

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FLORESTAS WIPES IIC-UFPA

Apoio: Agência das Bacias PCJ COMITÊS PCJ

IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA MELHORAR A DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO NO CULTIVO DE PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA

Rodrigo da Silva Maia, Instituto Federal do Pará, rodrigo.maia@ifpa.edu.br

Resumo

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

Palavras-chave: Manejo do solo, agricultura amazônica, diversificação da palma de óleo, agroecologia.

1. 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 retém fortemente o P pelo processo de adsorção, tornando o nutriente indisponível para a planta, (ROY, 2016; BUNEMANN *et al.*, 2011). Assim, os produtores precisam aplicar maiores quantidades de fosfatos em solos tropicais.

No Brasil, as minas 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 (BUNEMANN *et al.*, 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 (PHORSI *et al.*, 2010). O óleo de palma é uma commodity cuja demanda tem sido crescente em função do seu uso em diversas aplicações, tais 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 (CORDOBA *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 do P pode limitar a produção agrícola em até 90% (MCGRATH *et al.*, 2001).

Poucos trabalhos mostraram a contribuição dos sistemas agroflorestais na 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, SAFs geralmente aportam alta quantidade de matéria orgânica vegetal, cujo P pode ser liberado na forma orgânica pela decomposição e na forma inorgânica pela mineralização (MCGRATH *et al.* 2000; 2001).

O fracionamento sequencial de P proposto por Hedley *et al.* (1982), tem sido largamente utilizado em vários estudos (CHIMDI *et al.*, 2014), 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 a 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 são importantes para entender a real disponibilidade de P para os cultivos agrícolas.

O objetivo desse estudo foi avaliar frações orgânicas e inorgânicas de fósforo do solo em SAFs manejados organicamente e compará-los com um cultivo convencional de palma de óleo (monocultivo).

2. Fundamentação teórica

A dinâmica do fósforo no solo depende diretamente das propriedades físico-químicas, mineralógicas e principalmente das atividades de microrganismos os quais imobilizam, mineralizam e solubilizam o P no solo. Estes dois últimos processos liberam íons ortofosfato para absorção nas plantas (ROY, 2017). A planta absorve P sob a forma de ânions H_2PO_4 (ortofosfato primário), principalmente em solos ácidos e HPO_4 (ortofosfato secundário), principalmente em solos alcalinos (OLANDER; VITOUSEK, 2004).

Para melhor entendimento, pode-se dividir o fósforo do solo em dois grandes grupos: Fósforo inorgânico (Pi) e Fósforo orgânico (Po). O Pi dependendo da natureza do composto que está ligado. Pode ser dividido em fósforo dos minerais primários e fósforo adsorvido. Pode ser encontrado na forma de íons fosfatos na solução do solo (P-solução), adsorvidas aos oxihidróxidos de Fe e Al, precipitadas com Al^{+3} , Fe^{+2} e Ca^{+2} e nas formas estruturais dos minerais fosfatados (COSTA, 2007). O Po tem origem nos resíduos vegetais adicionados ao solo, na biomassa microbiana do solo e dos produtos de sua decomposição (DAMON et al., 2014). As principais formas de fósforo orgânico no solo identificadas são: Fosfatos de inositol (estimado entre 10 a 80% de Po total), fosfolipídios (0,5 a 7% Po total), ácidos nucleicos (~3%) e outros ésteres-fosfato (>5%).

As reações de sorção de Pi ocorrem naturalmente a partir das ligações de íons de P (adsorvato) com a fase sólida do solo ou colóides minerais (óxidos, hidróxidos, argilominerais, matéria orgânica), chamados de adsorventes (ROY, 2017). A natureza e a energia dessas ligações permitem classificá-las em adsorção, fixação e precipitação, as quais juntas formam o complexo de sorção (SCHOLZ et al., 2014). A etapa inicial do processo de adsorção ocorre quando o íon fosfato é sorvido (ligado) aos seus adsorventes. Esta ligação pode ocorrer com a formação de complexos de esfera externa, no qual existe a participação de uma molécula de água interpondo a ligação, tornando-a pouco estável comparada as demais (SIMPSON et al., 2011).

Quando ocorre a saída de água, o íon fosfato liga-se diretamente ao adsorvente, transformando a ligação que era de esfera externa para esfera interna. Desse modo, o P se liga às hidroxilas dos adsorventes, ocorrendo o estágio de fixação do P pela maior força de atração entre o adsorvato e adsorvente através da ligação covalente (COSTA, 2007; NOVAIS et al., 2007). A partir dessa etapa ocorre a formação de um novo produto, como os fosfatos de ferro, alumínio e cálcio que apresentam composição definida e baixa solubilidade. Esse último processo é conhecido como precipitação do P (SHEN et al., 2011).

Do ponto de vista da fertilidade do solo, a disponibilidade de P pode ser classificada de acordo com a facilidade de reposição de íons fosfato na solução do solo (COSTA, 2007). Desse modo, o conjunto de compostos capazes de repor P rapidamente na solução do solo, quando este é absorvido pelas plantas e microrganismos, representa a fração lábil de P (P-lábil), também chamado de P disponível (NOVAES; SMITH, 1999).

Quando o teor de P da solução movimentar-se para níveis de maior estabilidade, aumentando a interação com os sítios de adsorção, o P passa a ter um comportamento cada vez menos lábil, portanto, passam a ser chamados de frações moderadamente lábeis e pouco lábeis, isto é,



menos P disponíveis para os vegetais, desse modo, quanto maior a intensidade de energia das ligações entre os fosfatos e os sítios de adsorção, menos lábil será o P (SCHOLZ et al., 2014). Por isso a disponibilidade de P no solo é geralmente medida a partir do grau de labilidade desse nutriente (NOVAES; SMITH, 1999).

3. Metodologia

ÁREA DE ESTUDO E LOCAIS DE EXPERIMENTO

O estudo foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de Tomé-Açu, 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 Am, 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 no sistema (Tabela 1). Cada sistema apresentava uma área de 2 ha, composto por 11 faixas de linhas duplas de palma de óleo, intercaladas por faixas de 15 m (Figura 1) compostas 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 treze espécies.

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

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</i> Willd	<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</i> bonpl	<i>Lecythidaceae</i>								
<i>Bixa orellana</i> L.	<i>Bixaceae</i>								
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	<i>Calophyllaceae</i>					33,33	5,61	6,98	12
<i>Carapa guineenses</i> Aubl.	<i>Meliaceae</i>					25,00	18,31	9,26	9
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	<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</i> (Aubi.)	<i>Bignoniaceae</i>					2,78	54,40	19,20	1
<i>Lecythis pisonis</i>	<i>Lecythidaceae</i>								
<i>Mangifera indica</i> L.	<i>Anacardiaceae</i>					16,67	5,04	2,95	6
<i>Oenocarpus bacaba</i>	<i>Arecaceae</i>								



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE
PUC-CAMPINAS



WIPIS
2022

Apoio:



Agência das Bacias PCJ



COMITÊS PCJ

<i>Platonia insignis</i> Mart.	<i>Clusiaceae</i>				
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	<i>Fabaceae</i>	11,11	30,39	16,18	4
<i>Spondias lutea</i> L.	<i>Anacardiaceae</i>	5,56	26,15	15,50	2
<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Meliaceae</i>				
<i>Tabebuia</i> spp.	<i>Bignoniaceae</i>	47,22	21,19	9,40	17
<i>Theobroma cacao</i>	<i>Malvaceae</i>	447,22	9,54	4,63	161
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng)	<i>Malvaceae</i>	5,56	8,40	3,95	2

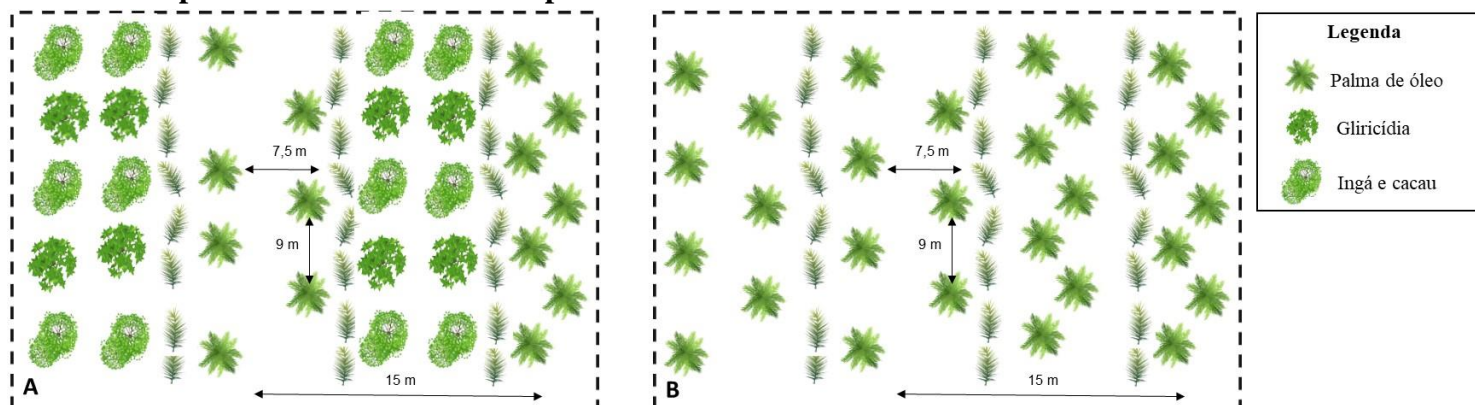
d abs = densidade absoluta (número de indivíduos/ hectare); **DAP** (diâmetro à altura do peito); **h** (altura) e **N° ind** (Número total de indivíduos presentes na área). Os valores de DAP e h são médias.

A adubação dos SAFs foi realizada de maneira orgânica, incluindo 1 kg de farinha de osso (2 % de N; 20 % de P₂O₅ e 0.12 % de K₂O), 1 kg de torta de mamona (5.44 % de N; 1.91 % de P₂O₅ e 1.54 % de K₂O) e 0.3 kg de fosfato de rocha reativo (ARAD), por planta no plantio (Carvalho *et al.*, 2014). Periodicamente foi adicionada fitomassa oriunda do manejo da poda da palma de óleo e de outras espécies presentes nos SAFs.

Para efeito comparativo das variáveis estudadas nos SAFs, foi selecionado no mesmo município, um monocultivo de palma de óleo com idade aproximada aos SAFs. O monocultivo recebeu adubação mecanizada, 3 a 4 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 6 parcelas (Figura 1). Em novembro de 2017, em cada parcela coletamos amostras de solo (camada: 0-10 cm) com trado (diâmetro: 5 cm) em três locais: (a) na linha da palma de óleo, sob a projeção da copa (a aproximadamente 0,6 m da base do estipe), (b) na linha da palma de óleo (a aproximadamente 2,5 m da base do estipe), e (c) abaixo da pilha de folhas podadas. As amostras coletadas nesses 3 locais foram reunidas para formar uma amostra composta.

Figura 1. Área experimental do estudo, onde A representa uma parcela de SAF e B uma parcela de monocultivo de palma de óleo.



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 Embrapa (2017). Resumidamente, as análises seguiram esses métodos: (a) os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} 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 (EMBRAPA, 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
	cmol _c .dm ⁻³				mg.dm ⁻³				g.kg		H ₂ O	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

FRACIONAMENTO DO FÓSFORO

O fracionamento de P foi realizado de acordo com Hedley *et al.* (1982), modificado por Condon *et al.* (1985), a partir de 0,5 g de amostras de TFSA. Usamos três extratores para extrair sequencialmente 5 frações de P: (a) Resina Trocadora de Ânions (AMI-7001S Membranes International, New Jersey USA), com medida de 1 x 5 cm e 10 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹ (fração Pi resina), (b) 10 mL de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ com pH 8.5 (frações Pi NaHCO₃ e Po NaHCO₃) e (c) 10 mL de NaOH 0,1 mol 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 USEPA (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 5 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 a 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).

4. Resultados

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 NaHCO_3). Porém não observamos diferenças significativa na concentração do P lábil ($\text{Pi} + \text{Po}$) nos plantios estudados (Figura 3). Observamos que 46% de P lábil no solo é formado pela fração orgânica no SAF com Baixa diversidade enquanto 52% do P lábil no SAF com alta diversidade é formado pela fração inorgânica (Figura 2). No monocultivo a fração inorgânica representa 64% do P lábil.

Frações de P moderadamente lábil

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

Tabela 3. Disponibilidade das frações de Pi e Po lábeis e moderadamente lábeis nos três tipos de plantios da área de estudo.

Tipos de plantios de palma de óleo	P resina (mg.kg)	P lábil do solo		P moderadamente lábil do solo	
		Pi NaHCO_3 (mg.kg)	Po NaHCO_3 (mg.kg)	Pi NaOH 0,1M (mg.kg)	Po 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

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



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE
FLORESTAS



WIPIS
2022

Apoio:



Agência das Bacias PCJ



COMITÊS PCJ

Figura 2. Porcentagem da contribuição de cada fração label inorgânica e orgânica e moderadamente labels 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-Açu, Amazonia Oriental.

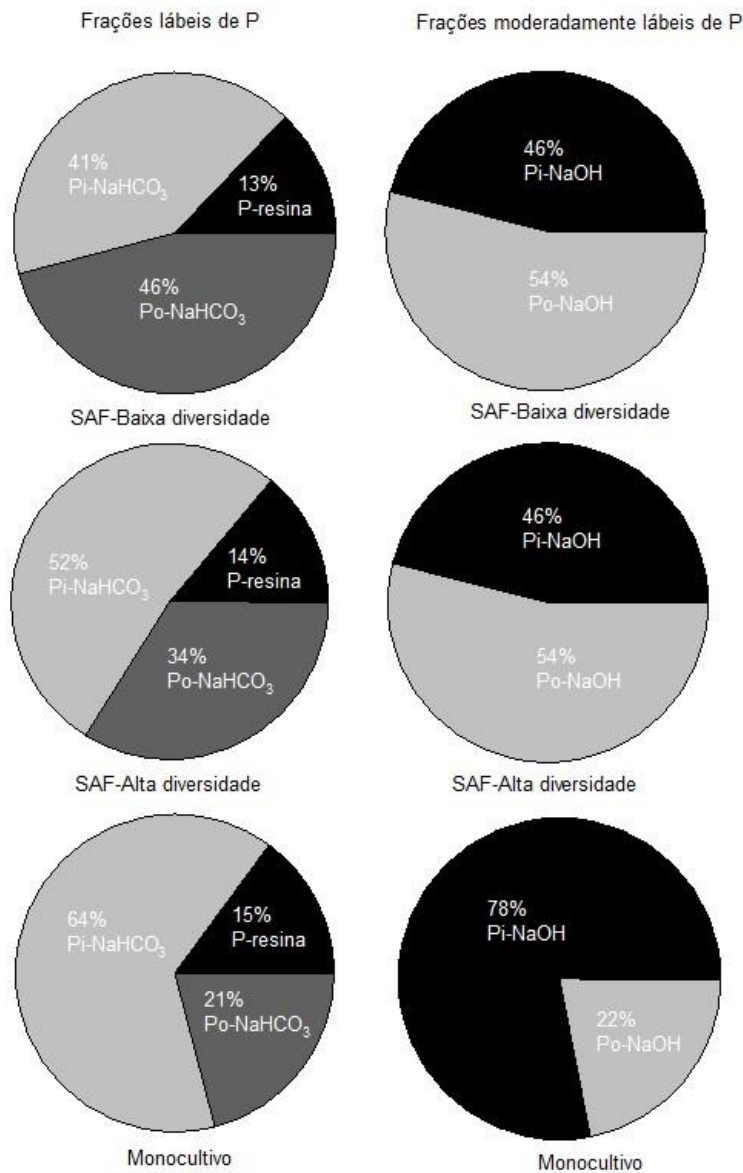
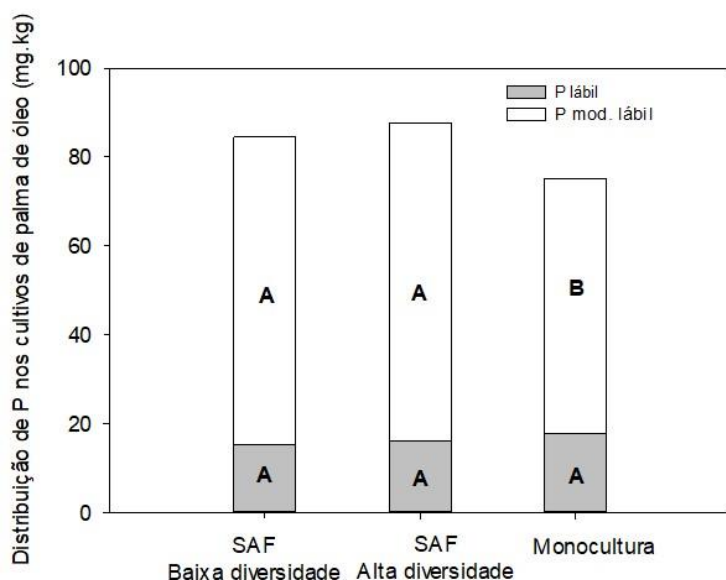




Figura 3. Distribuição da fração total de P, considerando $P_i + P_o$ (lábil e moderadamente lábil) entre os tratamentos. Dados são médias, $n=12$. Letras indicam diferença significativa pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade.



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 apresentam comumente 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 $P_i NaHCO_3$ entre os SAFs (Tabela 3), pode ter sido influenciado pela maior atividade microbiana no solo do SAF com alta diversidade (RODRIGUES, 2019), o que possivelmente aumentou a taxa de mineralização, formando mais P lábil a partir do P_o 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 P_o é um reconhecido “efeito priming” do solo e um mecanismo importante de suprimento de P_i nos cultivos agrícolas (DAMON *et al.*, 2014; SIMPSON *et al.*, 2011).

Observamos que os SAFs apresentaram elevada concentração de P_o orgânico em relação ao monocultivo nas frações lábeis e moderadamente lábeis (Figura 2), 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 a grande concentração de Po 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 a deposição e decomposição da biomassa vegetal das espécies de plantas consorciadas nesses sistemas. As espécies *Gliricidia sepium* e *Theobroma cacao* (Tabela 1), densamente elevadas no SAF com baixa diversidade e SAF com alta diversidade, respectivamente, apresentam reconhecida importância no estoque e liberação de P através do litter (FONTES *et al.*, 2014; AKINNIFESI *et al.*, 2007; BEEDY *et al.*, 2010).

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 a baixa relação C-P do litterfall (MCGRATH *et al.*, 2000; LEHMANN *et al.*, 2001). Por outro lado, o uso de fertilizantes inorgânicos no monocultivo pode levar a dependência de Pi mineral, que não garante o suprimento a médio-longo prazo para o cultivo (MARANGUIT *et al.*, 2017), a diminuição e/ou ausência do litterfall no monocultivo, causa redução na disponibilidade de Po (VINCENT *et al.*, 2011) e deixa o solo mais vulnerável a erosão, o que resulta na redução de P no solo (MAHARJAN *et al.*, 2018).

5. Conclusões

Os SAFs manejados organicamente contribuem para o suprimento de P-lábil no solo de maneira semelhante ao monocultivo com manejo intensivo, provavelmente devido a maior concentração da fração Po NaHCO₃ no solo desses sistemas. A contribuição dos SAFs para o aumento do reservatório de P moderadamente lábil no solo, principalmente através da fração Po NaOH, garante não apenas maior disponibilidade de P a médio prazo em relação ao monocultivo, como também indica que esse sistema é importante na manutenção das reservas de P do solo. Nós sugerimos que sistemas com manejos orgânicos que priorizam a manutenção da cobertura vegetal, devam ser melhor explorados como alternativa ao monocultivo intensivo de palma de óleo na agricultura familiar na Amazônia.

6. Agradecimentos (quando houver)

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” e a Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional (United States Agency for International Development, USAID) responsável pelo apoio financeiro deste projeto e da pesquisa



7. Referências bibliográficas

AKINNIFESI, F. K.; MAKUMBA, W.; SILESHI, G.; AJAYI, O. C.; MWETA, D. 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., Engels, B., Pye, O., Brunnengraber, A. (Eds.), **The Political Ecology of Agrofueles**. Routledge, Abingdon, p. 167–185. 2015.

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. 23 p.

BEEDY, T. L.; SNAPP, S. S.; AKINNIFESI, F. K.; SILESHI, G. W. 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. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 2, p. 357–68. abr. 2014. DOI:10.1007/s10457-014-9689-2.

CONDON, L; 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, v 36, p.199-207, 1985.

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. dez. 2019. Doi:10.1016/j.forpol.2019.102007.

DAMON, P. M.; BOWDEN, B.; ROSE, T.; RENGEL, Z. 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**, Madison, v 6, p. 82-85, 1977.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3 ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2017. 628 p.

FONTES, A. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; *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.

GEORGE, T. S.; GREGORY, P. J.; ROBINSON, J. S.; BURESH, R. J.; JAMA, B. Utilisation of soil organic P by agroforestry and crop species in the field, western Kenya. **Plant and Soil**, v. 246, n. 1, p. 53–63, 2002.

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**, Madison, v 46, p. 970-976, 1982.

HOMMA, A.K.O. **Cronologia do cultivo de dendezeiro na Amazônia**. Belém-Pa: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 48p.

LEHMANN, J.; CRAVO, M. DA S.; VASCONSELOS DE MACÊDO, J. L.; MOREIRA, A.; SCHROTH, G. **Phosphorus management for perennial crops in central Amazonian upland soils**. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 309–319, 2001.

MAHARJAN, Menuka, *et al.* “Phosphorus Fractions in Subtropical Soils Depending on Land Use”. **European Journal of Soil Biology**, vol. 87, , p. 17–24. mai.2018. *DOI.org (Crossref)*, doi: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.

MAPA (MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO). **Diagnóstico da Produção Sustentável Da Palma De Óleo**. Brasília: MAPA, 2018. Disponível em:http://www.abrapalma.org/pt/wpcontent/uploads/2018/06/DIAGNOSTICO_PALMA1.pdf
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.; SMITH, C. K.; GHOLZ, H. L.; OLIVEIRA, F. DE A. 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. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** v. 104, p. 321–340, 2016.

PACHECO N.A; BASTOS T.X. **Frequência diária de chuva em Tomé-Açú, PA.** São Paulo, 2008.

PHOSRI, C.; RODRIGUEZ, A.; SANDERS, I. R.; JEFFRIES, P. The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v. 135. n.3. p. 187-193. 2010. Doi: [10.1016/j.agee.2009.09.006](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., PAVINATO, P.S., WITHERS, P.J.A., *et al.*, Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Sci. Total Environ.** v. 542, p. 1050–1061. 2016.. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.

SCHOLZ, R. W.; ROY, A. H.; BRAND, F. S.; HELSUMS, D. T.; ULRICH, A. E. (ORGS.). **Sustainable Phosphorus Management.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

SILVA, C. M., *et al.* Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 46, n. 1, p. 1-12, mar. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php>

SIMPSON, R. J.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; *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.

USEPA - 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.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:
SUSTENTARE FUD CAMPINAS
WIPES WIPIS

Apoio:
Agência das Bacias PCJ
COMITÊS PCJ

WITHERS, P. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in brazilian agriculture. **Scientific reports**, v. 8, p. 1, 2018.

VIJAY, V., PIMM, S., JENKINS, C., SMITH, S., The impacts of oil palm on recent deforestation and biodiversity loss. **PLoS One** 11 v. 7. 2016.