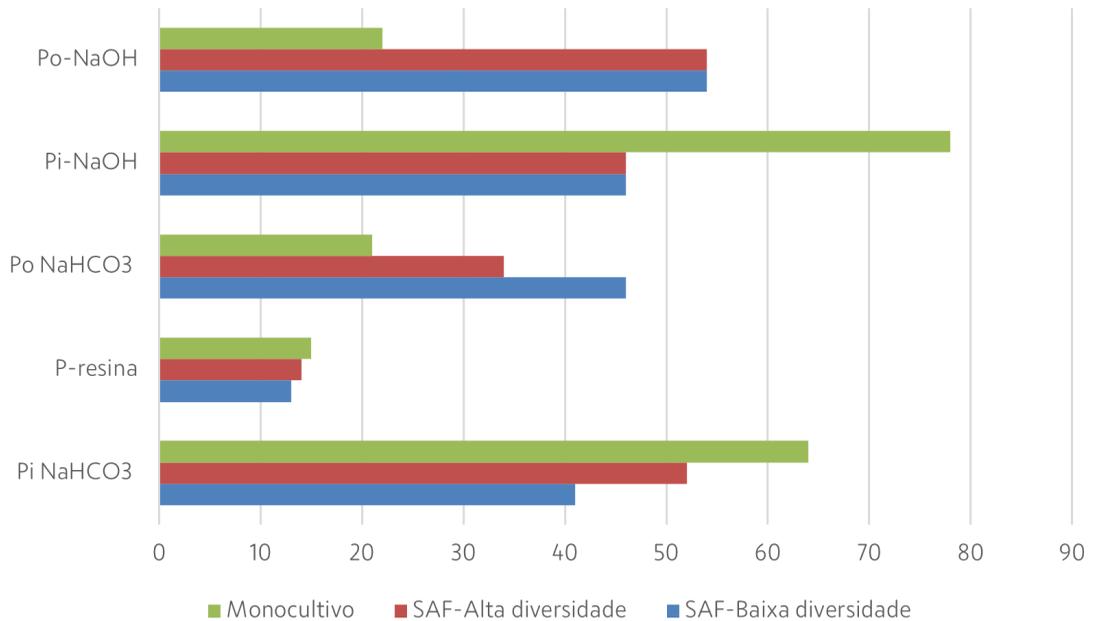


Figura 2 – Porcentagem de contribuição de cada fração de P nos tratamentos.

Nota: Porcentagem da contribuição de cada fração lábil inorgânica e orgânicas e moderadamente lábeis inorgânicas e orgânicas de fósforo do solo (camada 0-10 cm) em plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais (de alta e baixa diversidade) e monocultivo em Tome-Acu, Amazônia Oriental.

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

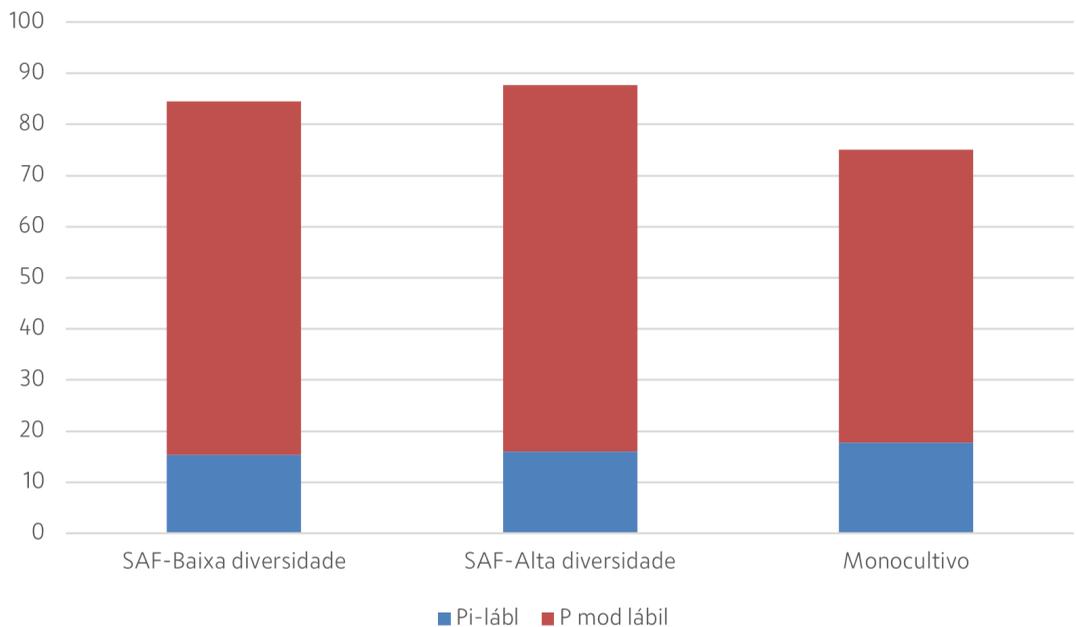


Figura 3 – Distribuição da fração total de P.

Nota: Considerando Pi + Po (lábil e moderadamente lábil) entre os tratamentos. Dados são médias, n = 12. Letras indicam diferença significativa pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

A maior concentração da fração inorgânica de P no monocultivo em relação aos SAFs (Tabela 3) é consistente com o uso de fertilizantes fosfatados, cujo efeito direto é o aumento do fornecimento de P lábil e moderadamente lábil no solo. Em solos amazônicos, que comumente apresentam elevada capacidade de adsorção de P, a disponibilidade desse nutriente para os cultivos agrícolas é muito baixa (Lehmann *et al.* 2001); portanto, em solos amazônicos a agricultura convencional depende fortemente do uso de fertilizantes químicos fosfatados para suprir a demanda de P lábil e moderadamente lábil dos cultivos agrícolas (Negassa; Leinweber, 2009).

A diferença significativa na concentração de P-resina e $P_i \text{NaHCO}_3$ entre os SAFs (Tabela 3) pode ter sido influenciada pela maior atividade microbiana no solo do SAF com alta diversidade (Rodrigues *et al.*, 2016) o que possivelmente aumentou a taxa de mineralização, formando mais P lábil a partir do Po da matéria orgânica do solo. A mineralização de P orgânico é um dos principais processos que contribuem para a disponibilidade de P em solos da região amazônica (Lehmann *et al.*, 2001). A estimulação da biomassa microbiana para mineralizar o Po é um reconhecido “efeito priming” do solo e um mecanismo importante de suprimento de P_i nos cultivos agrícolas (Simpson *et al.*, 2011; Damon *et al.*, 2014).

A concentração de $P_i \text{NaOH}$ foi significativamente maior no monocultivo em relação aos SAFs (Tabela 3). Por outro lado, os SAFs apresentaram significativamente maior concentração de $P_o \text{NaOH}$ em relação ao monocultivo. Ao comparar a fração total de P moderadamente lábil ($P_i + P_o$), foi observado que os SAFs aumentaram em 20% o *pool* de P em relação ao monocultivo (Figura 3). Foi observado que mais de 50% do P moderadamente lábil nos SAFs é composto pela parte orgânica, enquanto 78 % é composto pela parte inorgânica no monocultivo (Figura 2).

Tabela 3 – Disponibilidade das frações de P_i e P_o lábeis e moderadamente lábeis nos três tipos de plantios da área de estudo.

Tipos de plantios de palma de óleo	P lábil do solo			P moderadamente lábil do solo	
	P resina (mg.kg)	$P_i \text{NaHCO}_3$ (mg.kg)	$P_o \text{NaHCO}_3$ (mg.kg)	$P_i \text{NaOH} 0,1M$ (mg.kg)	$P_o \text{NaOH} 0,1M$ (mg.kg)
Baixa diversidade	6,27 ± 0,57 b	18,67 ± 0,58 c	21,11 ± 8,30 a	62,57 ± 6,43 b	75,77 ± 5,39 a
Alta diversidade	7,09 ± 0,88 a	24,70 ± 2,71 b	16,13 ± 1,53 b	61,30 ± 8,67 b	82,18 ± 21,63 a
Monocultivo	8,13 ± 0,81 a	33,86 ± 8,09 a	11,09 ± 4,69 c	87,80 ± 13,29 a	26,93 ± 13,06 b

Notas: Dados são média +/- erro padrão (n = 6). Letras diferentes indicam diferença significativa entre tipos de plantio pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Notou-se que os SAFs apresentaram elevada concentração de P_o orgânico em relação ao monocultivo nas frações lábeis e moderadamente lábeis (Figura 2), e sabe-se que o P orgânico dos SAFs pode contribuir para a dinâmica do P no solo através da mineralização, aumentando o suprimento de P disponível para os cultivos agrícolas em relação ao monocultivo (Cardoso *et al.*, 2003). A maior fração de P total ($P_i + P_o$) moderadamente lábil nos SAFs em relação ao monocultivo (Figura 3) provavelmente ocorreu devido à grande concentração de P_o nesses dois tipos de plantio (Figura 2). Sabe-se que o P moderadamente lábil constitui importante estoque ou reserva de P no solo que será utilizado pelos cultivos a médio prazo.

A contribuição dos SAFs para as reservas de P no solo (Figura 3) provavelmente está ligada à deposição e à decomposição da biomassa vegetal das espécies de plantas consorciadas nesses sistemas. As espécies *Gliricidia sepium* e *Theobroma cacao* (Tabela 1), densamente elevadas nos Sistemas Agroflorestais, respectivamente, apresentam reconhecida importância no estoque e liberação de P através do *litter* (Akinnifesi *et al.*, 2007; Beedy *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2014).

Estudos sobre disponibilidade de P na agricultura amazônica tem mostrado que o aumento da biodisponibilidade de P está relacionado à concentração de P no *litter* dos SAFs e na rápida

decomposição e liberação de P associada principalmente à baixa relação C-P do *litterfall* (Mcgrath; Comerford; Duryea, 2000; Lehmann *et al.*, 2001). Por outro lado, o uso de fertilizantes inorgânicos no monocultivo pode levar à dependência de Pi mineral, que não garante o suprimento a médio-longo prazo para o cultivo (Maranguit; Guillaume; Kuzakov, 2017). A diminuição e/ou ausência do *litterfall* no monocultivo causa redução na disponibilidade de Po (Vincent; Turner; Tanner, 2010) e deixa o solo mais vulnerável à erosão, o que resulta na redução de P no solo (Maharjan *et al.*, 2018).

Conclusão

Os SAFs manejados organicamente contribuem para o suprimento de P-lábil no solo de maneira semelhante ao monocultivo com manejo intensivo, provavelmente devido à maior concentração da fração Po NaHCO_3 no solo desses sistemas. A contribuição dos SAFs para o aumento do reservatório de P moderadamente lábil no solo, principalmente por meio da fração Po NaOH, garante não apenas maior disponibilidade de P a médio prazo em relação ao monocultivo, como sugere que sistemas com manejos orgânicos que priorizam a manutenção da cobertura vegetal devam ser mais bem explorados como alternativa ao monocultivo intensivo de palma de óleo na agricultura familiar na Amazônia.

Referências

- Akinnifesi, F. K. *et al.* Synergistic effect of inorganic N and P fertilizers and organic inputs from *Gliricidia sepium* on productivity of intercropped maize in Southern Malawi. *Plant and Soil*, v. 294, n. 1-2, p. 203-217, 2007.
- Backhouse, M. Green Grabbing: the case of palm oil expansion in so-called degraded areas in the eastern Brazilian Amazon. In: Dietz, K. *et al.* (ed.). *The political ecology of agrofuels*. Abingdon: Routledge, 2015. p. 167-185.
- Baena, A. R. C.; Falesi, I. C. *Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999.
- Beedy, T. L. *et al.* Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 138, n. 3-4, p. 139-146, 2010.
- Bünemann, E.; Oberson, A.; Frossard, E. (org.). *Phosphorus in action: biological processes in soil phosphorus cycling*. Heidelberg: Springer, 2011.
- Cardoso, I. M. *et al.* Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 58, n.1, p.55-64, 2003.
- Carvalho, W. R. *et al.* Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon. *Agroforest Systems*, v. 88, p. 357-368. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9689-2>.
- Córdoba, D. *et al.* Understanding local perceptions of the Impacts of large-scale oil palm plantations on ecosystem services in the Brazilian Amazon. *Forest Policy and Economics*, v. 109, p. 102-107, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102007>.
- Condrón, L.; Goh, K. M.; Newman, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31}P nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of Soil Science*, v. 36, p. 199-207, 1985.
- Damon, P. M. *et al.* Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 74, p. 127-137, 2014.
- Dick, W. A.; Tabatabai, M. A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, v. 6, p. 82-85, 1977.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

- Fontes, A. G. *et al.* Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*, v. 383, n. 1-2, p. 313-335, 2014.
- 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 American Journal*, v. 46, p. 970-976, 1982.
- Lehmann, J. *et al.* Phosphorus management for perennial crops in central Amazonian upland soils. *Plant and Soil*, v. 237, n. 2, p. 309-319, 2001.
- Maharjan, M. *et al.* Phosphorus fractions in subtropical soils depending on land use. *European Journal of Soil Biology*, v. 87, p. 17-24, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.04.002>
- Maranguit, D.; Guillaume, T.; Kuzyakov, Y. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, v. 149, p. 385-393, 2017.
- Mcgrath, D. A.; Comerford, N. B.; Duryea, M. L. Litter dynamics and monthly fluctuations in soil phosphorus availability in an Amazonian agroforest. *Forest Ecology and Management*, v. 131, n. 1-3, p. 167-181, 2000.
- Mcgrath, D. A. *et al.* Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, v. 4, n. 7, p. 625-645, 2001.
- Murphy, J.; Riley, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v. 27, p. 31-36, 1962.
- Negassa, W.; Leinweber, P. How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 172, n. 3, p. 305-325, 2009.
- Nziguheba, G. *et al.* Phosphorus in smallholder farming systems of sub-Saharan Africa: implications for agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 104, p. 321-340, 2016.
- Pacheco N. A.; Bastos, T. X. *Frequência diária de chuva em Tomé-Açu, PA*. São Paulo: Embrapa, 2008.
- Phosri, C *et al.* The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 135, n. 3, p. 187-193, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.09.006>.
- Roy, E. Phosphorus recovery and recycling with ecological engineering: a review. *Ecological Engineering*, v. 98, p. 213-227, 2016.
- Rodrigues, M. *et al.* Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. *Science of The Total Environment*, v. 542, p. 1050-1061, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.
- Scholz, R. W. *et al.* (org.). *Sustainable phosphorus Management*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.
- Simpson, R. J *et al.* Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant and Soil*, v. 349, n. 1-2, p. 89-120, 2011.
- United States Environmental Protection Agency. *Methods of chemical analysis for water and wastes*. Cincinnati: USEPA, 1971.
- Vincent, A. G.; Turner, B. L.; Tanner, E. V. J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science*, v. 61, n. 1, p. 48-57, 2010.
- Withers, P. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v. 8, p. 1, 2018.
- Vijay, V. *et al.* The impacts of oil palm on recent deforestation and biodiversity loss. *PLoS*. v. 7, p. 1-19, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159668>.

Agradecimentos

Agradecemos ao agricultor Sr. Ernesto Suzuki por conceder permissão para a pesquisa na área experimental. À equipe do Laboratório de Análises de Sistemas Sustentável (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental e as instituições: Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA) e Embrapa Amazônia Oriental responsáveis pela elaboração e manutenção do Projeto “Dendê em Sistemas Agroflorestais na agricultura familiar”.