

FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA

FRANCISCO COSTA ZAIA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ
MARÇO - 2009

FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA

FRANCISCO COSTA ZAIA

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 070/2009

Zaia, Francisco Costa

Fósforo orgânico do solo em sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia / Francisco Costa Zaia. – 2009.
91 f. : il.

Orientador: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2009.
Bibliografia: f. 55 – 68.

1. Fósforo orgânico 2. Matéria orgânica 3. Sistemas agroflorestais
4. Fósforo I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 631.4

FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA

FRANCISCO COSTA ZAIA

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

Aprovada em 02 de Março de 2009.

Comissão examinadora:

Prof.^a Marta Simone Mendonça Freitas (D. Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Mauri dos Santos Manhães (Ph.D., Ciência do Solo) – UFRRJ

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D. Sc., Fitotecnia) – UENF

Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues (D. Sc., Ciência do solo) – UENF.
Orientador

“TUDO POSSO NAQUELE QUE ME FORTALECE”

A Deus, pelo encanto da vida.

Aos meus pais, Antonio e Fátima, pela vida, amor e apoio incondicionais.

A minha esposa Carina e filha Maria Victória.

A minha avó Isabel.

À minha querida irmã Patricia e familiares queridos.

Aos meus grandes amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos dá força de enfrentar todos os nossos desafios.

A minha filha, Maria Victória Moraes Zaia, razão da minha vida.

A minha esposa, Carina, pelo estímulo, confiança, amizade e amor.

Aos meus pais, minha irmã, minha avó e familiares, pelo amor, apoio, paciência e compreensão durante a vida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade concedida para realização do curso de Doutorado.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues, pela orientação, estímulo, compreensão e, acima de tudo, pela sua amizade.

À Prof. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pelos ensinamentos, colaborações e incentivo. Seu auxílio foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

Aos Pesquisadores Drs. Silvério de Paiva Freitas, Mauri dos Santos Manhães e a Dra. Marta Simone Mendonça Freitas pelas valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. Ary Carlos Xavier Velloso, pelo incentivo e sugestões valiosas.

Aos professores Geraldo de Amaral Gravina, José Tarcísio Lima Thiébaud e Rogério Figueiredo Daher pelas sugestões e auxílio estatístico.

A instituição Almirante Cacau, pelo apoio financeiro-logístico e disponibilização de funcionários para contribuição nos trabalhos de campo.

Aos amigos, Bruno Cereja e Silvério de Paiva Freitas Júnior, pela amizade e momentos felizes de descontração.

Aos novos amigos do curso de Pós-Graduação, que direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

As técnicas dos Laboratórios de solos da UENF e FUNDENOR, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Sidy Mactar Ndaw e Leonardo Dobbss pela ajuda nas análises estatísticas e sugestões valiosas.

A todas as pessoas que não foram mencionadas e que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

FRANCISCO COSTA ZAIA, filho de Antônio Osmair Zaia e Maria de Fátima Costa Zaia, nasceu em 5 de maio de 1979, em Piracicaba, Estado de São Paulo.

Em dezembro de 2002, diplomou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica pela FENORTE, FAPERJ e CNPq.

Em março de 2003, iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal (Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) e, em 23 de março de 2005, diplomou-se Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Em março de 2005, iniciou o Curso de Doutorado em Produção Vegetal (Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) e, em 02 de Março de 2009 defendeu esta tese, requisito indispensável para a obtenção do título de “**Doctor Scientiae**”.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I - FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS	
AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 Fósforo no solo	6
3.1.1. Formas de fósforo orgânico	6
3.1.2. Fósforo Orgânico	7
3.2. Efeito da vegetação nas frações de fósforo.	10
3.3. Sistemas Agroflorestais de cacau	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Sistemas Agroflorestais de cacau	13
4.2. Caracterização das áreas	14
4.3. Caracterização do experimento	15
4.3.1. Análise química e física do solo	15
4.3.2. Ecossistema de referência	15
4.3.3. Determinação do fósforo orgânico	16

4.4. Análise estatística	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1. Características químicas e físicas dos solos	22
5.2. Fósforo inorgânico, orgânico e total	25
5.3. Percentual das frações orgânicas e inorgânicas de P	39
5.4. Correlações	42
5.5. Análise Multivariada.	45
6. RESUMO E CONCLUSÕES	51
6.1. Resumo.	51
6.2. Conclusões	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO II – FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB	
AGROSSISTEMAS DE CACAU.	69
RESUMO	69
ABSTRACT	70
INTRODUÇÃO	70
MATERIAL E METODOS	71
RESULTADOS E DISCUSSÃO.	74
Cobertura Vegetal.	74
Camada de amostragem	81
CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXO	89

LISTA DE QUADROS

	Páginas
QUADRO 1. Características químicas de cada profundidade de amostras de solos nos diferentes plantios de cacau e mata natural no sul da Bahia	23
QUADRO 2. Características físicas de cada profundidade de amostras de solos nos diferentes plantios de cacau e mata natural no sul da Bahia	24
QUADRO 3. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	25
QUADRO 4. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia.....	27
QUADRO 5. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia.....	28

QUADRO 6. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia.....	30
QUADRO 7. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	35
QUADRO 8. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	35
QUADRO 9. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	36
QUADRO 10. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	36
QUADRO 11. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	37
QUADRO 12. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	37

QUADRO 13. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	38
QUADRO 14. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia	38
QUADRO 15. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (0-5 cm) sob os agrossistemas de cacau	42
QUADRO 16. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (5-15 cm) sob os agrossistemas de cacau	43
QUADRO 17. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (15-30 cm) sob os agrossistemas de cacau	44
QUADRO 18. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (30-50 cm) sob os agrossistemas de cacau	45
QUADRO 19. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 0-5 cm	46

QUADRO 20. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 5-15 cm	46
QUADRO 21. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 15-30 cm	47
QUADRO 22. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 30-50 cm	47

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1. Percentual das frações de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) em relação ao P total em amostras de solos sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia na camada 0-5 cm	40
FIGURA 2. Percentual das frações de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) em relação ao P total lábil em amostras de solos sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia na camada 0-5 cm	41
FIGURA 3. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 0 - 5 cm	48
FIGURA 4. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 5 - 15 cm	48
FIGURA 5. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 15 - 30 cm	49

FIGURA 6. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 30 - 50 cm	49
---	----

RESUMO

ZAIA, FRANCISCO COSTA, D. SC.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Março de 2009. **Fósforo orgânico do solo em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia.** Professor Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues. Co-orientador: Prof. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

O interesse no estudo da fração orgânica de fósforo (P) em ecossistemas naturais e agroecossistemas tem resultado não somente em avanços no conhecimento de sua amplitude de variação, mas também, na sua contribuição ao suprimento de P para a nutrição das plantas. O presente trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo de cacau sobre o fósforo orgânico (Po) do solo; avaliar o efeito do solo sobre o Po; avaliar o teor de Po total e as frações lábeis de P no solo; avaliar a variação do Po em diferentes profundidades e avaliar a relação do Po com as variáveis químicas e físicas dos agrossistemas de cacau. Foram avaliados diferentes modelos de sistemas agroflorestais no sul da Bahia, em dois tipos de solos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Húmicos Eutróficos, em que o cacau participa como principal componente dos sistemas tradicionais de cultivos e jardins clonais com diferentes espaçamentos: cacau implantado sob mata raleada ou “cabruca” e cacau implantado com derruba total, sob sombra de leguminosas. O estudo foi efetuado em 6 áreas localizadas em diferentes agrossistemas da região cacauera da Bahia. Duas áreas em solos Cambissolo localizadas no município de Itajuípe, sendo uma área na fazenda Almirante Cacau e uma na

área experimental da CEPLAC/CEPEC, e quatro áreas de solos Latossolo no município de Uruçuca, na fazenda Brasileira. O clima da região é quente e úmido e a pluviosidade média é de 1500 mm, bem distribuídos ao longo do ano, apresentando uma leve estiagem no verão, dezembro a fevereiro, e maior precipitação no inverno, junho a agosto. A área estudada foi composta por seis coberturas: Mata natural (MN), cacau renovado em sistema com *Erythrina* (CRE), cacau renovado em sistema cabruca (CRC), cacau antigo em sistema cabruca (CAC), cacau antigo em sistema com *Erythrina* (CAE) e jardim clonal adensado (JCA); onde foram implantadas em dois tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (MN, CRE, CRC e CAC) e Cambissolo (CAE e JCA). Os dados foram submetidos a análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Para comparação das médias foi usado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados também foram submetidos à análise multivariada através de componentes principais e técnicas de agrupamento (método de Tocher). Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% de probabilidade entre as diferentes frações de P e algumas propriedades químicas e físicas do solo. Os níveis de fertilidade dos solos sob diferentes tipos de sombreamento de cacau e mata natural variou de baixo a médio nos Latossolos e médio a alto nos Cambissolos, em todas as camadas analisadas. Os resultados mostraram maiores teores de Po lábil no JCA e, maiores valores da relação Po lábil/P total lábil na MN, evidenciando maior conservação de Po nesses sistemas. Houve tendência das formas de Po e Pi decrescerem com a profundidade. A MN, CAE e JCA, foram as coberturas florestais que mais se diferenciaram das demais, sugerindo que o tipo de vegetação e tipo de solo alteraram expressivamente a dinâmica dos nutrientes, em especial do Po, fazendo com que formas mais disponíveis fossem acumuladas nessas áreas. Observou-se correlação positiva significativa entre o Po lábil e Pt e entre o Po lábil e o P disponível (Mehlich-1), em todas as profundidades indicando estreita relação entre estas variáveis, confirmando a dependência da fonte orgânica em relação a fonte inorgânica, onde a variação e o estoque de Po estaria diretamente relacionado as adições de Pi. Esta correlação revela a similaridade entre os mecanismos de mobilização do Po no reservatório lábil, indicando a contribuição da forma orgânica de P na disponibilidade para as plantas. Assim, evidenciou-se que a acumulação do Po nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível.

ABSTRACT

ZAIA, FRANCISCO COSTA, D. Sc.; State University of the Fluminense North Darcy Ribeiro, march of 2009. **Organic phosphorus of the soil in cocoa agro forest system in the south of Bahia.** Guiding teacher: Prof. Dr. Antonio Carlos de Gama-Rodrigues. Co-guiding: Prof. Dra. Emanuela Forestieri de Gama-Rodrigues.

The interest in the study of the organic fraction of phosphorus (P) in natural ecosystems and agro ecosystems has resulted not only in progresses in the knowledge of its width variation, but also, in it's contribution to the supply of P for the nutrition of the plants. The present work had the following objectives: to verify the influence of the vegetable coverings and of the soil in the variation of the organic phosphorus (Po); to evaluate the tenor of total Po and the labor fractions of P in the soil; to evaluate the variation of the Po in different depths; to evaluate the relationship of the Po with the chemical and physical variables of the cocoa agro systems. Different models of agro forest systems were valued in the south of Bahia, in two kinds of soils, Latossolos Vermelho-Amarelo and Cambissolos Eutrophic Húmicos, in which the cocoa tree participates as main component of the traditional systems of cultivations and clone gardens with different spacing: cocoa implanted under raleada forest or "cabruca" and cocoa implanted with total drops, under leguminous shadow. The study was made in 6 areas located in different agro systems of the cocoa tree area of Bahia. Two areas in Cambissolo soils located in the municipal district of Itajuípe, one area in the farm Almirante Cocoa and another in the experimental area of CEPLAC/CEPEC, and four areas of

Latossolo soils in the municipal district of Uruçuca, in the Brazilian farm. The climate of the region is hot and humid and the medium raining is 1500 mm, well distributed along the year, presenting a light drought in the summer, December to February, and larger precipitation in the winter, June to August. The studied area was composed by six coverings: Natural forest (MN), cocoa renewed in system with Erythrina (CRE), cocoa renewed in cabruca system (CRC), old cocoa in cabruca system (CAC), old cocoa in system with Erythrina (CAE) and clone adensado garden (JCA); where they were implanted in two kinds of soils: Latossolo Vermelho-Amarelo (MN, CRE, CRC and CAC) and Cambissolo (CAE and JCA). It was entirely adopted the casual outline, with three repetitions. For the comparison of the averages the test of Tukey was used, to 5% of probability. They were established correlations of Pearson to 5% of probability between the different fractions of P and some chemical and physical properties of the soil. The levels of fertility of the soils under different kinds of cocoa shadow and natural forest varied from bass to medium in Latossolos and from medium to high in Cambissolos, in all of the analyzed layers. The level of fertility of the group of Cambissolos was superior from the group of Latossolos. The results showed larger tenors of Po labor in JCA and, larger values of the relationship Po labor/P total labor in MN, evidencing larger conservation of Po in those systems. There were tendency in the ways of Po and Pi decreased with the depth. The MN, CAE and JCA, were the covering forest that differed more from the others, suggesting that the kind of vegetation and the kind of the oil altered expressively the dynamics of the nutrients, especially the Po, making more available forms accumulated in those areas. Significant positive correlation was observed between the Po labor and Pt and between the Po labor and P available (Mehlich-1), in all of the depths indicating narrow relationship among these varied, confirming the dependence of the organic source in relation to the inorganic one, where the variation and the stock of Po would be directly related to the additions of Pi. This correlation reveals the similarity among the mechanisms of mobilization of the Po in the reservoir labor, indicating the contribution in the organic way of P in the readiness for the plants.

CAPITULO I - FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA

1. INTRODUÇÃO

No sul da Bahia a expansão de sistemas agroflorestais de cacau dá-se, normalmente, em solos ácidos e de baixa fertilidade. Nesta situação, para manter a capacidade produtiva do sistema é necessário o emprego de altas doses de fertilizantes. Entretanto, isso elevaria os custos de produção, reduzindo, por sua vez, a rentabilidade econômica. Assim, para reduzir a necessidade e maximizar o uso de fertilizantes é preciso otimizar a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Dentre os elementos minerais, o fósforo (P) seria o fator nutricional mais limitante à produção de cacau (Gama-Rodrigues, 2004).

Nos solos tropicais muito intemperizados e argilosos, a capacidade de fixação de P é elevada, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Desse modo, o solo compete com a planta pelo elemento, deixando de ser fonte para tornar-se dreno. Assim, em solos dreno praticamente não deve haver contato do P ciclado com a fase mineral desses solos. A planta absorveria diretamente do que mineralizasse do substrato orgânico (serapilheira) ou da fase orgânica (P orgânico no solo) sem dar chances ao substrato mineral do solo de se envolver no equilíbrio existente (Novais e Smyth, 1999). Nesse sentido, o P constitui-se no fator nutricional mais limitante à produção vegetal nos solos intemperizados.

Nesses solos, portanto, o ciclo bioquímico (ciclo biológico) é mais relevante que o ciclo geoquímico (Chen et al., 2003). A proporção de P orgânico no solo tende aumentar com o avanço do intemperismo.

Dessa maneira, a dinâmica do P orgânico está estreitamente associada à dinâmica da matéria orgânica do solo (Solomons et al., 2002). Assim, agroecossistemas acumuladores de matéria orgânica e de baixos insumos, como são os sistemas agroflorestais, especialmente os agrossistemas de cacau, seriam capazes de manter adequadamente a disponibilidade de P para as plantas (Gama-Rodrigues, 2004).

A importância relativa do P orgânico (Po) na nutrição das plantas aumenta nas condições de deficiência de P, resultante dos baixos teores totais de P e, ou, forte adsorção de P pelos oxihidróxidos de Fe e Al no solo. Nessas condições, a ciclagem de formas orgânicas mais lábeis é acelerada, sendo mais importante em solos tropicais altamente intemperizados (Silva e Mendonça, 2007).

Os solos de regiões tropicais úmidas, notadamente aqueles em estádios mais avançados de intemperismo, apresentam alta capacidade de adsorção de P, em decorrência da eletropositividade desenvolvida por argilossilicatos e óxidos (Novais e Smith, 1999). Ao longo do processo de intemperismo, as reações químicas, atuantes no material de origem e no próprio solo, levam à formação de minerais mais estáveis, como os oxihidróxidos de Fe e Al, os quais atuam como adsorventes deste elemento, propiciando limitação da disponibilidade deste elemento no sistema (Cross e Schlesinger, 1995). Portanto em condições tropicais, o P orgânico (Po) assume relevante importância na conservação do P disponível às plantas por reduzir os efeitos do processo de adsorção de P inorgânico (Pi), pela fase mineral do solo.

Nesse aspecto, o P biologicamente ativo, representado, em parte, pelo Po lábil, tem sua participação aumentada no compartimento de P total deste, conforme o grau de intemperismo do solo (Guo et al., 2000).

O P lábil é a fração do P total do solo que está disponível em curto prazo para a biota do solo e para a absorção da comunidade vegetal, em razão de ser rapidamente dessorvido da superfície dos minerais do solo ou pela mineralização do Po (Tiessen e Moir, 1993; Cross e Schlesinger, 1995).

O P do solo encontra-se distribuído em formas orgânicas e inorgânicas, sendo que o teor de P total e a distribuição dessas formas podem variar em

função do manejo do solo (Manhães, 1996; Rheinheimer e Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002), do material de origem e do grau de evolução genética do solo (Machado et al., 1993; Guerra et al., 1996; Manhães, 1996).

A participação do componente orgânico pode variar de 3 a 90% do teor de P total, ou de 1 a 3% da matéria orgânica do solo (Siqueira e Moreira, 2001), podendo corresponder à maior parte do teor de P disponível no solo (Guerra et al., 1996). O P orgânico é adsorvido preferencialmente em relação ao P inorgânico, tendo assim um efeito benéfico indireto, ao aumentar a disponibilidade do fósforo mineral no solo (Cantarella et al., 1992).

Em virtude da dinâmica do P nos solos mais intemperizados, a sua baixa disponibilidade para as plantas tem sido apontada como causa do baixo desenvolvimento da maioria das culturas cultivadas sem fertilizantes em solos das regiões tropicais. Nesse contexto, espera-se que o reservatório orgânico de P do solo forneça e seja o grande estoque de fósforo nos solos.

O P extraível do solo é usado para estimar a necessidade de suplementação de P via fertilização e representa um índice de disponibilidade de P para as plantas cultivadas. Todavia, esse índice ignora formas de P_i e P_o menos disponíveis (Beck e Sanches, 1994).

Nas florestas, em particular, a disponibilidade de P no solo não reflete o acúmulo deste elemento na biomassa, tampouco, o montante de P ciclado anualmente (Novais e Smith, 1999). Atribui-se, portanto, a formas menos lábeis de P_i e P_o , contidas em solos mais intemperizados, a absorção de P pelas plantas (Cunha et al., 2007). Essas formas, normalmente, não são detectadas por procedimentos comuns de determinação de P disponível (Tiessen et al., 1984). Desse modo, o P_o lábil extraído por NaHCO_3 , por ser facilmente mineralizado, contribuiria para a disponibilidade de P à planta (Bowman e Cole, 1978b).

O estudo do P_o em coberturas florestais torna-se essencial, à medida que se leva em consideração a importância da cobertura e da solução do solo. A decomposição dos resíduos e mineralização do P_o forneceriam fósforo inorgânico (P_i) para a reassimilação microbiana, absorção vegetal e reação com os componentes minerais.

Os sistemas agroflorestais e florestais, por promoverem grande acumulação de matéria orgânica no solo, o P disponível está estreitamente associado ao P_o lábil (Szott e Melendez, 2001; Lehmann et al., 2001; George et

al., 2002; Comerford et al., 2006). Nesses sistemas, além das formas lábeis de Po, o conteúdo de P da biomassa microbiana do solo possui também uma estreita relação com o P disponível (Grieson et al., 2004; Zaia, 2005), por constituir a fração ativa e de rápido “turnover” do ciclo de P no solo. Assim, ambas as frações de Po lábil, e de P microbiano constituiriam importantes reservatórios de P, diminuindo a capacidade de adsorção da fase mineral do solo e, conseqüentemente, o aumento da disponibilidade de P para as plantas.

Em solos tropicais, o Po pode ser grandemente afetado pela mudança da cobertura vegetal, alterando a disponibilidade de P (Szott e Melendez, 2001; Solomons et al., 2002; Zaia, 2005; Cunha et al., 2007). Assim, a caracterização do Po constitui-se de importância fundamental na compreensão do ciclo do P em solos de avançado estágio de intemperismo.

No Brasil, o cacau, por se caracterizar como uma cultura de sub-bosque, seja sob floresta natural, seja sob floresta homogênea, constitui agrossistema adequado para estudos de ciclagem de nutrientes (Gama-Rodrigues, 2004). A combinação do cacau com espécies não lenhosas (banana, mandioca, etc.) e espécies lenhosas (*Erythrina*, gliricídia, etc.), seria um bom exemplo da compatibilidade e complementaridade de diferentes espécies e ao mesmo tempo de sustentabilidade de sistemas de produção multi-estratificados (Muller e Gama-Rodrigues, 2007). Nesse sentido, alguns trabalhos de ciclagem de nutrientes têm sido realizados procurando dar ênfase no ciclo da matéria orgânica (Fassbender et al., 1988; Santana et al., 1990; Fontes, 2006) ou no ciclo hidrológico (Gama-Rodrigues e Miranda, 1991 a,b) e à sua contribuição no fornecimento de nutrientes. Contudo, tem sido pouco estudado o papel do Po na disponibilidade de P para a cultura do cacau, apesar desse agrossistema promover acumulação de matéria orgânica no solo (Fontes, 2006) e do P ser considerado o principal fator nutricional limitante à expansão dessa cultura em solos mais intemperizados (Santana et al., 1988). Assim, para os agrossistemas de cacau estudos sobre Po podem fornecer importantes subsídios para o desenvolvimento de técnicas de manejo da fertilização fosfatada, que sejam ecológica e economicamente sustentáveis.

2. OBJETIVOS

- I. Avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo de cacau sobre o Po do solo;
- II. Avaliar o efeito do solo sobre o Po do solo;
- III. Determinar o teor de Po total e as frações lábeis de P no solo;
- IV. Avaliar a variação do Po em diferentes profundidades;
- V. Avaliar a relação do Po com as variáveis químicas e físicas do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fósforo no solo

3.1.1. Formas de fósforo orgânico

A diversidade química da fração orgânica de P é grande, sendo constituída, principalmente, por mono e diésteres e governada em parte pela composição do material orgânico de origem (Busato, 2004). Os fosfatos de inositol compreendem 30 a 60%, os ácidos nucleicos e nucleotídeos 5%, os fosfolipídeos ao redor de 1%. Uma porção ainda expressiva de fósforo orgânico (Po) remanescente no solo é de origem desconhecida, mas, provavelmente ocorre como complexos insolúveis com minerais de argila e a matéria orgânica do solo (Tate, 1984; Nahas, 1991). A complexidade química do Po no solo, a susceptibilidade de alguns compostos em hidrolisar durante a extração, a adsorção com minerais de argila e a formação de sais insolúveis com cátions metálicos, são fatores compiladores para maior compreensão das formas de Po no solo (Tate, 1984).

O fosfato de inositol é o principal componente dos ortofosfatos de monoéster (ésteres de hexaidroxibenzeno), desde mono até hexafosfato de inositol, presentes em diferentes estereoisômeros, dependendo do arranjo estrutural dos grupos H^+ e OH^- (Novais e Smith, 1999). Possui forte interação com os minerais do solo e alta densidade de cargas, o que confere alta estabilidade contra ataques enzimático e microbiano (Busato, 2004). Turrión et al. (2001) encontraram relação direta entre formas de Fe e a quantidade de argila dos solos, apresentando possível caminho para estabilização dos componentes monoéster

do solo. Assim como o ortofosfato diéster, os compostos monoéster podem ser importantes para a manutenção de ecossistemas através de sua mineralização, controlando o suprimento de P disponível para as plantas, especialmente nos solos mais desenvolvidos (Tate e Newman, 1982).

Componentes diéster são importantes fontes de P para as plantas, possuindo participação destacada nas transformações desse nutriente nos ecossistemas (Makarov et al., 2002). Os ácidos nucléicos e os fosfolipídios participam como ortofosfatos diésteres, sendo que os ácidos nucléicos (DNA e RNA) correspondem a até 3% do fósforo orgânico total do solo (Novais e Smith, 1999). Esse componente possui baixa densidade de cargas e seus grupos fosfato são protegidos contra interação iônica. Isso permite o ataque microbiano, explicando sua baixa proporção na maioria dos solos (Busato, 2004). A persistência e o acúmulo de formas diéster têm sido observados em solos onde a atividade microbiana é restrita, devido à acidez, às baixas temperaturas ou em solo com deficiência de drenagem (Makarov et al., 1995). Ortofosfato diéster pode se tornar estável no solo através da adsorção nas argilas ou por associações com compostos húmicos (Turner et al., 2003).

Os componentes do P têm sido caracterizados através da espectrofotometria de ressonância nuclear magnética de ^{31}P (RMN ^{31}P), em diferentes profundidades e tamanho de partículas (Amelung et al., 2001; Makarov et al., 2004), associados às formas de P obtidas por diferentes extratores (Solomons et al., 2002; Taranto et al., 2000; Cade-Menun e Preston, 1996), em função da cobertura vegetal, manejo e uso do solo (Guggenberger et al., 1996; Gil-Sotres et al., 1990; Turrión et al., 2001) e em diversas outras situações onde a identificação estrutural desses compostos pode favorecer o entendimento sobre a participação desse nutriente nas reações do solo.

Avaliações de ^{31}P geralmente complementam e dão sustentação às conclusões baseadas na extração seqüencial, permitindo afirmar, por exemplo, que as formas diéster de P são mais lábeis e mais facilmente mineralizadas que as monoéster (Taranto et al., 2000).

3.1.2. Fósforo orgânico

O Po é um reservatório de P importante na nutrição de plantas, especialmente nos trópicos úmidos, em que os solos intemperizados apresentam

alta capacidade de fixação de P (Bornemisza e Igue, 1967). Desta forma, nos trópicos, ambientes agrícola ou florestal não fertilizados com altas quantidades de P solúvel, a fração orgânica de P assume, em relação ao P_i , grande importância na sustentação do crescimento vegetal (Cunha, 2002).

A fração orgânica do solo pode ser derivada dos resíduos de plantas, tecidos da flora e fauna do solo e resíduos que resistem à rápida hidrólise. A quantificação do P_o é necessária para melhor entender a mineralização-imobilização do P em particular sob sistemas de cultivo (Kuo, 1996).

A distribuição percentual do P_o em relação ao P_t é muito variável e depende de vários fatores, tais como: material de origem, grau de evolução pedogenética dos solos, teor de carbono e ação dos componentes climáticos, influenciando, em maior ou menor grau, o desdobramento dos compostos orgânicos do solo (Roberts et al., 1989). A fração argila também exerce influência no conteúdo de P no solo. De modo geral, o conteúdo de P total e de P_o aumentam com o teor de argila (Dalal, 1977; Anderson, 1980; Hedley et al., 1982; Machado et al., 1993).

Em regiões tropicais, nas quais o processo de intemperismo-lixiviação é intenso, os teores de P disponíveis para as plantas, no reservatório de P_o , são muito importantes. Em ecossistemas não perturbados, a fração inorgânica lábil de P é pequena e as plantas utilizam o P oriundo do processo de mineralização dos resíduos de plantas e animais pelos microorganismos (Tokura, 2001).

O P_o total do solo pode ser quantificado por, basicamente, dois métodos distintos: extração (Mehta et al., 1954) e ignição (Saunders e Williams, 1955). Modificações desses métodos em relação à variação de concentração de extratores, tempo de extração, tipo de extratores e comparação entre os métodos foram exaustivamente estudados (Bornemisza e Igue, 1967; Williams e Walkers, 1967; Williams et al.; 1970; Bowman e Cole, 1978a; Bowman, 1989). No Brasil, Guerra (1993) comparou dois métodos de extração com o método de ignição, concluindo que o método de extração proposto por Bowman (1989) conseguiu aliar rapidez e praticidade com acurácia na caracterização do P_o total de amostras de solos com estágio avançado de intemperização.

Guerra et al. (1996) verificaram que apesar do menor conteúdo, a fração orgânica do P (P_o) constituiu a maior parte do P disponível às plantas em 17

solos do sudeste brasileiro. Observaram-se, ainda, correlações significativas entre Po total e P total.

O Po total avaliado em amostras de horizonte A de solos de diversas classes taxonômicas representativas no Brasil, variou entre 8,71 e 138,19 mg kg⁻¹. A participação do Po lábil nessas amostras variou de 7,90 a 81,73% (Duda, 2000).

Em estudo envolvendo 26 classes de solos, o Cambissolo húmico álico sob mata apresentou a maior concentração de Po total 770 mg kg⁻¹. Outros Cambissolos apresentaram valores de Po total de 87,75; 108,34 e 186,51 mg kg⁻¹, sob vegetação de mata, pinus e eucalipto, respectivamente (Duda, 2000).

Machado et al. (1993), trabalhando com amostras de solos do Estado do Rio Grande do Sul, verificaram que a concentração de Po correspondeu a 57% do P total. Observaram, ainda, correlação significativa entre o Po e a matéria orgânica (MO).

Vários trabalhos evidenciam a importância e a relevância do Po no solo. Cunha et al. (2007), estudando duas florestas naturais e um plantio de eucalipto observaram que as florestas não se diferenciaram significativamente em relação ao P disponível (Mehlich-1), entretanto em relação ao Po ocorreu diferença significativa, ficando clara a importância e a relevância do Po na caracterização dos sítios florestais. Cunha et al. (2007) observaram ainda, que o Po correlacionou-se positivamente com o P disponível e com o C orgânico, mostrando, assim, a dependência da disponibilidade de P em relação à fonte orgânica.

Desse modo, fica evidente a importância do Po para a agricultura, podendo, ainda considerá-lo como um bom indicador de qualidade do solo, haja vista sua capacidade de distinção de sítios florestais.

O amplo predomínio de Po sobre o Pi em solução, na maioria dos solos (Ron Vaz et al., 1993; Magid et al., 1996) revela menor Fator Capacidade de P (FCP) (menor Q/I) para o Po do solo. Isso indica que o aumento do Po de solos com grande FCP os fazem fontes mais adequadas de P para as plantas, sem tantas restrições como as proporcionadas pela fase mineral. Certamente, a maior perda de P por lixiviação em formas orgânicas, como consequência do aumento de Po do solo, é bem menor “que perdas” de Pi na forma não-lábil, em solos mais intemperizados (Novais e Smyth, 1999), como os do Brasil.

A ciclagem do P na solução do solo é governada por uma combinação de processos biológicos e geoquímicos. Em solos novos, os processos geoquímicos são dominantes e o P da solução é proveniente, principalmente, das frações inorgânicas de P do solo. A entrada é muito pequena nos solos altamente resistentes, onde a fonte principal na solução resulta da mineralização do Po (Grierson et al., 2004).

A ciclagem do P regula a disponibilidade de P nos ecossistemas naturais, em que a decomposição da matéria orgânica e a mineralização do Po são as principais fontes de P para a vegetação. O P liberado pela mineralização é controlado, em maior parte, pelo complexo de adsorção/dessorção da fase mineral do solo. Transferências de P da vegetação ao solo são controladas pela decomposição do *litterfall* e da raiz (Grierson, et al. 2004).

3.2. Efeito da vegetação nas frações de fósforo

Nos agroecossistemas que privilegiam a manutenção de cobertura do solo por meio da deposição de resíduos vegetais sobre a superfície; a ciclagem do P e seu desdobramento assumem diferença relevante quanto ao seu comportamento. Estudos desenvolvidos por Chauhan et al. (1981), sobre a ciclagem de P no solo, mostraram as possíveis interações durante as transformações do nutriente. Observaram que o P adicionado ao solo era mobilizado e redistribuído em formas orgânicas e inorgânicas e que a disponibilidade na solução tinha uma relação direta com formas de Po.

Nas florestas tropicais, a formação da serapilheira, associada a altas taxas de decomposição de matéria orgânica atende parte da demanda de P pelas plantas, através da ciclagem de resíduos orgânicos, possibilitando o acúmulo de Po no solo.

Nas florestas em particular, a disponibilidade de P no solo não reflete o acúmulo de P na biomassa, nem tão pouco o montante de P ciclado anualmente (Novais e Smyth, 1999). Atribui-se, portanto, a formas menos lábeis de Pi e de Po, contidos em solos mais intemperizados, a absorção de P pelas plantas. Essas formas, normalmente, não são detectadas por procedimentos comuns de determinação de P disponível (Tiessen et al., 1984). Conforme Bowman e Cole (1978b), o Po lábil extraído por NaHCO_3 é facilmente mineralizado e contribui para a disponibilidade de P para a planta.

À semelhança do que ocorre em ecossistemas florestais as reservas orgânicas e minerais em agrossistemas de cacau encontram-se na fitomassa, na serapilheira e no próprio solo. Os agrossistemas de cacau, cabruca e tecnicamente formados constituem-se em um sistema conservacionista do solo, tanto pelo recobrimento total do terreno como pela densa camada de resíduos orgânicos (Santana et al., 1988).

No sistema de plantio, conhecido como “cabruca”, conserva-se apenas parte selecionada das árvores da mata nativa, substituindo-se o sub-bosque por cacauzeiros, e devido às características de formação destes agrossistemas, pode-se ainda encontrar no sul da Bahia uma das maiores concentrações de árvores nativas do nordeste brasileiro (Fontes, 2006).

Os plantios tecnicamente formados com *Erythrina*, além de sua importância para a recuperação e conservação do solo, aumentam o aporte de nitrogênio no solo via fixação biológica e, desta forma, constituem-se em uma importante alternativa para implantação de novos sistemas agroflorestais de cacau em áreas ocupadas com outras culturas que apresentam baixa sustentabilidade do potencial produtivo, muitas destas em processo de degradação (Fontes, 2006).

Os sistemas agroflorestais de cacau não devem ser considerados apenas como mais um sistema agrícola, pois a sua importância para a recuperação e conservação ambiental é muito grande na região cacauzeira.

3.3. Sistemas agroflorestais de cacau

A introdução da cultura de cacau no Sudeste da Bahia data de 1746, quando sementes trazidas do Pará foram plantadas no município de Canavieiras, expandindo-se daí para diferentes zonas da região. A expansão inicial da cultura do cacau processou-se em solos de elevada e média fertilidade e que não apresentavam limitações físicas (Cabala-Rosand, 1996).

O cacau, por se caracterizar como uma cultura de sub-bosque, seja sob floresta natural, seja sob floresta homogênea, constitui um agrossistema adequado para os estudos de ciclagem de nutrientes (Gama-Rodrigues, 2004).

Em agrossistemas de cacau, sombreados com *Erythrina*, no sul da Bahia o balanço do N, P, K, Ca e Mg é positivo, apesar da intensa decomposição e mineralização. Há uma considerável quantidade de acúmulo de serapilheira e respectivos conteúdos de nutrientes neste material e no solo em diversos

agrossistemas de cacau do sul da Bahia. Desde que o manejo seja adequado (cacau-leguminosa florestal), a adubação nitrogenada não é necessária (Cabala-Rosand et al., 1988).

Um dos efeitos positivos das árvores sobre o solo e, por conseguinte, a produtividade dos sistemas agroflorestais é o aumento e manutenção da matéria orgânica. No caso das leguminosas tem-se o incremento do N pela fixação biológica. Este atributo proporciona, em um manejo adequado, balanço positivo do N, reduzindo assim a necessidade de ingressos de fertilizantes nitrogenados (Fontes, 2006).

Enquanto árvores em sistemas agroflorestais podem suprir satisfatoriamente N para os cultivos associados, a habilidade delas para suprir P é muito limitada (Palm, 1995; Sanchez, 1995; Nair et al., 1999). Balanços do P em sistema de aléias são freqüentemente negativos, por isso a resposta à fertilização mineral é comum (Sanchez, 1995). A aplicação de resíduos florestais ao solo pode aumentar a disponibilidade de P aos cultivos, especialmente em solos altamente intemperizados (Nair et al., 1999). Isso ocorreria mediante o processo de decomposição e liberação do P da biomassa ou indiretamente pela produção de ácidos orgânicos (produtos da decomposição) que iriam complexar o Fe e Al, reduzindo os efeitos da reação de fixação de P (Coleman et al., 1983).

Em razão da natureza complexa dos sistemas agroflorestais, os métodos convencionais de análise de fertilidade do solo não são sensíveis o bastante para detectar alteração na disponibilidade de nutrientes, especialmente de N e P, em sistemas de baixos insumos. Novos métodos precisam ser desenvolvidos (Sanchez, 1995). Neste caso, os métodos para avaliar os processos biológicos do solo (N e P orgânico, decomposição e biomassa microbiana, por exemplo) tornam-se muito relevantes (Anderson e Ingram, 1996; Gama-Rodrigues e De-Polli, 2000). No entanto, ainda carecem de padronização e ausência de repetibilidade e níveis críticos (Fontes, 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Sistemas Agroflorestais de cacau

Foram avaliados diferentes modelos de sistemas agroflorestais no sul da Bahia, em dois tipos de solos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Húmicos Eutróficos, em que o cacau participa como principal componente dos sistemas tradicionais de cultivos e jardins clonais com diferentes espaçamentos: cacau implantado sob mata raleada ou “cabruca” e cacau implantado com derruba total, sob sombra de leguminosas. O estudo foi efetuado em 6 áreas localizadas em diferentes agrossistemas da região cacauera da Bahia. Duas áreas em solos Cambissolo localizadas no município de Itajuípe, sendo uma área na fazenda Almirante Cacau e uma na área experimental da CEPLAC/CEPEC, e quatro áreas de solos Latossolo no município de Uruçuca, na fazenda Brasileira. O clima da região é quente e úmido e a pluviosidade média é de 1500 mm, bem distribuídos ao longo do ano, apresentando leve estiagem no verão, dezembro a fevereiro, e uma maior precipitação no inverno, junho a agosto.

Cacau implantado sob mata raleada (cabruca). A cabruca é o sistema de cultivo do cacau em consórcio com matas nativas ou capoeiras densas. Baseia-se na substituição de estratos florestais por uma cultura de interesse econômico, implantada no sub-bosque de forma descontínua e circundada por vegetação natural. No sistema cabruca a vegetação rasteira é roçada e as árvores de menor porte, que oferecem maior competitividade ao cacau, são retiradas permanecendo somente aquelas que poderão ser utilizadas como sombra

provisória do cacauero e, em alguma situação, até como sombra definitiva. Após esta operação, selecionam-se as árvores de copa alta e pouco densa para o sombreamento definitivo e, então, derrubam-se as restantes. No sistema denominado plantação comum, a distribuição dos cacaueros é desuniforme, correspondendo em média a uma população de aproximadamente 700 plantas por hectare.

Cacau implantado com derruba total. Neste sistema foi retirado todo revestimento florístico da área (método de derruba total), plantando-se em seguida as espécies utilizadas como sombreamento provisório (normalmente bananeira) e como sombreamento definitivo (em geral, *Erythrina fusca*). A densidade do sombreamento definitivo é de 25-30 plantas/ha e de cacaueros de 1.111 plantas por hectare.

4.2. Caracterização das áreas

1 - Mata, fazenda brasileira (**MN**) – pouca intervenção antrópica. Área de 1.500 m² sobre solo de Latossolo.

2 - *Erythrina* com plantio aleatório de 35 anos (*Erythrina glauca*), fazenda brasileira (**CRE**) – sombreamento > 30%, sem adubação nos últimos 10 anos. Área com renovação de copas de 1,5 anos, sem recepa. Área de 1.500 m² sobre solo de Latossolo.

3 - Cabruca de 35 anos, fazenda brasileira (**CRC**) – sombreamento > 30%, sem adubação nos últimos 10 anos. Área com renovação de copas com 1,5 anos, sem recepa. Área de 1.500 m² sobre solo de Latossolo.

4 - Cabruca de 70 anos, Fazenda Brasileira (**CAC**) – sombreamento > 30%, adubada até 2002 com 300 kg/ha da fórmula B (15-35-10) (N, P₂O₅, K₂O). Área com renovação de copas de 1,5 anos, com recepa. Área de 1.500 m² sobre solo de Latossolo.

5 - *Erythrina* tecnicamente formada com 25 anos, CEPLAC/CEPEC (**CAE**) – sombreamento > 30%, sem adubação nos últimos 10 anos. Área com renovação de copas menos de 1 ano, sem recepa. Área de 1.500 m² sobre solo de Cambissolo.

6 - Cacau em jardim clonal adensado, Fazenda Almirante Cacau (**JCA**) – sombreamento com glirícidia e *Erythrina* < 30%, adubação anual com 300 kg/ha

da formula A (11-30-17) (N, P₂O₅, K₂O). Área de 1.500 m² sobre solo de Cambissolo.

Assim foram seis áreas experimentais estudadas no total, compostas por: Mata natural (MN), cacau renovado em sistema *Erythrina* (CRE), cacau renovado em sistema cabruca (CRC), cacau antigo em sistema cabruca (CAC), cacau antigo em sistema *Erythrina* (CAE) e jardim clonal adensado (JCA).

4.3. Caracterização do experimento

4.3.1. Análise química e física do solo

Foi realizada a caracterização da fertilidade, da textura do solo e do fósforo orgânico (Po) nas amostras de solo dos diferentes sistemas agroflorestais. Foram coletadas 15 amostras simples que foram combinadas para formar uma amostra composta nas profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm, em um total de três amostras compostas por área experimental.

As amostras dos solos, coletadas de uma mesma área estudada, foram destorroadas, secadas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA), usada posteriormente para caracterização química e física (Quadros 1 e 2).

O solo sob as coberturas florestais foi caracterizado quimicamente em três amostras compostas para cada profundidade, coletadas nos meses de dezembro de 2003 a janeiro de 2004, nas profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm, conforme os métodos descritos pela EMBRAPA (1999): pH em água; P e K extraíveis por Mehlich-1 e determinados, respectivamente, por colorimetria (pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974) e fotometria de chama; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹, sendo o Ca e o Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹; C-orgânico total por oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996) e N total pelo método Kjeldahl. O P total das amostras foi dosado a partir da digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1999).

4.3.2. Ecossistema de referência

Amostras de solo de fragmento de mata natural, no sul da Bahia, com baixo índice de exploração foram coletadas em uma parcela de 1.500 m² e analisadas para servir de referência às coletadas nos outros sistemas.

4.3.3. Determinação do fósforo orgânico (Po)

A quantificação do Po total foi obtida empregando-se o método de extração que consiste na solubilização das substâncias orgânicas através da adição de ácido e, em seguida, aumentando o pH do meio pela adição de álcali. O Po foi extraído juntamente com as substâncias orgânicas, as quais foram destruídas em digestão posterior do extrato. O método de Bowman (1989) foi utilizado (Diagrama 1) para se quantificar o Po total, modificado por Guerra (1993), mediante o uso de carvão ativado para clarificação do extrato no momento da determinação de Pi extraído.

Em razão da ocorrência de Pi no carvão ativado, foram necessárias lavagens sucessivas para se obter carvão livre de Pi. Em cada extração foi utilizado carvão lavado pela mesma solução extratora, exceto na extração por H_2SO_4 , para a qual o carvão foi lavado com HCl 6 mol L^{-1} . As lavagens sucessivas objetivaram evitar contaminação das amostras com Pi.

Pesaram-se 2,0 g de solo seco ao ar (passado em peneira de 180 μm de abertura) em tubo de centrífuga. Adicionaram-se 3 mL de H_2SO_4 concentrado (18 mol L^{-1}) ao tubo contendo solo. Agitou-se o tubo suavemente para a completa imersão e mistura da amostra com o ácido. Adicionaram-se, em seguida, 4 mL de água destilada em alíquotas de 1 mL por vez. Após cada mL adicionado, agitou-se suavemente o tubo. Em seguida, acrescentaram-se 43 mL de água destilada e agitou-se novamente o tubo. Centrifugou-se posteriormente a $1500 \times g$ por 10 min. Filtrou-se o sobrenadante utilizando-se papel de filtro Whatman nº 42, transferindo-o para um frasco limpo. Tomou-se o papel de filtro utilizado na filtração do extrato ácido devolvendo-o para o mesmo tubo de centrífuga contendo o solo. Adicionaram-se 40 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Após a adição de NaOH , agitou-se por 30 minutos a suspensão. Colocou-se o tubo de centrífuga em banho-maria a 80°C por 2 h. Após este período, o tubo de centrífuga foi resfriado em água corrente, sendo, posteriormente, centrifugado e filtrado como na extração ácida.

De posse dos extratos ácido e alcalino, retirou-se uma alíquota de 5 mL de cada um para a determinação do P total, em um tubo de digestão. Antes de levar ao bloco digestor, acrescentaram-se 1 mL de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ saturado no extrato ácido e, em seguida, 1 mL de HClO_4 concentrado. Agitou-se o tubo vagarosamente, colocando-o, em seguida, no bloco digestor em temperatura

inicial de 80°C, elevando-se a mesma lentamente até atingir 180 °C. Quando ocorreu a formação de gel incolor no fundo do tubo encerrou-se a digestão. Após o resfriamento do tubo, adicionaram-se 5 mL de água destilada e aqueceu-se, para em seguida, transferir quantitativamente o volume do tubo para um balão volumétrico de 50 mL. Logo após, retirou-se uma alíquota para a quantificação do P total.

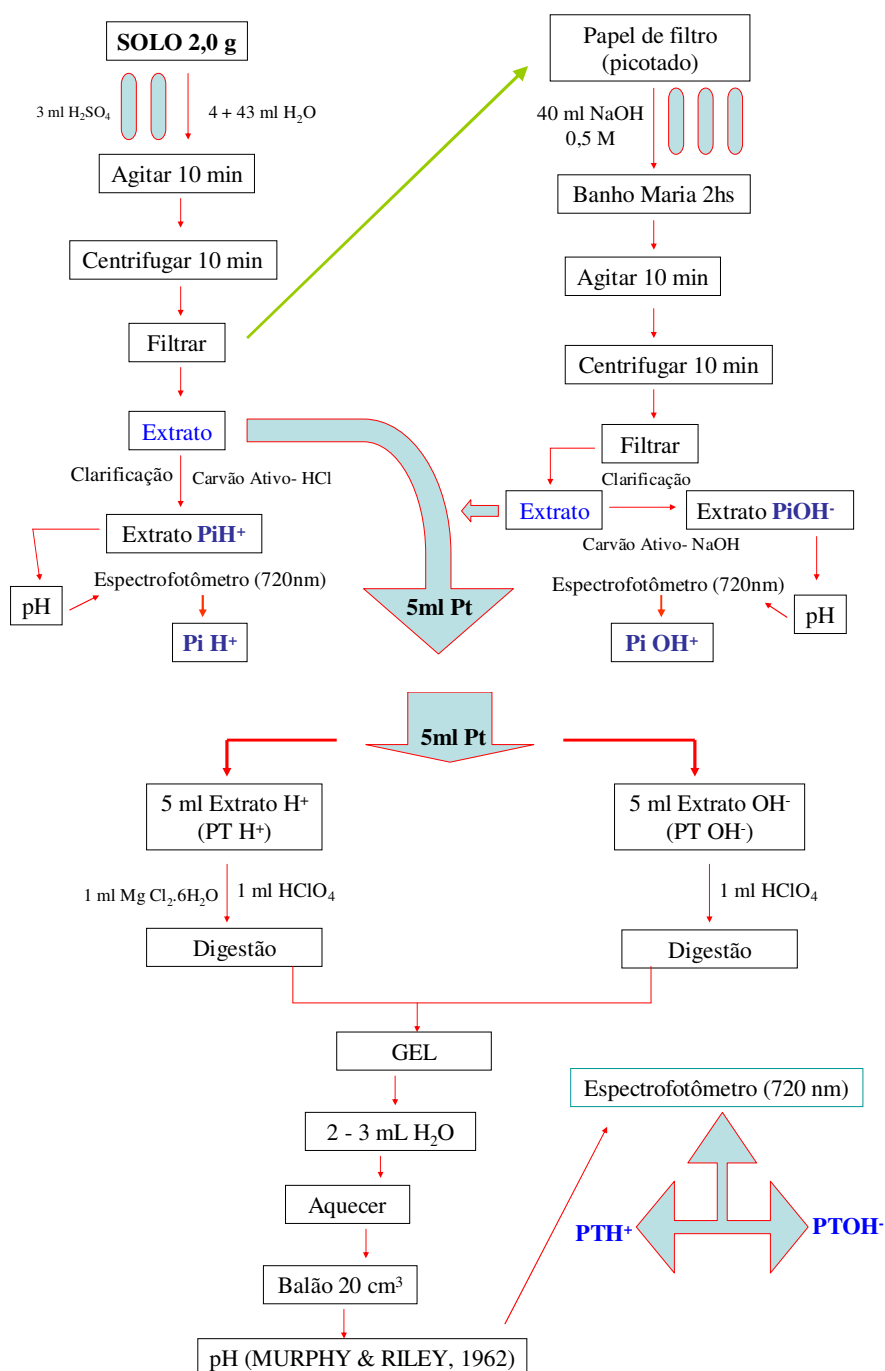


Diagrama 1. Extração do P orgânico total conforme Bowman (1989)

O P total do extrato digerido foi determinado pelo método Murphy e Riley (1962), com neutralização da acidez pela adição, gota a gota, de NaOH 5 mol L⁻¹ em presença de *p*-nitrofenol. A dosagem do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

Para a determinação do Pi nos extratos ácido e alcalino adicionaram-se 0,5 cm³ de carvão ativado purificado em 20 mL de extrato em um frasco snap-cap, agitando-se manualmente. Posteriormente, filtraram-se os extratos utilizando-se papel de filtro rápido, recolhendo o filtrado em outro frasco. Nos extratos clarificados determinou-se o Pi pelo método Murphy e Riley (1962). O teor de Pi nos extratos alcalinos foi determinado pelo método de Dick e Tabatabai (1977). A dosagem do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

O teor de Po total foi estimado a partir da soma das diferenças dos valores de P total dos extratos ácidos e alcalinos e seus respectivos conteúdos de Pi. Assim,

$$Po(H^+) = P \text{ total } (H^+) - Pi (H^+)$$

$$Po(OH^-) = P \text{ total } (OH^-) - Pi (OH^-)$$

$$Po \text{ total} = Po (H^+) + Po (OH^-)$$

A quantificação do P lábil foi realizada empregando-se o método de extração com NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹ conforme Olsen et al. (1954), mas determinando-se no extrato o Po lábil (Bowman e Cole, 1978a) – Diagrama 2.

Em snap-cap colocaram-se 2,5 g de TFSA. Adicionaram-se 50 mL de NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹ com pH ajustado para 8,5. Agitou-se o snap-cap contendo a suspensão por 30 minutos a 220 rpm. Após a agitação, colocou-se a suspensão em repouso por 30 minutos. Posteriormente, filtrou-se o extrato em papel de filtro lento para um novo frasco snap-cap.

Do extrato filtrado retiraram-se 5 mL, transferindo-os para um tubo de digestão (determinação do P total lábil). Adicionou-se 1 mL de MgCl₂.6H₂O saturado e, em seguida, 1 mL de HClO₄ concentrado. Agitou-se a amostra e levou-se o tubo para o bloco digestor aquecido a 80 °C. A temperatura foi elevada lentamente até atingir 180 °C. A digestão foi feita até a formação de um gel incolor. Após o resfriamento do tubo, adicionaram-se 5 mL de água destilada, aqueceu-se o tubo e transferiu-se o extrato digerido para um balão volumétrico de

25 mL. Retirou-se uma alíquota para a determinação de Pi da mesma forma que na determinação de P dos extratos ácido e alcalino.

Uma outra alíquota do extrato filtrado foi retirada e colocada em um frasco, onde se adicionaram 0,5 cm³ de carvão ativado purificado com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹. Agitou-se a mistura e, em seguida, filtrou-se em papel de filtro rápido, recolhendo-se o filtrado em outro recipiente. Quantificou-se, então, o Pi extraído pelo método de Murphy e Riley (1962). A dosagem do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm). O teor de Po lábil foi então calculado:

$$\text{Po lábil} = \text{P total lábil do extrato (NaHCO}_3) - \text{Pi lábil (NaHCO}_3)$$

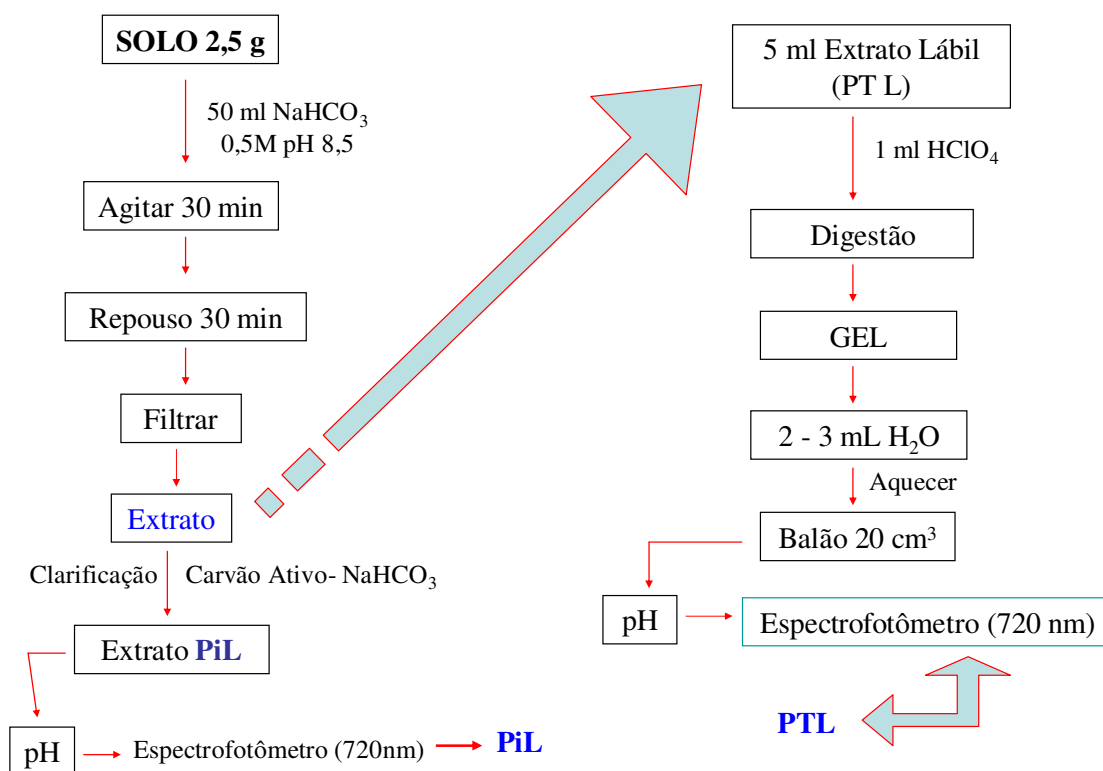


Diagrama 2. Extração do P orgânico lábil conforme Bowman e Cole (1978a)

4.4. Análises estatísticas

Em cada cobertura vegetal, na comparação entre as camadas de amostragem para os teores das frações de Pi, Po e Pi+Po do solo, os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Para comparação das médias foi usado o teste

Tukey, a 5% de probabilidade. Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% entre as diferentes frações de P e alguns atributos químicos e físicos do solo, conforme Zaia et al. (2008).

Cada cobertura vegetal, foi considerada um tratamento de efeito fixo. Assim, os dados das frações de P_o (total e lábil), P disponível (Mehlich-1), P total, pH, C orgânico e argila foram submetidos à análise multivariada, usando-se técnicas de agrupamento (método de Tocher) e análise de componentes principais (ACP) com objetivo de sintetizar sua variação multidimensional em um diagrama, ordenando-os nos componentes, de acordo com suas similaridades.

A análise por componentes principais consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Além disso, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação em termos de variação total contida nos dados iniciais (Cruz e Regazzi, 1994). A análise de componentes principais e o método de Tocher possibilitam o estudo da similaridade ou dissimilaridade inter e intragrupos. A importância de cada variável sobre a variação total disponível entre as coberturas estudadas foi avaliada por meio da distância euclidiana média padronizada.

As seguintes propriedades são verificadas para os componentes principais:

a) Se y_{ij} é uma componente principal, então:

$$Y_{ij} = a_1 y_{i1} + a_2 y_{i2} + \dots + a_n y_{in}$$

b) Se y_{ij}' é outra componente principal, então:

$$Y_{ij}' = b_1 y_{i1} + b_2 y_{i2} + \dots + b_n y_{in}, \text{ de tal forma que:}$$

$\sum_j a_j^2 = \sum_j b_j^2 = 1$ e $\sum_j a_j b_j = 0$, ou seja, os componentes principais não são correlacionados.

Dessa forma, observou-se a diferença existente entre as coberturas estudadas através de análise gráfica dos componentes principais.

Com a técnica de agrupamento de Tocher calculou-se a distância euclidiana média padronizada através do estimador:

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_j (Y_{ij} - Y_{i'j})^2}, \text{ onde } i \text{ e } i' \text{ representam as médias das variáveis}$$

estudadas nos solos sob as diferentes coberturas consideradas.

O uso de métodos de aglomeração objetiva a reunião de entidades em grupos homogêneos, de tal forma que seja minimizada a variação dentro e maximizada a variância entre grupos. As técnicas de agrupamento permitem, ainda, dividir um grupo de observações em diversos outros grupos menores e mais homogêneos, a partir de algum critério de similaridade ou dissimilaridade (Cruz, 1990).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características químicas e físicas dos solos

A textura e o nível de fertilidade do solo variaram amplamente entre as coberturas vegetais (Quadros 1 e 2). O grupo de Cambissolos apresentou menor acidez e maior nível de fertilidade do solo do que o grupo dos Latossolos. Neste grupo de solos, a maior acidez e o menor nível de fertilidade ocorreram no solo sob mata natural em relação aos agrossistemas de cacau.

De maneira geral, o nível de fertilidade do solo sob mata natural foi inferior às demais coberturas de cacau, mesmo no grupo dos Latossolos. Estes resultados evidenciam que o efeito residual da calagem e da adubação ainda se manteria mesmo após 10 anos. Isto, que juntamente com uma eficiente ciclagem de nutrientes nas coberturas de cacau contribuiu para essa maior eficiência.

Os maiores teores de argila ocorreram no grupo de Latossolos, sendo o solo mais argiloso sob mata natural. Considerando os teores de argila, os teores de P disponível (Mehlich-1) foram baixos no grupo de Latossolos, enquanto no grupo de Cambissolos esses teores variaram de médio a muito alto.

Observa-se que o nível de fertilidade variou de baixo a médio no grupo de Latossolos e médio a alto no grupo de Cambissolos, em todas as camadas analisadas. A fertilidade da camada 0-5 cm foi superior às das camadas subjacentes (Quadro 1).

QUADRO 1. Características químicas de cada profundidade de amostras de solos nos diferentes plantios de cacau e mata natural no sul da Bahia

PROFUNDIDADE 0-5 CM									
Cobertura	pH	C	N	Pt ^{2/}	P ^{3/}	K	Ca	Mg	Al
		----- g kg ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----			----- mmolc kg ⁻¹ -----		
MN ^{1/}	3,8	41,1	3,9	585,0	4,3	69,0	14,0	11,0	19,2
CRE	4,6	39,7	2,9	690,0	7,7	53,0	39,0	23,0	2,7
CRC	4,9	40,2	3,3	715,0	6,7	44,7	48,0	35,0	0,8
CAC	5,4	39,5	2,6	736,0	6,8	114,0	58,0	31,0	0,2
CAE	5,9	16,9	3,4	989,0	17,0	97,3	102,0	47,0	0,0
JCA	6,0	29,2	2,1	1289,0	73,3	87,0	124,0	65,0	0,0
PROFUNDIDADE 5-15 CM									
MN ^{1/}	3,9	36,3	2,4	468,0	1,3	43,3	6,0	4,0	22,3
CRE	4,3	26,3	1,9	496,8	3,6	34,0	13,0	9,0	8,9
CRC	4,6	24,0	1,9	536,3	2,6	28,3	15,0	13,0	3,9
CAC	4,9	22,7	2,1	588,8	2,4	76,0	19,0	15,0	1,8
CAE	5,8	15,0	1,3	811,0	10,9	62,0	69,0	33,0	0,0
JCA	6,1	13,4	1,3	1095,7	32,2	38,0	98,0	58,0	0,0
PROFUNDIDADE 15-30 CM									
MN ^{1/}	3,9	23,9	2,3	407,2	0,8	29,3	4,0	3,0	19,1
CRE	4,0	15,3	1,4	408,9	2,2	22,3	5,0	3,0	10,3
CRC	4,2	16,1	1,5	454,7	1,0	18,7	6,0	5,0	7,3
CAC	4,4	15,6	1,5	476,3	0,9	46,0	7,0	6,0	7,1
CAE	5,5	8,0	0,6	707,2	16,1	62,3	55,0	29,0	0,0
JCA	5,9	9,2	1,1	884,2	21,5	27,3	87,0	66,0	0,1
PROFUNDIDADE 30-50 CM									
MN ^{1/}	4,0	15,2	1,3	360,3	0,2	13,0	2,0	2,0	14,0
CRE	4,1	10,4	1,1	335,7	0,9	15,0	2,0	2,0	11,1
CRC	4,2	10,0	1,3	383,3	0,4	7,0	3,0	3,0	7,7
CAC	4,3	9,3	1,2	422,5	0,2	20,7	4,0	4,0	9,7
CAE	5,4	5,7	1,2	636,5	14,5	55,3	51,0	27,0	0,3
JCA	5,1	5,2	1,0	795,8	172,0	22,3	95,0	87,0	5,8

^{1/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo. ^{2/} Fósforo total. ^{3/} Fósforo disponível por Mehlich-1.

QUADRO 2. Características físicas de cada profundidade de amostras de solos nos diferentes plantios de cacau e mata natural no sul da Bahia

PROFUNDIDADE DE 0-5 CM				
Cobertura	Argila	Silte	Areia	Classificação Textural
	----- % -----			
MN ^{1/}	51,9	9,9	38,2	ARGILA
CRE	44,0	12,9	43,1	ARGILA
CRC	39,8	9,1	51,1	ARGILO ARENOSA
CAC	37,4	10,7	51,9	ARGILO ARENOSA
CAE	23,5	34,5	42,0	FRANCA
JCA	20,5	27,8	51,8	FRANCA
PROFUNDIDADE DE 5-15 CM				
MN ^{1/}	53,8	12,4	33,8	ARGILA
CRE	48,8	14,9	36,4	ARGILA
CRC	44,6	12,2	43,3	ARGILA
CAC	41,5	13,4	45,1	ARGILO ARENOSA
CAE	22,3	37,6	40,0	FRANCA
JCA	17,6	29,6	52,8	FRANCO ARENOSA
PROFUNDIDADE DE 15-30 CM				
MN ^{1/}	56,0	15,0	29,0	ARGILA
CRE	53,0	16,0	30,9	ARGILA
CRC	47,6	13,2	39,2	ARGILA
CAC	52,3	10,8	36,9	ARGILA
CAE	25,4	33,5	41,1	FRANCA
JCA	19,8	28,3	51,9	FRANCO ARENOSA
PROFUNDIDADE DE 30-50 CM				
MN ^{1/}	67,8	8,4	23,8	MUITO ARGILOSA
CRE	63,1	10,9	25,9	MUITO ARGILOSA
CRC	58,6	7,2	34,2	ARGILA
CAC	59,9	8,5	31,6	ARGILA
CAE	29,6	29,7	40,7	FRANCO ARGILOSA
JCA	29,8	25,9	44,3	FRANCO ARGILOSA

^{1/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo.

5.2. Fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total

A relação (Pi+Po)/P total indica a taxa de recuperação do método em relação ao P total do solo por digestão. A taxa de recuperação do método, na camada 0-5 cm, variou de 39 a 168% (Quadro 3). As taxas de recuperação encontradas por Condrón et al. (1990) variaram entre 30 e 107% do P total, por Guerra et al. (1996), entre 48 e 109% e por Cunha et al. (2007) entre 50 a 82%.

Na camada 0-5 cm verifica-se que o Pi total variou nos solos sob todas as coberturas vegetais (Quadro 3). O Pi lábil variou de 3,78 a 38,58 mg kg⁻¹, com um valor médio de 12,23 mg kg⁻¹. Os maiores valores de Pi total e Pi lábil foram encontrados no cacau antigo em sistema com *Erythrina* e no jardim clonal adensado, mostrando que essas coberturas podem ser importantes reservas de Pi para aumento e disponibilidade de Po. Observa-se, também, a influência do tipo de solo, onde os maiores valores de Pi foram encontrados nos Cambissolos (Quadro 3).

QUADRO 3. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Pó	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----						
MN ^{2/}	212,84 f ^{1/}	3,78 d	44,79 e	17,13 b	257,64 e (44) ^{3/}	20,91 c
CRE	338,19 c	6,06 c	60,43 d	15,07 c	398,62 d (57)	21,13 c
CRC	261,96 e	4,17 d	22,27 f	12,80 d	284,23 f (39)	16,97 d
CAC	314,21 d	5,84 c	179,31 c	10,82 e	493,52 c (67)	16,67 d
CAE	1207,03 a	14,95 b	461,80 a	16,33 bc	1668,83 a (168)	31,28 b
JCA	881,92 b	38,58 a	391,03 b	19,08 a	1272,95 b (98)	57,66 a
Média	536,02	12,23	193,27	15,20	729,30	27,43
CV (%)	1,30	3,38	4,11	5,50	1,12	3,06

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

O Po total também apresentou diferenças significativas nos solos sob todas as coberturas florestais (Quadro 3). O teor de Po total apresentou valor médio de 193,27 mg kg⁻¹ de solo, variando de 22,27 até 461,80 mg kg⁻¹ de solo, demonstrando a capacidade diferencial na acumulação de Po destes solos. O menor teor foi observado no cacau renovado cabruca (CRC) e o maior no cacau antigo em sistema com *Erythrina* (CAE), os quais apresentaram, respectivamente, um dos mais baixos e um dos mais elevados teores de P disponível (Quadro 1). Quantidades mais elevadas de Po total foram verificadas no CAE (461,80 mg kg⁻¹) e no jardim clonal adensado (391,03 mg kg⁻¹) (Quadro 3). Estes resultados revelam que além da influência das coberturas vegetais há uma marcante influência dos diferentes tipos de solo, na variação do Po.

Em um estudo envolvendo 26 classes de solos, o Cambissolo húmico álico sob mata apresentou a maior concentração de Po total 770 mg kg⁻¹. Outros Cambissolos apresentaram valores de Po total de 87,75; 108,34 e 186,51 mg kg⁻¹, sob vegetação de mata, pinus e eucalipto, respectivamente (Duda, 2000).

O Po lábil apresentou valor médio de 15,20 mg kg⁻¹, variando de 10,82 a 19,08 mg kg⁻¹ (Quadro 3). Os maiores valores de Po lábil foram encontrados no jardim clonal adensado, no cacau antigo em sistema com *Erythrina* e na mata natural (MN). A MN apresentou menor valor de Po total e valor elevado de Po lábil. Possivelmente, deve-se ao maior poder tampão do solo sob MN, mostrando a sensibilidade do P lábil a alterações do P da solução e, também, pelo fato de o sistema ser um sistema auto-sustentável, caracterizado por eficiente ciclagem de nutrientes.

O P total do solo variou significativamente entre todas as coberturas vegetais (Quadro 3). Em relação ao P total lábil, as coberturas MN e CRE apresentaram os mesmos valores, que não diferiram entre si, assim como as coberturas CRC e CAC. Isto evidencia, que o estoque total lábil de P no solo está sendo influenciado pela ação da cobertura vegetal, uma vez que as coberturas estão sob mesmo tipo de solo. Os cambissolos apresentaram maiores estoques de P total lábil.

Em relação à camada 5-15 cm, diferenças significativas no teor de Pi total foram encontradas em todas as coberturas florestais (Quadro 4). O Pi total variou de 170,28 a 965,63 mg kg⁻¹, sendo o maior valor encontrado no cacau antigo em

sistema com *Erythrina*. Houve diferença significativa entre as coberturas para o fator Pi lábil, que apresentou valor médio de 9,78 mg kg⁻¹.

O maior teor de Po total foi encontrado no cacau antigo em sistema com *Erythrina* (369,44 mg kg⁻¹) (Quadro 4). Esse valor foi 20,75 vezes superior ao menor valor encontrado no cacau renovado em sistema cabruca (17,82 mg kg⁻¹). Diferenças significativas foram encontradas em todas as coberturas florestais em relação ao Po lábil, com exceção das coberturas mata natural (MN) e cacau antigo em sistema com *Erythrina* (CAE). Estas coberturas não apresentaram diferenças significativas entre si em relação ao Po lábil. Pode-se dizer, então, que o CAE, devido ao seu menor teor de argila, apresentou maior teor de Po total em relação à MN, que tem maior teor de argila (Quadro 2), e, conseqüentemente, maior capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP).

O Po lábil variou de 8,66 a 15,26 mg kg⁻¹, com um valor médio de 12,16 mg kg⁻¹ (Quadro 4). Observa-se que o Po lábil foi maior no jardim clonal adensado, seguido do cacau antigo em sistema com *Erythrina* e mata natural (MN). Ainda que a MN apresentasse menor teor de Po total, seria um potencial fornecedor de P para o sistema, devido aos seus maiores valores de Po lábil em relação às demais coberturas, que é a principal forma de P disponível para as plantas.

QUADRO 4. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----						
MN ^{2/}	170,28 f ^{1/}	3,02 d	35,84 e	13,70 b	206,11 f (44) ^{3/}	16,72 c
CRE	270,55 c	4,84 c	48,34 d	12,06 c	318,90 d (64)	16,90 c
CRC	209,57 e	3,34 d	17,82 f	10,24 d	227,38 e (42)	13,58 d
CAC	251,37 d	4,68 c	143,45 c	8,66 e	394,82 c (67)	13,33 d
CAE	965,63 a	11,96 b	369,44 a	13,06 b	1335,06 a (164)	25,02 b
JCA	705,54 b	30,86 a	312,82 b	15,26 a	1018,36 b (93)	46,13 a
Média	428,82	9,78	154,62	12,16	583,44	21,95
CV(%)	1,90	3,50	4,47	6,73	1,82	3,66

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

O P total do solo variou significativamente entre todas as coberturas vegetais (Quadro 4), com maiores valores para as coberturas CAE e JCA. Em relação ao P total lábil, as coberturas MN e CRE apresentaram os mesmos valores, que não diferiram entre si, assim como as coberturas CRC e CAC, igualmente como na camada 0-5 cm. Isto evidencia que o estoque total lábil de P no solo está sendo influenciado pela ação da cobertura vegetal, uma vez que as coberturas estão sob mesmo tipo de solo. Os cambissolos, nesta camada, também apresentaram maiores estoques de P total lábil.

Na camada 15-30 cm verifica-se que o Pi total variou nos solos sob todas as coberturas vegetais (Quadro 5). O Pi lábil variou de 2,32 a 25,85 mg kg⁻¹, com valor médio de 7,88 mg kg⁻¹. Os maiores valores de Pi total e Pi lábil foram encontrados no cacau antigo em sistema com *Erythrina* e no jardim clonal adensado, mostrando, mais uma vez, que essas coberturas podem ser importantes reservas de Pi para aumento e disponibilidade de Po. Nesta camada de solo, os maiores valores de Pi também foram encontrados nos Cambissolos, assim como nas camadas 0-5 e 5-15 cm (Quadros 3, 4 e 5).

QUADRO 5. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----						
MN ^{2/}	130,90 f ^{1/}	2,32 d	27,55 e	10,53 b	158,45 f (39) ^{3/}	12,86 c
CRE	214,41 c	3,84 c	38,31 d	9,56 c	252,72 d (62)	13,40 c
CRC	163,38 e	2,60 d	13,89 f	7,98 d	177,27 e (39)	10,58 d
CAC	191,67 d	3,57 c	109,38 c	6,60 e	301,05 c (63)	10,17 d
CAE	735,08 a	9,10 b	281,23 a	9,94 bc	1016,32 a (144)	19,05 b
JCA	590,89 b	25,85 a	261,99 b	12,78 a	852,88 b (96)	38,63 a
Média	337,72	7,88	122,06	9,56	459,78	17,45
CV(%)	1,53	3,76	5,07	5,44	2,11	2,99

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

O Po total também apresentou diferenças significativas nos solos sob todas as coberturas florestais (Quadro 3). O teor de Po total apresentou valor médio de 122,06 mg kg⁻¹ de solo, variando de 13,89 até 281,23 mg kg⁻¹ de solo, demonstrando a capacidade diferencial na acumulação de Po destes solos. O menor teor foi observado no cacau renovado cabruca (CRC) e o maior no cacau antigo em sistema com *Erythrina* (CAE), assim como nas camadas 0-5 e 5-15 cm. Os cambissolos apresentaram maiores valores de Po total, indicando que há influência de tipos de solo, na variação do Po, mesmo em profundidades.

O Po lábil apresentou valor médio de 9,56 mg kg⁻¹, variando de 6,60 a 12,78 mg kg⁻¹ (Quadro 5). Os maiores valores de Po lábil foram encontrados no jardim clonal adensado, no cacau antigo em sistema com *Erythrina* e na mata natural.

O Pi lábil é considerado uma das formas mais disponíveis de P às plantas, embora o Po lábil, segundo Stewart e Tiessen (1987), tenha importante papel na ciclagem do P, pois é uma fonte de P disponível em curto prazo para as plantas.

Como nas demais profundidades, nesta camada de 15-30 cm, o P total do solo variou significativamente entre todas as coberturas vegetais (Quadro 5). Em relação ao P total lábil, o maior valor foi encontrado no jardim clonal adensado (38,63 mg kg⁻¹) seguido do cacau antigo em sistema com *Erythrina* (19,05 mg kg⁻¹).

Em relação à camada 30-50 cm, diferenças significativas no teor de Pi total foram encontradas em todas as coberturas florestais (Quadro 6). O Pi total variou de 85,88 a 554,03 mg kg⁻¹, sendo o maior valor encontrado no cacau antigo em sistema com *Erythrina*. Houve diferença significativa entre as coberturas para o fator Pi lábil, que apresentou valor médio de 5,53 mg kg⁻¹.

O maior teor de Po total foi encontrado no cacau antigo em sistema com *Erythrina* (211,96 mg kg⁻¹) (Quadro 6). Esse valor foi 23,0 vezes superior ao menor valor encontrado no cacau renovado em sistema cabruca (9,17 mg kg⁻¹). Diferenças significativas foram encontradas em todas as coberturas florestais em relação ao Po lábil, com exceção das coberturas mata natural (MN) e cacau renovado em sistema com *Erythrina* (CRE). O Po lábil variou de 4,33 a 8,97 mg kg⁻¹, com valor médio de 6,58 mg kg⁻¹ (Quadro 6). Observa-se que o Po lábil foi maior no jardim clonal adensado, seguido do cacau antigo em sistema com *Erythrina* e mata natural (MN). Ainda que a MN apresentasse um dos menores teores de Po total, seria um potencial fornecedor de P para o sistema, devido aos

seus maiores valores de P_o lábil em relação às demais coberturas, que é a principal fonte de P disponível para as plantas, principalmente em camadas profundas.

Possivelmente, os altos valores do P lábil obtidos na MN (independente da profundidade) podem ser resultado da atuação dos ácidos orgânicos liberados durante a decomposição da matéria orgânica como responsáveis pela solubilização de fosfatos complexados pelo Fe e Al. Outra possível explicação é que os nutrientes e o carbono lixiviados da matéria orgânica em decomposição estimulam o crescimento microbiano, cujas atividades ou produtos de seu metabolismo podem desempenhar papel importante na solubilização de fosfato, tanto através da produção de fosfato e quebra de húmus recalcitrante na fração mineral do solo, como através de ácidos orgânicos que solubilizam o P retido inorganicamente (Jordan, 1990).

QUADRO 6. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
MN ^{2/}	85,88 f ^{1/}	1,52 e	18,07 e	6,91 c	103,96 f (29) ^{3/}	8,44 d
CRE	146,77 c	2,63 c	26,23 d	6,54 c	173,00 d (51)	9,17 c
CRC	107,85 e	1,72 e	9,17 f	5,27 d	117,02 e (30)	6,99 e
CAC	125,68 d	2,34 d	71,72 c	4,33 e	197,41 c (46)	6,67 e
CAE	554,03 a	6,86 b	211,96 a	7,49 b	765,99 a (120)	14,36 b
JCA	414,50 b	18,13 a	183,78 b	8,97 a	598,29 b (75)	27,10 a
Média	239,11	5,53	86,82	6,58	325,94	12,12
CV(%)	1,32	4,34	4,01	6,72	2,09	3,97

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/Cambissolo. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao P_t estimado a partir digestão nitro-perclórica.

O P total do solo variou significativamente entre todas as coberturas vegetais (Quadro 6), com maiores valores para as coberturas CAE e JCA. Em

relação ao P total lábil, os maiores valores foram encontrados nos cambissolos, com maior valor na cobertura jardim clonal adensado, mostrando que ao longo do perfil estudado ela constitui uma grande reserva de P total lábil.

Esses resultados evidenciam que as reservas de Po (total e lábil) no solo seriam maiores nos Cambissolos que nos Latossolos. Essa tendência também foi verificada para o Pi (total e lábil) ao longo do perfil do solo.

Observou-se que o comportamento das diferentes frações de P ao longo do perfil do solo não se modificou. Houve mudança apenas de diminuição de valores com o aumento da profundidade (Quadros 3, 4, 5 e 6).

As formas de Po e Pi decresceram com a profundidade de amostragem, fato este que pode ter sido causado pelo retorno do P absorvido pelas plantas para a superfície por meio da ciclagem biogeoquímica combinada com a baixa mobilidade do P no solo.

Nessas coberturas vegetais a ciclagem biogeoquímica de P seria decorrente da deposição de resíduos da parte aérea na superfície do solo, no qual a incorporação desses resíduos mediante o processo de decomposição dar-se-ia predominantemente nos primeiros centímetros do perfil do solo. Além disso, na profundidade 0-5 cm também ocorreria uma grande presença de raízes finas e radículas (Gama-Rodrigues e Cadima-Zevallos, 1991), que constituiriam fontes de Po e proporcionariam aumento de P disponível mediante a exsudação de ácidos orgânicos em mecanismos similares a desses mesmos ácidos oriundos da serapilheira (Wong et al., 2004).

Assim, nos agrossistemas de cacau a serapilheira acumulada e as raízes poderiam proporcionar acúmulos substantivos de Po na profundidade 0-5 cm.

Segundo Bornemiza e Igue (1967), os teores de Po decrescem nos horizontes subsuperficiais, da mesma forma que se verifica redução no teor de carbono, embora a porcentagem de Po nem sempre acompanhe esta tendência.

O Po total, na camada 0-5 cm, do jardim clonal adensado foi 112,80% superior ao da camada 30-50 cm. Já no cacau antigo em sistema com *Erythrina*, o Po total da camada 0-5 cm, foi 117,90% superior ao da camada 30-50 cm.

Houve maior acúmulo de Po na camada 0-5 cm, o que seria esperado em função do maior teor de matéria orgânica nessa camada dos solos minerais. O fato de os horizontes superficiais terem mais P disponível que os horizontes mais profundos devem ser atribuídos também à biociclagem, ou seja, à acumulação de

P absorvido pelas raízes das camadas mais profundas e depositado na superfície do solo com a deposição da parte aérea das plantas.

Pode-se dizer, então, que o nível das frações de P da camada 0-5 cm foi superior às das camadas subjacentes (Quadros 3, 4, 5, e 6). Estes resultados evidenciam que haveria forte gradiente de P no perfil do solo, no qual a disponibilidade de P na camada 0-5 cm praticamente atenderia a maior parte das exigências nutricionais do cacauzeiro, com maior limitação para o P nos Latossolos, demonstrando ainda, que uma redução na profundidade de amostragem para 0-5 cm neste tipo de agrossistema, se faz necessária para uma avaliação mais criteriosa da fertilidade do solo, objetivando racionalizar o uso de corretivos e fertilizantes fosfatados, pois estes apresentam baixa mobilidade no perfil do solo.

As reservas de Po total e lábil nas diferentes coberturas florestais foram afetadas pelas mudanças de vegetação e solo, bem como pela mudança de profundidade de amostragem (Quadros 3, 4, 5 e 6). Assim, nessas coberturas onde os fatores pedogenéticos são intensos, os teores disponíveis de P para as plantas, no reservatório de Po, são de grande relevância.

Considerando que a fração orgânica lábil encontra-se fracamente ligada à fase sólida do solo e, portanto, mais acessível à mineralização, sugere-se que o reservatório lábil de P orgânico deva ocupar um importante papel na fertilidade do solo. Podendo ser bom indicador de qualidade do solo, haja vista a capacidade de detectar variações significativas do tipo de uso da área.

Como as frações lábeis de P estão intimamente ligadas com as frações orgânicas (Guerra et al., 1996), o Po representa o mais importante reservatório de P lábil para as plantas.

Observa-se, ao longo do perfil do solo, que o Po lábil foi influenciado pelo grau de intemperização dos solos. Nos Latossolos, as coberturas apresentaram valor médio menor que as coberturas sobre os Cambissolos (Quadros 3, 4, 5 e 6), mostrando a inter-relação do grau de intemperismo do solo com a labilidade do P. Provavelmente deve-se ao fato, dos Latossolos serem solos mais intemperizados e, portanto, terem maiores teores de compostos fixadores de P do que Cambissolos.

Trabalhando com solos da Argentina, Zubillaga e Camelo (1996) observaram que o avanço do intemperismo influencia os compartimentos de Po.

Em solos menos intemperizados, há predominância do Po lábil, enquanto que para solos mais intemperizados, ocorrem maiores quantidades de Po no compartimento moderadamente resistente (Duda, 2000).

Solomons et al. (2002) observaram, em solos de zona tropical sub-úmida, mudança na distribuição dos compostos contendo P em função da cobertura vegetal. Foi observado nesse estudo que, com o desmatamento, ocorreu incremento das frações orgânicas mais resistentes, originadas do material vegetal e perda das frações mais lábeis (i.e., diésteres) oriundas do metabolismo microbiano. Essa observação também foi realizada por Adams e Byrne (1989), estudando solo com cobertura florestal, com idades variando de 1 até 200 anos. A conclusão desse trabalho foi o aumento gradativo da participação de componentes diéster com a idade das florestas. O P inorgânico, entretanto, decresceu com o aumento da idade da floresta.

Os plantios de cacau, em especial os adensados (JCA), podem ser caracterizados como um sistema conservacionista do meio ambiente, devido à maior cobertura da superfície do solo, ao acúmulo de resíduos vegetais, à maior eficiência no uso de fertilizantes, à diminuição nas perdas por erosão e lixiviação, melhorando, conseqüentemente, as condições de fertilidade dos solos degradados. A diminuição da acidez, avaliada em termos de aumento de pH e diminuição de Al (Quadro 1), constitui o maior benefício químico do solo.

O aumento da densidade populacional favorece a maior acúmulo de matéria orgânica. Observaram-se diferenças significativas para o teor Po lábil, com maiores valores de Po lábil no cacau adensado em todas as profundidades estudadas (JCA) (Quadros 3, 4, 5 e 6).

O predomínio de Po lábil em relação ao Pi lábil (Quadros 3, 4, 5, e 6), encontrado também por Guerra et al. (1996) e Solomons et al. (2002), indicaria que a disponibilidade de P, em curto prazo, não seria completamente acessada por determinações de P disponível (Novais e Smith, 1999). Em solos de avançado estágio de intemperismo, o P disponível estaria estreitamente relacionado às frações do Po (Tiessen et al., 1984; Beck e Sanches, 1994).

Embora a disponibilidade do P para as plantas seja amplamente controlada pelo equilíbrio (fator capacidade) entre o Pi na solução (fator intensidade) e Pi na fase sólida (fator quantidade) (Olsen e Khasawneh, 1986), a constatação do predomínio do Po sobre Pi lábil, demonstrada aqui e em outros trabalhos

(Bowman e Cole, 1978b; Thien e Myers, 1992; Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007), notadamente em solos onde os teores disponíveis são baixos, sugere que a contribuição potencial da fração orgânica poderia estar subestimada em determinadas situações de clima, solo e cobertura vegetal (Guerra et al., 1996).

Analisando as tabelas dos solos somente sob o grupo dos latossolos (Quadros 7,9,11 e 13), observa-se, para todas as profundidades, que os maiores teores de Po total foram encontrados na cobertura cacau antigo cabruca (CAC) e os menores na mata natural (MN). Desse modo, pode-se dizer que o CAC, devido ao seu menor teor de argila, apresentou maior teor de Po total em relação à MN, que tem maior teor de argila, e, conseqüentemente, maior capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP).

Provavelmente, os maiores teores de C orgânico verificado na MN e de alguns nutrientes verificados no CAC, condicionam maior acúmulo de P na forma orgânica em relação às outras coberturas. Nesse aspecto, parte do P ciclado nessas áreas permanece na forma de compostos orgânicos, protegidos, de alguma forma, de possíveis perdas advindas da competição exercida pela fase mineral do solo, de acordo com a hipótese de Novais e Smyth (1999).

Fontes (2006), estudando a ciclagem biogeoquímica nas mesmas coberturas vegetais do presente trabalho, encontrou similaridade da biomassa de serapilheira acumulada entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau; contudo, o conteúdo de P na serapilheira dos agrossistemas de cacau foi maior do que a da floresta natural. Assim, a quantidade de P a ser incorporada ao solo via processo de mineralização seria maior nos agrossistemas de cacau. Deste modo, pode-se concluir, especialmente no grupo dos latossolos, que os agrossistemas de cacau seriam mais eficientes que a floresta natural em manter maiores teores de Po e P disponível.

Analisando as tabelas, somente, para os solos sob grupo dos cambissolos (Quadros 8, 10, 12 e 14), observam-se, para todas as profundidades, maiores teores de Po total na cobertura cacau antigo com *Erythrina* (CAE). Possivelmente, esses maiores valores são decorrentes do próprio sistema de produção. Neste sistema (área formada de 25 anos), os resíduos são depositados sobre a superfície do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e conseqüentemente de Po. O cacau em jardim clonal adensado (JCA) apresentou maiores valores para o Po lábil, em todas as profundidades. Possivelmente

explicado pela estreita relação do P disponível com o Po, onde solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de Po.

QUADRO 7. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----						
MN ^{2/}	212,84 d ^{1/}	3,78 c	44,79 c	17,13 a	257,64 d (44) ^{3/}	20,91 a
CRE	338,19 a	6,06 a	60,43 b	15,07 b	398,62 b (57)	21,13 a
CRC	261,96 c	4,17 b	22,27 d	12,80 c	284,23 c (39)	16,97 b
CAC	314,21 b	5,84 a	179,31 a	10,82 d	493,52 a (67)	16,67 b
Média	281,80	4,96	76,70	13,95	358,50	18,91
CV (%)	1,62	5,78	9,32	6,73	2,95	4,46

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – mata natural; CRE – cacau renovado em sistema com *Erythrina*; CRC – cacau renovado com cabruca; CAC – cacau antigo cabruca. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 8. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 0-5 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----						
CAE ^{2/}	1207,03 a ^{1/}	14,95 b	461,80 a	16,33 b	1668,83 a (168) ^{3/}	31,28 b
JCA	881,92 b	38,58 a	391,03 b	19,08 a	1272,95 b (98)	57,66 a
Média	1044,47	26,76	426,41	17,70	1470,88	44,46
CV (%)	0,87	2,27	2,08	3,43	0,72	1,75

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} CAE – cacau antigo em sistema com *Erythrina* e JCA – jardim clonal adensado. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 9. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
MN ^{2/}	170,28 d ^{1/}	3,02 c	35,84 c	13,70 a	206,11 d (44) ^{3/}	16,72 a
CRE	270,55 a	4,84 a	48,34 b	12,06 b	318,90 b (64)	16,90 a
CRC	209,57 c	3,34 b	17,82 d	10,24 c	227,38 c (42)	13,58 b
CAC	251,37 b	4,68 a	143,45 a	8,66 d	394,82 a (67)	13,33 b
Média	225,54	3,96	61,36	11,16	286,80	15,13
CV (%)	2,96	6,86	4,47	7,21	5,70	2,74

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – mata natural; CRE – cacau renovado em sistema com *Erythrina*; CRC – cacau renovado com cabruca; CAC – cacau antigo cabruca. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 10. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 5-15 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
CAE ^{2/}	965,63 a ^{1/}	11,96 b	369,44 a	13,06 b	1335,06 a (164) ^{3/}	25,02 b
JCA	705,54 b	30,86 a	312,82 b	15,26 a	1018,36 b (93)	46,13 a
Média	835,58	27,39	341,13	14,16	1176,71	35,57
CV (%)	1,13	0,95	2,45	2,11	1,23	2,79

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. CAE – cacau antigo em sistema com *Erythrina* e JCA – jardim clonal adensado.

^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 11. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
MN ^{2/}	130,90 d ^{1/}	2,32 d	27,55 c	10,53 a	158,45 d (39) ^{3/}	12,86 a
CRE	214,41 a	3,84 a	38,31 b	9,56 b	252,72 b (62)	13,40 a
CRC	163,38 c	2,60 c	13,89 d	7,98 c	177,27 c (39)	10,58 b
CAC	191,67 b	3,57 b	109,38 a	6,60 d	301,05 a (63)	10,17 b
Média	175,09	3,08	47,28	8,66	222,37	11,75
CV (%)	12,30	7,74	11,46	9,71	6,61	7,25

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – mata natural; CRE – cacau renovado em sistema com *Erythrina*; CRC – cacau renovado com cabruca; CAC – cacau antigo cabruca. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 12. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 15-30 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
CAE ^{2/}	735,08 a ^{1/}	9,10 b	281,23 a	9,94 b	1016,32 a (144) ^{3/}	19,05 b
JCA	590,89 b	25,85 a	261,99 b	12,78 a	852,88 b (96)	38,63 a
Média	662,98	17,47	271,61	11,36	934,59	28,83
CV (%)	0,90	2,16	2,05	3,47	0,71	1,69

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} CAE – cacau antigo em sistema com *Erythrina* e JCA – jardim clonal adensado. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 13. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo latossolo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
MN ^{2/}	85,88 d ^{1/}	1,52 d	18,07 c	6,91 a	103,96 d (29) ^{3/}	8,44 b
CRE	146,77 a	2,63 a	26,23 b	6,54 a	173,00 b (51)	9,17 a
CRC	107,85 c	1,72 c	9,17 d	5,27 b	117,02 c (30)	6,99 c
CAC	125,68 b	2,34 b	71,72 a	4,33 c	197,41 a (46)	6,67 c
Média	116,54	2,05	31,29	5,76	147,84	7,81
CV (%)	7,65	8,82	11,43	12,71	9,01	8,45

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} MN – mata natural; CRE – cacau renovado em sistema com *Erythrina*; CRC – cacau renovado com cabruca; CAC – cacau antigo cabruca. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

QUADRO 14. Frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico e fósforo total nas formas lábil e total em amostras de solo do tipo cambissolo, na camada 30-50 cm, sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia

Coberturas	P inorgânico		P orgânico		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
CAE ^{2/}	554,03 a ^{1/}	6,86 b	211,96 a	7,49 b	765,99 a (120) ^{3/}	14,36 b
JCA	414,50 b	18,13 a	183,78 b	8,97 a	598,29 b (75)	27,10 a
Média	484,26	12,49	197,87	8,23	682,13	20,72
CV (%)	0,87	2,24	2,07	3,94	1,72	2,74

^{1/} As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5%. ^{2/} CAE – cacau antigo em sistema com *Erythrina* e JCA – jardim clonal adensado. ^{3/} Recuperação percentual em relação ao Pt estimado a partir digestão nitro-perclórica.

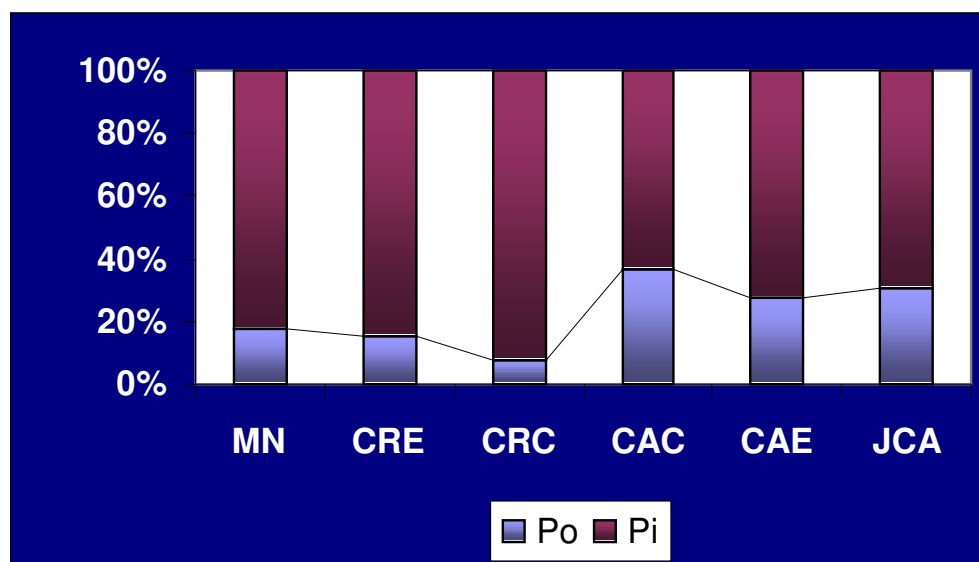
5.3. Percentual das frações orgânicas e inorgânicas de P

A distribuição percentual das frações orgânicas e inorgânicas totais do P encontra-se na figura 1. Nota-se o predomínio da fração inorgânica, atingindo acima de 60 % do P total. A fração orgânica variou de 7,83 a 36,0 % do P total, respectivamente, nos solos sob cacau renovado cabruca e no cacau antigo cabruca. Provavelmente, esta menor percentagem deve-se ao fato de a área com menor percentagem ter sido renovada, ou seja, a renovação da copa permitiu maior entrada de luz, e com isso maior oxidação da matéria orgânica e maior mineralização de Po; já a área com maior percentagem, refere-se a um sistema onde não houve renovação, demonstrando o efeito da reforma sobre este sistema florestal. Nestes sistemas, os resíduos são depositados sobre a superfície do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e conseqüentemente de Po.

De maneira geral, o predomínio de Pi total sobre Po total tem sido relatado em solos tropicais geneticamente evoluídos (Dahnke et al., 1964; Bornemiza e Igue, 1967; Westin e Brito, 1969; Ipinmidun, 1973; Neptune et al., 1975; Soltanpour et al., 1987; Condrón et al., 1990; Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007), em concordância com as observações de Walker e Adams (1959), citado por Guerra et al. (1996), sobre o curso da acumulação de P durante a pedogênese, em que as quantidades de Po seriam pequenas no início da formação do solo, aumentariam em solos fracamente intemperizados, e declinariam nos solos fortemente intemperizados.

O balanço entre Pi lábil e o Po lábil em relação ao P total lábil apresentou diferença entre as coberturas florestais (Figura 2). Diferentemente da distribuição das frações orgânicas e inorgânicas totais (Figura 1), acima de 60% do P lábil ocorreu em forma orgânica (Figura 2) (exceção para o cacau antigo em sistema com *Erythrina* e jardim clonal adensado), alcançando até 82% na mata natural, refletindo em uma maior conservação de Po em sistemas naturais. O Po lábil (Pol) correspondeu, em média, a 63% do P total lábil (Ptl) nos solos sob as diferentes florestas. Essa relação (Pol/Ptl) poderia ser utilizada para estimar a necessidade de adubação fosfatada, em sistemas produtivos de cacau. Quanto menor a relação Pol/Ptl maior a necessidade de fornecimento de P para o crescimento das plantas (Guggenberger et al., 1996). Nos plantios sobre os Cambissolos há altos teores de Pi lábil. O presente trabalho, apesar de ter sido avaliado apenas dois tipos de solos, observa-se o efeito da pedogênese na

distinção dos plantios. A hipótese de Guggenberger et al. (1996) seria válida para solos mais evoluídos. Assim, em ordem crescente, pode-se demonstrar, dentre os plantios sobre Latossolos, aqueles com maior necessidade de adubação fosfatada: cacau antigo cabruca (CAC) > cacau renovado em sistema com *Erythrina* (CRE) > cacau renovado cabruca (CRC).



MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

FIGURA 1. Percentual das frações de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) em relação ao P total em amostras de solos sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia na camada 0-5 cm

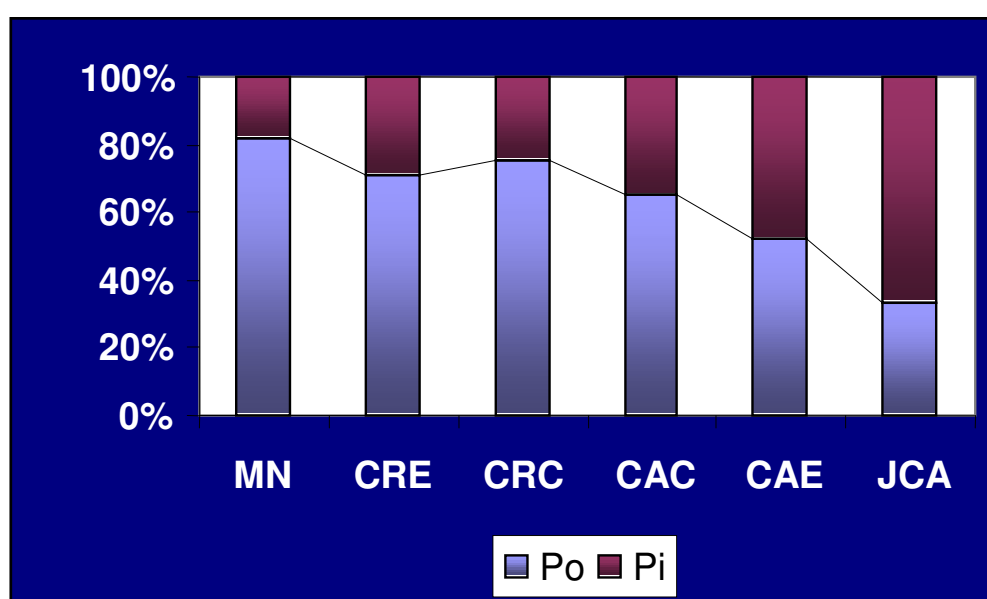
Condrón et al. (1990), estudando amostras de vinte solos do Nordeste brasileiro e de três solos de Gana, verificaram que a concentração média de P total foi igual a 482 mg kg^{-1} e de Po igual a 208 mg kg^{-1} ; concluindo, que o Po participou, em média, com 43 % do P total dos solos.

O Po total avaliado em amostras de horizonte A de solos de diversas classes taxonômicas representativas no Brasil, variou entre 8,71 e $138,19 \text{ mg kg}^{-1}$. A participação do Po lábil nessas amostras variou de 7,90 a 81,73% (Duda, 2000).

Cunha et al. (2007) estudando Po em solos de florestas montanas, verificaram que mais de 80% do P lábil foram constituídos por Po lábil.

Comportamento bastante similar foi encontrado nas camadas 5-15, 15-30 e 30-50 cm. As percentagens seguiram a mesma tendência.

Os resultados encontrados sugerem que o cultivo de árvores ou a adoção de sistemas agroflorestais reduzem a relação Po/Ptl (Figuras 2), apesar de serem sistemas acumuladores de matéria orgânica. Observa-se nos plantios sobre os Latossolos que a relação Po/Ptl foi influenciada pelo tipo de cultivo, prevalecendo maior relação para a mata natural (Figura 2). Já nos Cambissolos, o cacau antigo em sistema com *Erythrina* obteve maior relação, possivelmente, devido ao cultivo do cacau com a *Erythrina*, que lhe propicia um melhor sistema (Figura 2).



MN – Mata natural/Latossolo; CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

FIGURA 2. Percentual das frações de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) em relação ao P total lábil em amostras de solos sob diferentes plantios de cacau no sul da Bahia na camada 0-5 cm

Segundo Rheinheimer et al. (1999), a *Erythrina* pode aproveitar mais eficientemente o P de fontes de baixa solubilidade. A *Erythrina* ou as árvores de sombra teriam a função de solubilizar o P ligado ao ferro (Fe) nas camadas mais profundas (Rheinheimer et al., 1999). E pelo processo de ciclagem de nutrientes, esse P seria disponibilizado no horizonte superficial, onde os teores de matéria

orgânica são mais elevados, recuperando os nutrientes das camadas mais profundas. Assim, o P estaria protegido da fixação, pela ação do Po.

5.4. Correlações

Os coeficientes de correlação simples entre o Po total, Po lábil e algumas características do solo, nas diferentes profundidades do solo, são apresentados nos Quadros 15, 16, 17 e 18. Observou-se correlação positiva significativa entre o Po total e Pt e entre o Po total e o P disponível (Mehlich-1) (Quadros 15, 16, 17 e 18), indicando estreita relação entre essas variáveis, confirmando que quanto maior a reserva orgânica total de P, maior será o “pool” lábil de P, atuando na dinâmica do P no sistema.

QUADRO 15. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (0-5 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	0,44	0,84*	0,63*	- 0,92*	0,85*	- 0,92*
Pol		1,00	0,56*	0,65*	- 0,44	0,08	- 0,33
PT			1,00	0,92*	- 0,70*	0,85*	- 0,93*
P				1,00	- 0,42	0,63*	- 0,74*
COT					1,00	- 0,73*	0,82*
pH						1,00	- 0,96*
Argila							1,00

* significativo em nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

Observou-se, também, correlação positiva significativa entre o Po lábil e Pt e entre o Po lábil e o P disponível (Mehlich-1), em todas as profundidades, (Quadros 15, 16, 17 e 18), indicando estreita relação entre estas variáveis, mostrando a dependência da fonte orgânica em relação à fonte inorgânica, onde a variação e o estoque de Po estaria diretamente relacionado às adições de Pi.

Os coeficientes positivos e significativos entre Po lábil e P disponível (Mehlich-1), aparentemente revelam similaridade entre os mecanismos de mobilização do Po no reservatório lábil (Guerra et al., 1996), confirmando a contribuição da forma orgânica de P na disponibilidade para as plantas.

A correlação negativa e significativa entre o pH e COT indicam maior taxa de mineralização (Quadros 15, 16, 17 e 18). Solos com pH elevado tendem a apresentar menores proporções de C orgânico, razão da maior taxa de mineralização.

QUADRO 16. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (5-15 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	0,45	0,86*	0,71*	- 0,84*	0,93*	- 0,94*
Pol		1,00	0,58*	0,68*	- 0,17	0,35	- 0,45
PT			1,00	0,96*	- 0,85*	0,94*	- 0,95*
P				1,00	- 0,73*	0,82*	- 0,85*
COT					1,00	- 0,96*	0,93*
pH						1,00	- 0,99*
Argila							1,00

* significativo em nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

Os coeficientes de correlação positivos e significativos entre a argila e o COT, nas diferentes profundidades, sugerem que a estabilização das frações orgânicas pode ocorrer diretamente junto a este componente granulométrico. Essa correlação indica que a argila é uma propriedade física de acumulação de C, sendo preponderante no estoque de C e, conseqüentemente, no estoque de Po. Em geral, a acumulação de C e de Po lábil está positivamente associada ao teor de argila (Morais et al., 1995; Cade-Menun, 2005).

Verificou-se, ainda, correlação negativa significativa para os teores de Po total (Quadros 15, 16, 17 e 18), possivelmente pela sua alta capacidade em adsorver P.

QUADRO 17. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (15-30 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	PT	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	0,49	0,91*	0,93*	- 0,84*	0,96*	- 0,92*
Pol		1,00	0,65*	0,72*	- 0,26	0,56*	- 0,62*
PT			1,00	0,98*	- 0,80*	0,98*	- 0,97*
P				1,00	- 0,81*	0,97*	- 0,98*
COT					1,00	- 0,86*	0,86*
pH						1,00	- 0,98*
Argila							1,00

* significativo em nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

Essas correlações sugerem que a acumulação do Po nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível que aos teores de C orgânico e de argila. Como esperado, a acumulação de C estaria estreitamente associada à argila. Isto explica, em parte, a associação negativa encontrada entre C orgânico e as frações de Po (total e lábil). Desse modo, constata-se um comportamento distinto de acumulação nos solos entre C orgânico e Po. Solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de Po. Como não houve fertilização fosfatada nos últimos dez anos, três fatores poderiam explicar concomitantemente a variação das diferentes formas de P nos solos estudados. O 1º fator seria o distinto grau de intemperismo entre os dois grupos de solos, no qual os Cambissolos seriam menos evoluídos, onde o ciclo geoquímico de P seria ainda relevante, caracterizando esses solos como fontes de P. O 2º fator seria a variação de argila entre os solos, no qual os mais argilosos apresentariam baixos teores de P disponível porque possuem elevado

poder tampão e, ou, de adsorção de P. O 3º fator seria o ciclo biogeoquímico de P, especialmente no grupo dos Latossolos, onde os agrossistemas de cacau seriam mais eficientes que a floresta natural em manter maiores teores de Po e P disponível. Fontes (2006), como citado anteriormente, estudando a ciclagem biogeoquímica nas mesmas coberturas vegetais do presente trabalho, encontrou similaridade da biomassa de serapilheira acumulada entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau; contudo, o conteúdo de P na serapilheira dos agrossistemas de cacau foi maior do que a da floresta natural. Assim, a quantidade de P a ser incorporada ao solo via processo de mineralização seria maior nos agrossistemas de cacau.

QUADRO 18. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo (30-50 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	0,63*	0,91*	0,60*	- 0,85*	0,98*	- 0,96*
Pol		1,00	0,74*	0,75*	- 0,40	0,61*	- 0,67*
PT			1,00	0,85*	- 0,82*	0,90*	- 0,95*
P				1,00	- 0,60*	0,55*	- 0,68*
COT					1,00	- 0,87*	0,90*
pH						1,00	- 0,98*
Argila							1,00

* significativo em nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

5.5. Análise Multivariada

A formação dos grupos, de variáveis absolutas nas diferentes profundidades estudadas, pelo método de Tocher, estão apresentados nos quadros 19,20,21 e 22, respectivamente.

De acordo com as variáveis absolutas, nas profundidades 0-5 cm e 15-30 cm, observou-se a formação de três grupos. O primeiro grupo foi constituído pelas coberturas cacau renovado em sistema com *Erythrina* (2), cacau renovado

cabruca (3) e cacau antigo cabruca (4). O segundo grupo constituiu-se do cacau antigo em sistema com *Erythrina* (5) e jardim clonal adensado (6) e o terceiro pela mata natural (1) (Quadros 19 e 21).

Em relação às profundidades 5-15 cm e 30-50 cm evidenciou-se a formação de dois grupos. O primeiro grupo foi constituído pelas coberturas cacau renovado em sistema com *Erythrina* (2), cacau renovado cabruca (3), cacau antigo cabruca (4) e mata natural (1). O segundo grupo constituiu-se do cacau antigo em sistema com *Erythrina* (5) e jardim clonal adensado (6) (Quadros 20 e 22).

QUADRO 19. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 0-5 cm

GRUPOS	COBERTURAS PERTENCENTES ^{1/}		
I	2	3	4
II	5	6	
III		1	

^{1/} (1) MN – Mata natural/Latossolo; (2) CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; (3) CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; (4) CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; (5) CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e (6) JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

QUADRO 20. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 5-15 cm

GRUPOS	COBERTURAS PERTENCENTES ^{1/}			
I	2	3	4	1
II	5	6		

^{1/} (1) MN – Mata natural/Latossolo; (2) CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; (3) CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; (4) CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; (5) CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e (6) JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

QUADRO 21. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 15-30 cm

GRUPOS	COBERTURAS PERTENCENTES ^{1/}		
I	2	3	4
II	5	6	
III		1	

^{1/} (1) MN – Mata natural/Latossolo; (2) CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; (3) CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; (4) CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; (5) CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e (6) JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

QUADRO 22. Grupos de variáveis absolutas com padrões de comportamento similares estabelecidos pelo Método de Otimização de Tocher, com base em sete características avaliadas entre seis coberturas vegetais no sul da Bahia, na camada 30-50 cm

GRUPOS	COBERTURAS PERTENCENTES ^{1/}			
I	2	3	4	1
II	5	6		

^{1/} (1) MN – Mata natural/Latossolo; (2) CRE – Cacau renovado em sistema com *Erythrina*/Latossolo; (3) CRC – Cacau renovado com cabruca/Latossolo; (4) CAC – Cacau antigo cabruca/Latossolo; (5) CAE – Cacau antigo em sistema com *Erythrina*/Cambissolo e (6) JCA – Cacau em Jardim clonal adensado/ Cambissolo.

Essa dissimilaridade entre os grupos pode estar relacionada aos maiores valores de P_o presentes nas coberturas cacau antigo em sistema com *Erythrina* e no jardim clonal adensado, e aos maiores valores de COT presente na mata natural.

Como esperado, o método de Tocher inseriu as coberturas cacau antigo em sistema com *Erythrina* (5) e o jardim clonal adensado (6) em um mesmo grupo. Estas coberturas estão sobre um mesmo tipo de solo, o Cambissolo. Pode-se observar pela dispersão gráfica, com base na análise de componentes principais, a ocorrência de similaridade entre as coberturas 5 e 6 pertencentes ao

mesmo grupo, em todas as profundidades, corroborando o método de Tocher (Figuras 3,4,5 e 6).

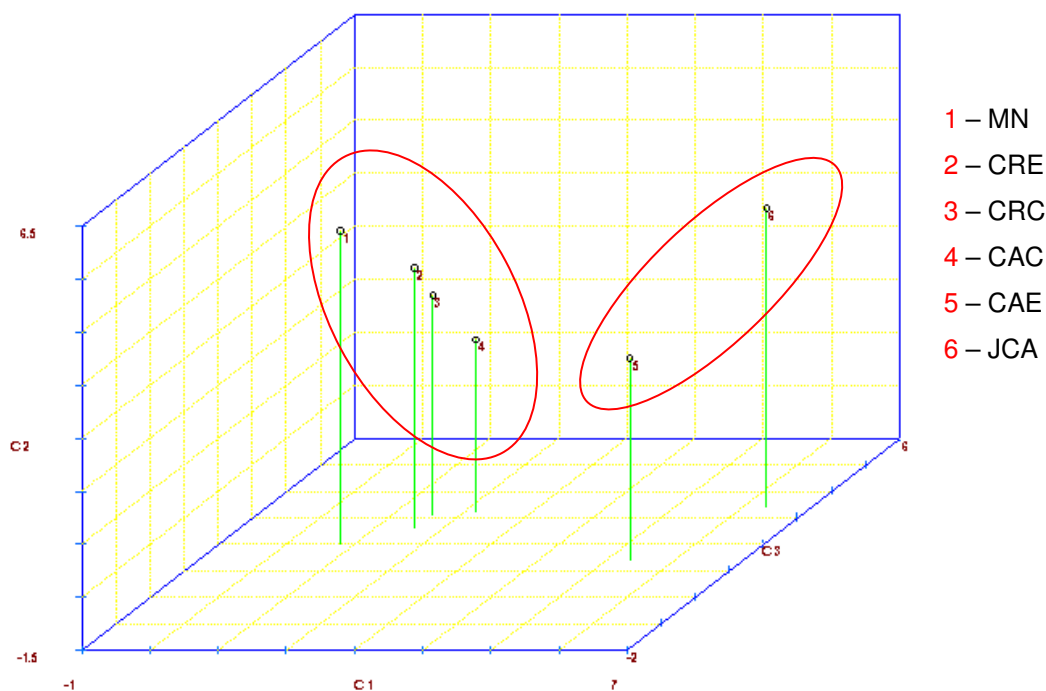


FIGURA 3. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 0 - 5 cm

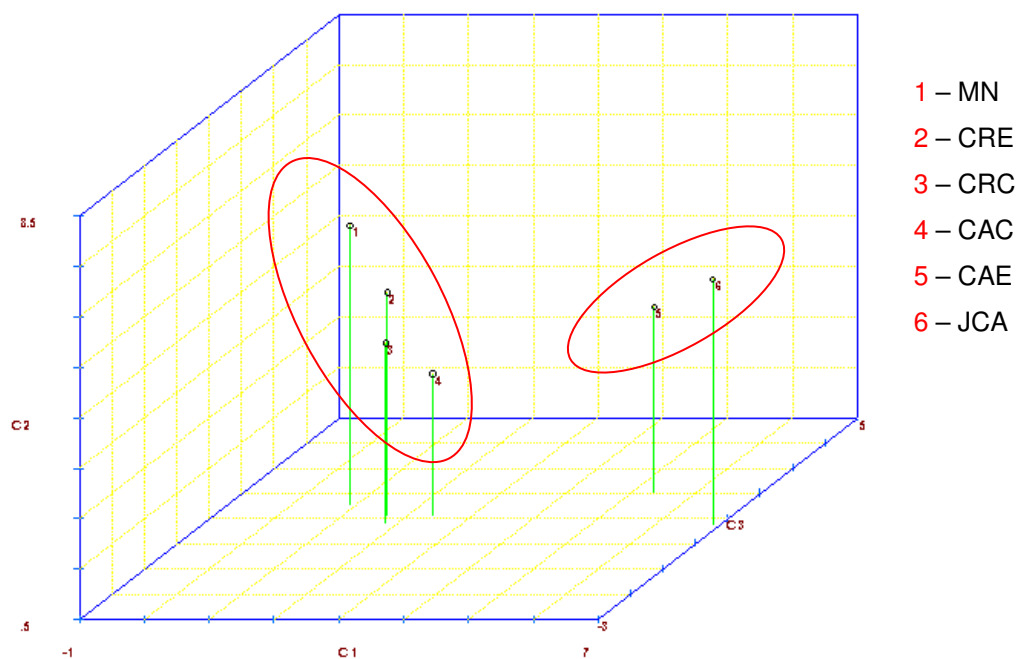


FIGURA 4. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 5 - 15 cm

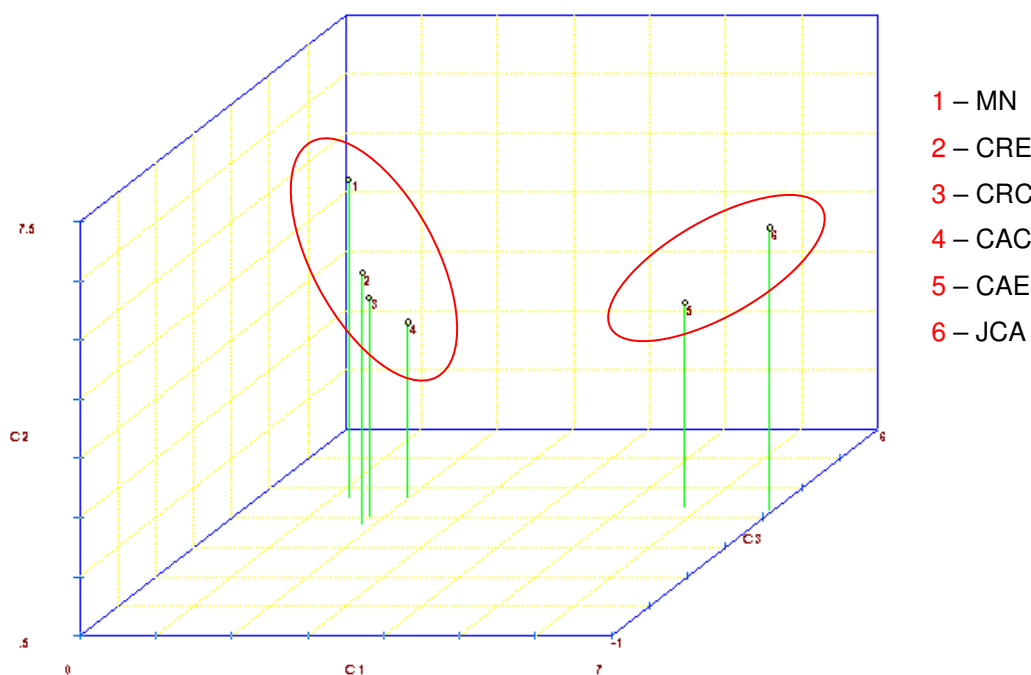


FIGURA 5. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 15 - 30 cm

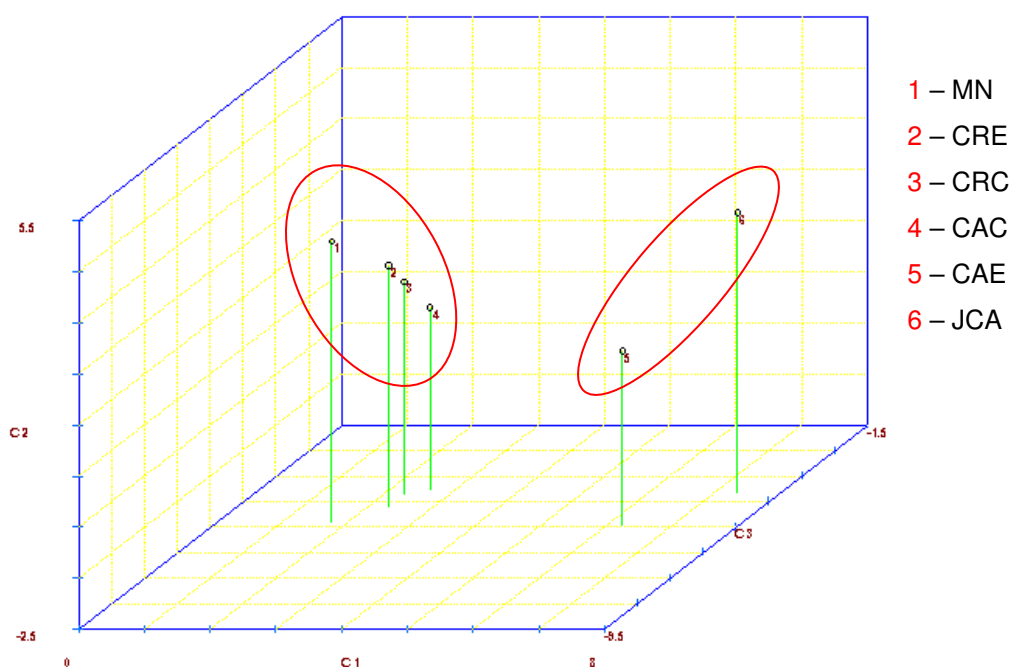


FIGURA 6. Dispersão gráfica das variáveis absolutas em diferentes coberturas vegetais do sul da Bahia, com base na análise de componentes principais na camada 30 - 50 cm

Na profundidade 0-5 cm, as diferentes variáveis do solo puderam ser distribuídas em dois componentes principais, explicando 90,51% da variação total entre as diferentes coberturas vegetais (74,84% para o primeiro componente e 25,16% para o segundo).

Na profundidade 5-15 cm, as diferentes variáveis do solo foram distribuídas em dois componentes principais, explicando 95,49% da variação total entre as diferentes coberturas vegetais (81,38% para o primeiro componente e 18,62% para o segundo).

Em relação à profundidade 15-30 cm, as diferentes variáveis do solo foram distribuídas em dois componentes principais, explicando 96,90% da variação total entre as diferentes coberturas vegetais (85,52% para o primeiro componente e 14,48% para o segundo).

Na profundidade 30-50 cm, as diferentes variáveis do solo puderam ser distribuídas em dois componentes principais, explicando 93,00% da variação total entre as diferentes coberturas vegetais (81,28% para o primeiro componente e 18,72% para o segundo).

As figuras 3,4,5 e 6 mostram a dispersão gráfica das coberturas vegetais em relação aos dois primeiros componentes e demonstram a similaridade dentro, e a dissimilaridade entre os grupos. Estes resultados evidenciam, a influência do solo na dissimilaridade das coberturas vegetais.

Em todas as profundidades estudadas, o Po lábil e o P disponível foram as variáveis que mais contribuíram para a minimização da variação dentro dos grupos e maximização da variância entre os grupos, mostrando que a acumulação do Po nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível, onde solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de Po. Esses resultados sugerem, que maior ênfase deve ser dada ao estudo do Po, para a melhor avaliação da dinâmica de P nos ecossistemas, possibilitando uma melhoria da qualidade dos solos.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

6.1. RESUMO

Nos agrossistemas que privilegiam a manutenção de cobertura do solo, a ciclagem do P e seu desdobramento assumem diferenças relevantes quanto ao seu comportamento. Nos sistemas mais conservacionistas, uma grande quantidade de P é reciclado anualmente, podendo elevar sensivelmente o conteúdo de P disponível, primeiramente através da rápida liberação de P inorgânico dos tecidos e depois alimentando o Pi lábil através da manutenção do Po lábil do solo, pela liberação de formas orgânicas. Isto mostra que em sistemas florestais ou agroflorestais, a acumulação de resíduos na superfície teria influência não somente na taxa de mineralização de formas orgânicas, mas também na regulação de mecanismos de mobilização/imobilização de P durante as transformações da fração orgânica.

Objetivou-se com o presente trabalho: avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo de cacau sobre o fósforo orgânico (Po) do solo; avaliar o efeito do solo sobre o Po do solo; avaliar o teor de Po total e as frações lábeis de P no solo; avaliar o teor do Po em diferentes profundidades e avaliar a inter-relação do Po com as variáveis químicas e físicas de agrossistemas de cacau. Foram avaliados diferentes modelos de sistemas agroflorestais no sul da Bahia, em dois tipos de solos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Húmicos Eutróficos, em que o cacau participa como principal componente dos sistemas tradicionais de cultivos e jardins clonais com diferentes espaçamentos: cacau

implantado sob mata raleada ou “cabruca” e cacau implantado com derruba total, sob sombra de leguminosas. O estudo foi efetuado em 6 áreas localizadas em diferentes agrossistemas da região cacauceira da Bahia. Duas áreas em solos Cambissolo localizadas no município de Itajuípe, sendo uma área na fazenda Almirante Cacau e uma na área experimental da CEPLAC/CEPEC, e quatro áreas de solos Latossolo no município de Uruçuca, na fazenda Brasileira. O clima da região é quente e úmido e a pluviosidade média é de 1500 mm, bem distribuídos ao longo do ano, apresentando uma leve estiagem no verão, dezembro a fevereiro, e maior precipitação no inverno, junho a agosto. A área estudada foi composta por seis coberturas: Mata natural (MN), cacau renovado em sistema com *Erythrina* (CRE), cacau renovado em sistema cabruca (CRC), cacau antigo em sistema cabruca (CAC), cacau antigo em sistema com *Erythrina* (CAE) e cacau em jardim clonal adensado (JCA). Nestes sistemas, as áreas de cacau foram implantadas sobre diferentes tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (MN, CRE, CRC e CAC) e Cambissolo (CAE e JCA). Os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Para comparação das médias foi usado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados também foram submetidos à análise multivariada através de componentes principais (ACP) e técnicas de agrupamento (método de Tocher). Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% de probabilidade entre as diferentes frações de P e algumas propriedades químicas e físicas do solo. Os níveis de fertilidade dos solos sob diferentes tipos de sombreamento de cacau e mata natural variaram de baixo a médio nos Latossolos e médio a alto nos Cambissolos, em todas as camadas analisadas. Os resultados mostraram maiores teores de Po lábil no JCA e, maiores valores da relação Po lábil/P total lábil na MN, evidenciando maior conservação de Po nesses sistemas. Houve tendência das formas de Po e Pi decrescerem com a profundidade. A MN, CAE e JCA, foram as coberturas florestais que mais se diferenciaram das demais, sugerindo que o tipo de vegetação e tipo de solo alteraram expressivamente a dinâmica dos nutrientes, em especial do Po, fazendo com que formas mais disponíveis fossem acumuladas nessas áreas. Observou-se correlação positiva significativa entre o Po lábil e Pt e entre o Po lábil e o P disponível (Mehlich-1), em todas as profundidades indicando estreita relação entre estas variáveis, confirmando a dependência da fonte orgânica em relação à fonte inorgânica, onde

a variação e o estoque de P_o estariam diretamente relacionados às adições de P_i . Esta correlação revela a similaridade entre os mecanismos de mobilização do P_o no reservatório lábil, indicando a contribuição da forma orgânica de P na disponibilidade para as plantas.

Assim, evidenciou-se que a acumulação do P_o nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível, onde solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de P_o . Esses resultados sugerem, que maior ênfase deve ser dada ao estudo do P_o , para a melhor avaliação da dinâmica de P nos ecossistemas, possibilitando uma melhoria da qualidade dos solos.

6.2. CONCLUSÕES

1. As diferentes frações de P decresceram com a profundidade. O nível das frações de P da camada 0-5 cm foi superior às das camadas subjacentes;
2. A variação do P_o (total e lábil) foi influenciada, principalmente, pelos diferentes tipos de solos;
3. Os maiores valores de P_o lábil foram encontrados no JCA, seguido do CAE e MN. Ainda que a MN apresente baixos valores de P_o total, seria um potencial fornecedor de P para o sistema, uma vez que o P_o lábil é a principal fonte de P disponível para as plantas;
4. Foram encontrados maiores valores de P_i (total e lábil), em todas as camadas analisadas, no CAE e JCA, mostrando que essas coberturas podem ser importantes reservas de P_i para aumento e disponibilidade de P_o ;
5. Os maiores valores de (P_i+P_o) lábil, em todas as camadas analisadas, foram encontrados no JCA, mostrando que ao longo do perfil estudado,

esta cobertura constitui uma grande reserva de P disponível;

6. O Po (total e lábil) correlacionou-se positivamente com o Pt e P disponível;
7. A MN, CAE e JCA, foram as coberturas florestais que mais se diferenciaram das demais, sugerindo que o tipo de vegetação e tipo de solo alteraram expressivamente a dinâmica dos nutrientes, em especial do Po, fazendo com que formas mais disponíveis fossem acumuladas nessas áreas.
8. No grupo dos Latossolos, os agrossistemas de cacau são mais eficientes que a mata natural em manter maiores teores de Po e P disponível.
9. A acumulação do Po nos solos está mais estreitamente associada aos teores de P disponível que aos teores de C orgânico e de argila.
10. Solos com elevados teores de P disponível tendem a ter proporcionalmente altos teores de Po.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M. A. e BYRNE, L. T. (1989) ^{31}P -NMR analysis of phosphorus compounds in extracts of surface soils from selected Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests. *Biology e Biochemistry*, 21:523-528.
- AMELUNG, W., RODIONOV, A., URUSEVSKAJA, I. S., HAUMAIER, L. e ZECH, W. (2001) Forms of organic phosphorus in zonal steppe soils of Russia assessed by ^{31}P NMR. *Geoderma*, 103:335-350.
- ANDERSON, G. (1980) Assessing organic phosphorus in soils. In: DINAUER, R.C., ED. *The role of phosphorus in a agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, p. 411-431.
- ANDERSON, J. D. e INGRAM, J. S. I. (1996) Tropical soil biology and fertility. In: A handbook of methods. 2,ed, Wallingford, UK CAB International, 171p.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. e GALLO, J.R. (1983) Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 48p. (Boletim técnico, 78)

- BECK, M.A. e SANCHES, P.A. (1994) Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1424-1430.
- BORNEMISZA, E. e IGUE, K. (1967) Compararison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rican soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 103(5): 347-353.
- BOWMAN, R.A. e COLE, C.V. (1978a) An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore. 125:95-101.
- BOWMAN, R.A. e COLE, C.V. (1978b) Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Science*, Baltimore. 125:49-54.
- BOWMAN, R.A. (1989) A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, p. 326-366.
- BRAGA, J.M. e DEFELIPO, B.V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, Viçosa, 21:73-85.
- BUSATO, J.G. (2004) Formas de fósforo de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 66p.
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M.B.M.; SANTANA, C.J.L.; CHEPOTE, R.E.; NAKAYAMA, L.H. (1988) Utilização de adubos e corretivos na cultura do cacau. In: Manual do extensionista. Ilhéus, Bahia, CEPLAC/CEPEC/Dept^o de Extensão. P.1-22.
- CADE-MENUN, B.J. e PRESTON, C.M. (1996) A comparision of extraction procedures for ³¹P NMR spectroscopy. *Soil Science*, 161:770-785.

- CADE-MENUN, B.J. (2005) Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by ^{31}P nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Talanta*, 66:359-371.
- CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. e BERTON, R.S. (1992) Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. *In: GUERRINI, I.A. e BULL, L.T. (Ed.), Encontro sobre matéria orgânica do solo*. Jaboticabal: UNESP, p.63-122.
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B. e PAUL, E.A. (1981) Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.61, n.2, p.373-385.
- CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; DAVIS, M.R.; SHERLOCK, R.R. (2003) Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 177:539-557.
- COLEMAN, D. C.; REID, C. P. P. e COLE, C. V. (1983) Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. *Advance Ecology Research*, 13: 1-55.
- COMERFORD, N.B.; CROPPER, W.; GRIERSON, P. F.; ARAUJO, Q. e JOSE S. (2006) Modeling P bioavailability and uptake in agroforestry systems. *In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R. e CARNEIRO, J.G.A. eds. Sistemas agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, p.303-315.
- CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H. e STEWART, J.W.B. (1990) Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1261-1266.

- CROSS, A. F. e SCHLESINGER, W.H. (1995) A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64 p. 197-214.
- CRUZ, C.D. (1990) Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas. Tese (Doutorado em agronomia) - Piracicaba: Escola Superior Luiz de Queiroz – ESALQ 188p.
- CRUZ, C.D. e REGAZZI, A.J. (1994) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: Editora UFV, 394p.
- CUNHA, G.M. (2002) Balanço e ciclagem de nutrientes em florestas montanas da mata atlântica e em plantio de eucalipto na região Norte Fluminense. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 122p.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S. e VELLOSO, A.C.X. (2007) Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:667-672, 2007.
- DAHNIKE, W.C.; MALCOLM, J.L. e MENENDEZ, M.E. (1964) Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. *Soil Science*, Baltimore, 98:33-38.
- DALAL, R.C. (1977) Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy*. San Diego, v.29, p.83-117.
- DICK, W.A. e TABATABAI, M.A. (1977) Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *J. Environ. Qual.*, 6:82-85.
- DUDA, G.P. (2000) Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. Tese (Doutorado), Itaguaí – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 158p.

- EMBRAPA. (1999) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa solos, 379p.
- FAQUIN, V. (1998) Nutrição Mineral de Plantas. Lavras, MG, UFLA/FAEP, 227p.
- FASSBENDER, H.W.; ALPÍZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOSTER, H.; ENRÍQUEZ, G. (1988) Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 6: 49-62.
- FONTES, A.G. (2006) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. 71p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. e CADIMA Z. A. (1991) Efectos de fertilización sobre sistema radicular de cacao en suelos de "tabuleiros" del sur de Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41:135-141.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. e MIRANDA, R.C.C. (1991 a) O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41: 598-606.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. e MIRANDA, R.C.C. (1991 b) Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folheto num agrossistema de cacau do sul da Bahia. *Pesq. Agropec. bras.*, 26: 1345-1350.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. (2004) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: Funcionalidade e Sustentabilidade. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.F.L. e SERÔDIO, M.H.C.F. *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida*. 1. ed. Ilhéus, Ba: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais : Comissão Executiva do plano da lavoura cacaeira, p. 67-88.

- GAMA-RODRIGUES, A.C. (2004) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L.; SERÓDIO, M.H.C.F. eds. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, p.64-84.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. e MENDONÇA, E.S. (1999) Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *R. bras. Ci. Solo*, 23:581-592.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. e DE-POLLI, H. (2000) Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: FERTIBIO-2000 BIODINÂMICA DO SOLO, 2., 2000, Santa Maria - RS. **Anais...** Santa Maria – RS: UFSM, 1 CD-ROM.
- GEORGE, T.S.; GREGORY, P.J.; ROBINSON, J.R.; BURESH, R.J. e JAMA, B. (2002) Utilization of soil organic P by agroforestry and crop species in the field, western Kenya. *Plant Soil*, 246:53-63.
- GIL-SOTRES, F., ZECH, W. e ALT, H. G. (1990) Characterization of phosphorus fractions in surface horizons of soils from Galicia (N.W. Spain) by ³¹P NMR spectroscopy. *Soil Biology e Biochemistry*, 22:75-79.
- GRIERSON, P.F.; SMITHSON, P.; NZIGUHEBA, G.; RADERSMA, S. e COMERFORD, N.B. (2004) Phosphorus dynamics and mobilization by plants. In: NOORDWISK, M.van.; CADISCH, G. e ONG, C.K. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Concepts and models with multiple plant components*. p. 127-142.
- GUERRA, J.G.M. (1993) Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Tese (Doutorado). Itaguaí – RJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 234p.

- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. e FERNANDES, M.S. (1996) Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:291-299.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H, e FERNANDES, M.S. (1995) Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.30, p.543-551.
- GUGGENBERGER, G., CHRISTENSEN, B. T., RUBAEK, G., ZECH, W. (1996) Land-use and fertilization effects on P forms in two European soils: resin extraction and ^{31}P -NMR. *European Journal of Soil Science*, 47:231-239.
- GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L. e THOMAS, R.J. (1996) Assessing the organic phosphorus status of an oxisol under tropical pastures following native savanna using ^{31}P NMR spectroscopy. *Biol. Fertil. Soils*, 23:332-339.
- GUO, F.; YOST, R.S.; HUE, N.V.; EVENSEN, C.I. e SILVA, J.A. (2000) Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1681-1689.
- HEDLEY, M. J., STEWART, W.B. e CHAUHAN, B.S. (1982) Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- IPINMIDUN, W.B. (1973) Comparison of some methods for determining P in some Nigerian soils. *Soil Science*, Baltimore, 115:324-325.
- JORDAN, C.F. (1990) Nutrient Cycling Processes and Tropical Forest Management, cap.7.159-180. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T.C. and HADLEY, M. *Rain Forest Regeneration and Management*. Paris: UNESCO.
- KUO, S. (1996) Phosphorus. In: SPARKS, D.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical Methods*. Madison: Soil Science Society of America. p.869-919.

- LEHMANN, J.; GÜNTHER, D.; MOTA, M.S.; ALMEIDA, M.P.; ZECH, W.; KAISER, K. (2001) Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 53:113-124.
- MACHADO, M.I.C.S., BRAUNER, J.L., VIANNA, A.C.T. (1993) Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo.* 17: 331-336.
- MAGID, J.; TIESSEN, H e CONDRON, L.M. (1996) Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. *In: PICCOLO, A., ed. Humic substances in terrestrial ecosystems.* New York, Elsevier Science B.V., p.429-466.
- MAKAROV, M. I., GUGGENBERGER, G. , ALT, H. G. e ZECH, W. (1995) Phosphorus status of Eutric Cambisols polluted by P-containing immissions: results of ^{31}P -NMR spectroscopy and chemical analysis. *Z. Pflanzenernahr*, 158:293-298.
- MAKAROV, M. I., HAUMAIER, L. e ZECH, W. (2002) Nature of soil organic phosphorus: In assessment of peak assignments in the diester region of ^{31}P spectra. *Soil Biology e Biochemistry*, 34:1467-1477.
- MAKAROV, M. I., HAUMAIER, L., ZECH, W. e MALYSHEVA, T. I. (2004) Organic phosphorus compounds in particle-size fractions of mountain soils in the northwestern Caucasus. *Geoderma*, 118:101-114.
- MANHÃES, M. S. (1996) Fósforo em dois solos cultivados com cana-de-açúcar colhida em sistema de cana crua e cana queimada. Tese (Doutorado) - Itaguaí-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 219p.
- MEHTA, N.C., LEGG, J.O. GORING, C.A.I., BLACK, C. A. (1954) Determination of organic phosphorus in soils. I. Extraction method. *Soil Science Society American Proceedings.* 18: 443-449.

- MORAIS, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. e BERNOUX, M. (1995) Soil properties under amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70:63-81.
- MÜLLER, M.W. e GAMA-RODRIGUES, A.C. (2007) Sistemas Agroflorestais com Cacaueiro. In: VALLE, R.R. ed. *Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro*. Ilhéus, CEPLAC, p.246-271.
- MURPHY, J. e RILEY, J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, Amsterdam, v.27, p.31-36.
- NAHAS, E. (1991) *Ciclo do fósforo: Transformações microbianas*. Jaboticabal, FUNEP, 67p.
- NAIR, P. K. R.; MUGENDL, D.N. e LATT, C. R. (1999) Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: Buck, L.E.; Lassoie, J.P. e Fernandes, E.C.M. (Eds). *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Washington, D.C., CRC Press. p. 1-31. (Advances in agroecology)
- NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A. e HANWAY, J.J. (1975) Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 39:51-55.
- NOVAIS, R.F. e JOT SMYTH, T. (1999) *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. UFV, DPS, Viçosa-MG, 399 p.
- OLSEN, S.R. e KHASAWNEH, F.E. (1986) Use limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. e KAMPRATH, E.J. (Eds.) *The role of phosphorus in agriculture*. 2. ed. Madison: America Society of Agronomy, p.361-410.

- OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABE, F.S. e DEAN, L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington: United States Department of Agriculture, 19p. (United States of Agriculture. Circular, 939).
- PALM, C.A (1995) Contribution of agroforestry trees to nutriente requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, 30: 105-124.
- RHEINHEIMER, D.S. e ANGHINONI, I. (2001) Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n., p.151-160.
- RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J. e ANGHINONI, I. (1999) Fósforo orgânico do solo. *In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 1 ed. Porto Alegre: Gênese, p.139-157.
- ROBERTS, T.L.; BETTANY, J.R. e STEWART, J.W.B. (1989) A hierarchical approach to the study organic C, N, P and S in western Canadian soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.69, n.4, p.739-749.
- RON VAZ, M.D.; EDWARDS, A.C.; SHAND, C.A. e CRESSER, M.S. (1993) Phosphorus fractions in soil solution: Influence of soil acidity and fertilizer additions. *Plant Soil*, 148:175-183.
- SANCHEZ, P.A. e SALINAS, J.C. (1981) Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy*, New York, v.34, p. 280-406.
- SANCHEZ, P.A. (1995) Science in agroforestry Systems, 30: 5-55.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. e SANTANA, C.J.L. (1988) Exigências nutricionais e uso de fertilizantes em sistemas de produção de cacau. Ilhéus, CEPEC/CEPLAC.

- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. e SERÓDIO, M.H. (1990) Reciclagem de nutrientes em agrossistemas de cacau. *Agrotrópica*, 2: 68-74.
- SAUNDERS, W.M.H e WILLIAMS, E.G. (1955) Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. *Journal of Soil Science*. Cambridge. v.6, p.254-267.
- SILVA, I.R e MENDONÇA, E.S. (2007) Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.275-374.
- SIQUEIRA, J.O. e MOREIRA, F. M. S. (2001) *Biologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE, 291p.
- SOLOMONS, D., LEHMANN, J., MAMO, T., FRITZSCHE, F., ZECH, W. (2002) Phosphorus compounds and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, 105:21-48.
- SOLTANPOUR, P.N.; FOX, R.L. e JONES, R.C. (1987) A quick method to extract organic phosphorus from soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 51:255-256.
- STEWART, J.W.D. e TIESSEN, H. (1987) Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry*, 4:41-60.
- SZOTT, L.T. e MELENDEZ, G. (2001) Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multistrata agroforestry systems. *Agrofor. Systems*, 53:1125-1132.
- TARANTO, M. T., ADAMS, M. A. e POLGLASE, P. J. (2000) Sequential fractionation and characterisation (³¹P-NMR) of phosphorus-amended soils in *Banksia integrifolia* (L.f) woodland and adjacent pasture. *Soil Biology e Biochemistry*, 32:169-177.

- TATE, K. R. e NEWMAN, R. H. (1982) Phosphorus fractions of a climosequence of soils in New Zealand Tussock Grassland. *Soil Biology e Biochemistry*, 14:191-196.
- TATE, K.R. (1984) The biological transformation of phosphorus in soil. *Plant Soil*. The Hague, v.76, p.245-256.
- THIEN, S.J. e MYERS, R. (1992) Determination of bioavailable phosphorus in soil. *Soil Science of American Journal*, Madson, v.58, n.3, p.814-818.
- TIESSEN, H. e MOIR, J.O., (1993) Characterization of available P by sequential extraction. *In: CARTER, M.R.,(ed) Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publ, Boca Raton. P. 75-86.
- TIESSEN, H.; STEWART, W.B. e COLE, C.V. (1984) Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 853-858.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. e HAVLIN, J.L. (1993) *Soil Fertility and Fertilizers*. 5. ed. New York: Mc Millan.
- TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. (2002) Formas de fósforo em solos sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, p.1467-1476.
- TOKURA, A.M. (2001) Formas de fósforo em diferentes solos sob plantio direto em comparação a áreas adjacentes não cultivadas. Tese (Mestrado). Lavras – MG: Universidade Federal de Lavras – UFLA, 55p.
- TURNER, B. L., MAHIEU, N. e CONDRON, L. M. (2003) The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution ^{31}P NMR spectroscopy. *Organic geochemistry*,34:1199-1210.

- TURRIÓN, M. B., GALLARDO, J. F., HAUMAIER, L., GONZÁLES, M. I. e ZECH, W. (2001) ^{31}P NMR characterization of phosphorus fractions in natural and fertilized forest soils. *Ann. For. Sci*, 58:89-98.
- WALKER, T.W. e ADAMS, A.F.R. (1959) Studies on soil organic matter: 3. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of carbon, nitrogen, sulfur, organic and inorganic phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 87:1-10.
- WESTIN, F.C. e BRITO, J.G. (1969) Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. *Soil Science*, Baltimore, 10:194-202.
- WILLIAMS, J.D.H., SYERS, J.K., WALKER, T.W., REX, R.W. (1970) A comparison of methods for the determination of organic phosphorus. *Soil Sci.* 110: 13-19.
- WILLIAMS, J.D.H., WALKER, T.W. (1967) Comparison of "ignition" and "extraction" methods for the determination of organic phosphate in rocks and soils. *Plant Soil*, 27: 457-459.
- WONG, M.T.F.; HAIRIAH, K. e ALEGRE, J. (2004) Managing soil acidity and aluminium toxicity in tree-based agroecosystems. In: NOORDWISK, M. van. CADISCH, G. e ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CAB International, p.143-156.
- ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. e MACHADO, R.C.R. (2008) Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *R. bras. Ci. Solo*. 32: 1987-1995.
- ZAIA, F.C. (2005) Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no Norte Fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia. *Campos dos*

Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 89p. (Tese de Mestrado).

ZUBILLAGA, M.S. e CAMELO, L.G.L. (1996) Phosphorus fractions in Argentine soils of different pedogenesis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Athens, 27:2137-2145.

CAPITULO II - ARTIGO

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU

Resumo – A compreensão de parte do ciclo do P orgânico (Po) no solo poderá fornecer subsídios para o manejo eficiente da fertilização fosfatada no sistema de agricultura de baixos insumos na região tropical. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação de frações de P orgânico em duas classes de solos sob diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia. O Po total variou de 7,8 a 36,3% do P total extraído, com teor médio de 193,3 mg kg⁻¹. O teor médio de Po lábil foi de 15,2 mg kg⁻¹, com variação de 33,1 a 81,9% do P lábil total. Nos agrossistemas de cacau, o grupo de Latossolos apresentou menor teor de Po total, Po lábil e P microbiano do que o grupo de Cambissolos. No grupo de Latossolos, os solos sob agrossistemas de cacau apresentaram maior teor de Po total, P microbiano e P disponível, mas menor teor de Po lábil do que o solo sob floresta natural. O P disponível correlacionou-se positivamente com o Po (total, lábil e microbiano), e o Po total, com o P microbiano. O Po lábil predominou amplamente sobre a fração inorgânica lábil, especialmente no grupo de Latossolos.

Termos de indexação: Mata Atlântica, disponibilidade de fósforo, frações lábeis de fósforo, biomassa microbiana.

ORGANIC PHOSPHORUS IN SOILS UNDER COCOA AGROSYSTEMS IN THE SOUTH OF BAHIA STATE, BRAZIL

Abstract – Understanding the soil organic P (Po) cycle is important to improve the management of P fertilization in tropical agricultural systems of low input. The aim of this study was to evaluate Po content and labile P fractions, and microbial biomass P in the soils under different cocoa agrosystems. Mean total Po was 193 mg kg⁻¹ and it accounted for 7,8 to 36,3% of the total extracted P. Mean labile Po was 15 mg kg⁻¹ and it accounted for 33,1 to 81,9% of the total labile P. In cocoa agrosystems, the Oxisols group total Po, labile Po and microbial P contents were less than the Inceptisols group. In Oxisols group, soils under cocoa agrosystems total Po, microbial P and available P contents were more than the soil under natural forest. However, the greatest content of labile Po was observed in the natural forest. Available P was positively correlated with Po (total, labile and microbial), and total Po was positively related to microbial P.

Index term: Atlantic Forest, available P, labile P fraction, microbial biomass.

INTRODUÇÃO

A importância relativa do P orgânico (Po) na nutrição das plantas aumenta nas condições de deficiência de P, resultante dos baixos teores totais de P e, ou, forte adsorção de P pelos oxihidróxidos de Fe e Al no solo. Nessas condições, a ciclagem de formas orgânicas mais lábeis é acelerada, sendo mais importante em solos tropicais altamente intemperizados (Silva e Mendonça, 2007). Nesses solos, o conteúdo de Po seria maior naqueles mais argilosos (Cade-Menun, 2005), com maior teor de C orgânico (Gressel e McColi, 1997; Cunha et al., 2007) e menor pH (Cunha et al., 2007).

Nos sistemas agroflorestais e florestais, por promoverem uma grande acumulação de matéria orgânica no solo, o P disponível está estreitamente associado ao Po lábil (Szott e Melendez, 2001; Lehmann et al., 2001; George et al., 2002; Comerford et al., 2006). Nesses sistemas, além das formas lábeis de Po, o conteúdo de P da biomassa microbiana do solo possui também uma estreita

relação com o P disponível (Grieson et al., 2004; Zaia, 2005), por constituir a fração ativa e de rápido “turnover” do ciclo de P no solo. Assim, ambas as frações de P_o lábil, e de P microbiano constituiriam importantes reservatórios de P, diminuindo a capacidade de adsorção da fase mineral do solo e, conseqüentemente, o aumento da disponibilidade de P para as plantas.

No Brasil, o cacau, por se caracterizar como uma cultura de subbosque, seja sob floresta natural, seja sob floresta homogênea, constitui agrossistema adequado para estudos de ciclagem de nutrientes (Gama-Rodrigues, 2004). A combinação do cacau com espécies não lenhosas (banana, mandioca, etc.) e espécies lenhosas (*Erythrina*, gliricídia, etc.), seria um bom exemplo da compatibilidade e complementaridade de diferentes espécies e ao mesmo tempo de sustentabilidade de sistemas de produção multi-estratificados (Muller e Gama-Rodrigues, 2007). Nesse sentido, alguns trabalhos de ciclagem de nutrientes têm sido realizados procurando dar ênfase no ciclo da matéria orgânica (Fassbender et al., 1988; Santana et al., 1990; Fontes, 2006) ou no ciclo hidrológico (Gama-Rodrigues e Miranda, 1991 a,b) e à sua contribuição no fornecimento de nutrientes. Contudo, tem sido pouco estudado o papel do P_o na disponibilidade de P para a cultura do cacau (Acquaye, 1963), apesar desse agrossistema promover acumulação de matéria orgânica no solo (Fontes, 2006) e do P ser considerado o principal fator nutricional limitante à expansão dessa cultura em solos mais intemperizados (Santana et al., 1988). Assim, para os agrossistemas de cacau estudos sobre P_o poderiam fornecer importantes subsídios para o desenvolvimento de técnicas de manejo da fertilização fosfatada, que sejam ecológica e economicamente sustentáveis.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação de frações de P orgânico em duas classes de solos sob diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região cacauzeira, no município de Itajuípe, no sul da Bahia. A vegetação foi classificada como “Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas” (Veloso et al., 1991). O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Af, caracterizado por uma pluviosidade média anual de 1.500

mm, sem estação seca definida, e a temperatura média anual é de 26⁰C (Estação Climatológica Almirante Centro de Estudos de Cacau, dados não publicados).

Estudaram-se cinco agrossistemas de cacau: 1 - cacau renovado *Erythrina* (*Erythrina glauca*); 2 – cacau renovado cabruca; 3 – cacau antigo cabruca; 4 – cacau antigo *Erythrina*; e 5 – cacau em jardim clonal adensado. A idade dos agrossistemas 1, 2 e 4 era de 30 anos, mas nos dois primeiros houve renovação de copa por enxertia com idade de três anos, sem recepa da copa anterior. Nos agrossistemas 3 e 5, a idade era de 70 e 15 anos, respectivamente. O nível de sombreamento foi maior de 30%, à exceção do agrossistema 5. Nos agrossistemas de 1 a 4 o espaçamento do cacauzeiro foi de 3 x 2 m. Para as árvores de sombra, o espaçamento da *Erythrina* foi de 24 x 24 m distribuídas em quincôncio, enquanto na cabruca as árvores estavam espaçadas aleatoriamente. No agrossistema 5, o espaçamento do cacauzeiro foi em linha dupla de 3 x 1,5 x 1,3 m, sob sombra de *Erythrina* e gliricídia (*Gliricidia sepium*) em espaçamento de 30 x 30 m, em quincôncio. Em todos os agrossistemas não tem havido fertilização mineral ou orgânica a mais de 10 anos. Uma Floresta Ombrófila Densa Secundária Tardia serviu de referencial aos outros sistemas.

No presente trabalho, a cabruca foi o sistema de cultivo do cacau como sub-bosque de floresta natural. Baseou-se na substituição da vegetação rasteira e das árvores de menor porte, que ofereciam maior competitividade ao cacauzeiro, permanecendo somente aquelas que poderiam ser utilizadas como sombra provisória e, em alguma situação, até como sombra definitiva. Após esta operação, selecionaram-se as árvores de copa alta e pouco densa para o sombreamento definitivo e, então, derrubaram-se as restantes.

Na floresta natural e nos agrossistemas de 1 a 3, os solos foram classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos e, nos agrossistemas 4 e 5, como Cambissolos Háplicos Tb eutróficos, todos em relevo ondulado. Para a caracterização da fertilidade do solo e dos teores de P orgânico lábil e P orgânico total e, de C e P da biomassa microbiana, em cada cobertura vegetal, foi delimitada uma parcela fixa de 1.500 m². Em cada parcela foram coletadas quatro amostras compostas (15 simples/composta) na profundidade de 0-5 cm, em maio de 2004. A composição granulométrica e os atributos químicos foram determinados de acordo com Embrapa (1997), com exceção do C orgânico estimado por oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido (Anderson e

Ingram, 1996). Foram também coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm para determinação dos teores das frações de Po e Pi.

A quantificação do Po total foi obtida empregando-se o método de extração seqüencial (Bowman, 1989), enquanto o Po lábil pelo método de extração com NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (Bowman e Cole, 1978). O Pi foi determinado após clarificação dos extratos com carvão ativo (Guerra et al., 1996). O teor de Pi nos extratos ácidos e alcalinos foi determinado pelo método de Murphey e Riley (1962). O método da fumigação-extração foi utilizado para estimar o C (Vance et al., 1987) e o P (Brookes et al., 1984) da biomassa microbiana do solo.

Em cada cobertura vegetal, na comparação entre as camadas de amostragem para os teores das frações de Pi, Po e Pi+Po do solo, os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Adotou-se o teste F a 5%. Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% entre as diferentes frações de P e alguns atributos químicos do solo.

Cada cobertura vegetal foi considerada um tratamento de efeito fixo. Assim, os dados das frações de Po (total, lábil e microbiano) e Pi, de P disponível (Mehlich-1), de C orgânico e da biomassa microbiana e mais argila também foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) com o objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos mesmos em um diagrama, ordenando-os nos componentes, de acordo com suas similaridades em torno das variáveis utilizadas (Ter Braak, 1986). As variáveis foram padronizadas para reduzir efeitos de escala. A ACP transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente. Assim, as amostras (coberturas vegetais) e as variáveis (diferentes frações de P, C e argila) foram transformadas em coordenadas, que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores, representando o peso de cada variável sobre cada componente (eixo) e funciona como coeficiente de correlação, que varia de -1 até +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo. Neste trabalho considerou-se o autovetor $< 0,7$ como de baixa associação para a interpretação dos componentes principais (Wick et al., 1998). Na maioria dos estudos, como no caso do presente trabalho, apenas os dois primeiros componentes são utilizados, sendo considerados suficientes para explicar os

dados e facilitam a interpretação do gráfico em duas dimensões (Gomes et al., 2004).

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando certa cobertura vegetal) pode ser relacionado com cada seta (teores de P, C ou argila), por meio de uma perpendicular partindo da linha da seta até o referido ponto. A ordem nas quais os pontos se projetam na seta, da sua extremidade até sua origem, dá uma indicação dessa relação. Coberturas vegetais com sua projeção perpendicular próxima ou além da ponta da seta são mais positivamente correlacionados e influenciados pela variável em questão. Aqueles na extremidade oposta são influenciados em menor grau. O ângulo de inclinação de cada seta com relação a cada eixo indica quão estreitamente correlacionado está o atributo com este eixo (Alvarenga e Davide, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura vegetal

A textura e o nível de fertilidade do solo variaram amplamente entre as coberturas vegetais (Quadro 1). O grupo de Cambissolos apresentou menor acidez e maior nível de fertilidade do solo do que o grupo de Latossolos. Nesse grupo de solos, a maior acidez e o menor nível de fertilidade ocorreram no solo sob floresta natural em relação aos agrossistemas de cacau. Entretanto, apenas para C orgânico não houve diferença significativa entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau. Os maiores teores de argilas ocorreram no grupo de Latossolos, sendo o solo mais argiloso sob floresta natural. Considerando os teores de argila, os teores de P disponível (Mehlich-1) foram baixos no grupo de Latossolos, enquanto no grupo de Cambissolos esses teores variaram de médio a muito alto.

A relação $(P_i+P_o)/P$ total indica a taxa de recuperação do método em relação ao P total do solo por digestão. A taxa de recuperação variou de 40 a 169% (Quadro 2). As taxas de recuperação encontradas por Condrón et AL. (1990) variaram entre 30 e 170% do P total, por Guerra et AL. (1996) entre 48 e 109%, e por Cunha et AL (2007) entre 50 e 82%.

Os maiores teores das frações de P (inorgânico e orgânico) foram encontrados no grupo de Cambissolos, sob cacau antigo *Erythrina* e sob cacau

em jardim clonal adensado (Quadro 2). O Pi predominou na composição do P total (Pi + Po) nos solos sob todas as coberturas vegetais. O Po total representou de 7,8% a 36,3% do P total extraído. O Latossolo sob cacau renovado cabruca apresentou a menor relação Po/P total, enquanto a maior participação do Po na composição do P total foi no Latossolo sob cacau antigo cabruca. Cunha et al. (2007) e Zaia (2005), usando o mesmo método de determinação de Po do presente trabalho, encontraram para Latossolos e Cambissolos variação de Po total de 22,6% a 39,6% em solos florestais e de 14,6% a 24,1% em solos de pastagens.

Quadro 1. Características físicas e químicas do solo, na camada 0-5 cm, sob agrossistemas de cacau

Solo	Cobertura	Areia	Silte	Argila	pH	P _t ⁽²⁾	P ⁽³⁾	AI	SB	C
		----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----		--- mmol _c kg ⁻¹ ---		g kg ⁻¹
Latossolo	Floresta natural	300	110	590	3,8	585	4,3	19,2	27,0	41,15
Latossolo	Cacau ren. eritr. ⁽¹⁾	410	280	310	4,6	690	7,7	2,7	63,7	39,72
Latossolo	Cacau ren. cabr.	450	120	430	4,9	715	6,7	0,8	83,8	40,19
Latossolo	Cacau ant. cabr.	440	230	330	5,4	736	6,8	0,2	91,0	39,52
Cambissolo	Cacau ant. eritr.	410	420	170	5,9	989	17,0	0,0	151,0	16,95
Cambissolo	Cacau jar. clonal	540	340	120	6,0	1289	73,3	0,0	192,0	29,21

⁽¹⁾Cacau renovado *Erythrina* / Cacau renovado cabruca. ⁽²⁾ P total por digestão nítrico-perclórica. ⁽³⁾ P disponível por Mehlich

Quadro 2. Teores das frações de P inorgânico (Pi), orgânico (Po) e inorgânico + orgânico nas formas lábil e total do solo, na camada 0-5 cm, sob agrossistemas de cacau

Solo	Cobertura	Pi		Po		Pi + Po	
		Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
----- mg kg ⁻¹ -----							
Latossolo	Floresta natural	212,8 (82,6) ¹	3,9 (18,7) ²	44,8 (17,4) ¹	17,1 (81,3) ²	257,6 ³	21,0
Latossolo	Cacau ren. <i>Eryth.</i> ^{1/}	338,2 (84,8)	6,1 (28,9)	60,4 (15,2)	15,1 (71,1)	398,6	21,2
Latossolo	Cacau ren. cabruca	262,0 (92,2)	4,2 (24,7)	22,3 (7,8)	12,8 (75,3)	284,2	17,0
Latossolo	Cacau ant. cabruca	314,2 (63,7)	5,8 (34,7)	179,3 (36,3)	10,8 (65,3)	493,5	16,3
Cambissolo	Cacau ant. <i>Erythrina</i>	1207,0 (72,3)	15,0 (47,9)	461,8 (27,4)	16,3 (52,1)	1668,8	31,3
Cambissolo	Cacau jardim clonal	881,9 (69,3)	38,6 (66,9)	391,0 (30,7)	19,1 (33,1)	1273,0	57,7
Média		536,0 (73,5)	12,2 (44,5)	193,3 (26,5)	15,2 (55,5)	729,3	27,4

¹Percentual em relação a Pi + Po total. ²Percentual em relação a Pi + Po lábil. ³Recuperação percentual em relação ao P total estimado a partir de digestão nítrico-perclórica.

O teor médio de Po total foi de 193,3 mg kg⁻¹. No grupo de Latossolos, o teor médio foi de 76,7 mg kg⁻¹, enquanto no grupo de Cambissolos foi de 426,4 mg kg⁻¹. Estes teores de Po total estão dentro da faixa de valores encontrados para Cambissolos, que variaram entre 87 e 771,5 mg kg⁻¹ (Duda, 2000; Cunha et al., 2007) e, para Latossolos, que variaram entre 22 mg kg⁻¹ e 119,9 mg kg⁻¹ (Guerra et al., 1996; Zaia, 2005; Cunha et al., 2007).

O teor médio de Po lábil foi de 15,2 mg kg⁻¹. Nos grupos de Latossolos e de Cambissolos os teores médios desta fração foram de 14,0 mg kg⁻¹ e 17,7 mg kg⁻¹, respectivamente. Verifica-se, assim, que a maior diferença entre as duas classes de solos foi para o Po total. Entretanto, esta tendência não foi verificada para Pi (total e lábil), onde no grupo de Latossolos as frações de Pi corresponderam em torno de 20% dos teores dessas frações em relação ao grupo de Cambissolos (Quadro 2).

O balanço entre Pi lábil e Po lábil em relação ao P lábil total apresentou diferença entre os tipos de solos (Quadro 2). A fração Po lábil foi maior do que o Pi lábil, ao contrário do balanço de Pi e Po em relação ao P total. No grupo de Latossolos, sob floresta natural 81,3% do P lábil e de 65,3 a 75,3% sob agrossistemas de cacau foram constituídos por Po lábil; entretanto, no grupo de Cambissolos a proporção do Po lábil variou de 33,1 a 52,1%. Na região norte fluminense, a proporção de Po lábil em Cambissolos sob florestas naturais foi de 86,3% e de 68,8% em Latossolos sob eucalipto, leguminosas florestais e floresta natural (Zaia, 2005; Cunha et al., 2007).

O predomínio de Po lábil em relação ao Pi lábil no grupo de Latossolos (Quadro 2), encontrado também por Guerra et al. (1996), indicaria que a disponibilidade de P, em curto prazo, não seria completamente acessada por determinações de P disponível (Novais et al., 2007). Em solos de avançado estágio de intemperismo, o P disponível estaria estreitamente relacionado às frações do Po (George et al., 2002; Grierson et al., 2004).

Para o P da biomassa microbiana a amplitude de variação foi de 3,93 mg de P kg⁻¹, no Latossolo sob floresta natural, a 17,88 mg de P kg⁻¹, no Cambissolo sob cacau em jardim clonal adensado (Quadro 3). O grupo de Cambissolos apresentou valores médios de P microbiano 2,3 vezes superiores ao grupo de Latossolos. O C da biomassa microbiana, também variou significativamente entre os solos; entretanto, os maiores valores médios foram encontrados no grupo de

Latossolos (471,7 mg de C kg⁻¹) do que no grupo de Cambissolos (305,5 mg de C kg⁻¹).

Quadro 3. Teores das frações de P da biomassa microbiana (Pbm) e de C da biomassa microbiana (Cbm), relações de C microbiano para C orgânico (Cbm/C) e de P microbiano para Po total (Pbm/Pot) do solo, na camada 0-5 cm, sob agrossistemas de cacau

Solo	Cobertura	Pbm	Cbm	Cbm/C	Pbm/Pot
		mg kg ⁻¹		%	
Latossolo	Floresta natural	3,93	688,3	1,67	9
Latossolo	Cacau ren. <i>Erythrina</i>	6,00	437,2	1,10	10
Latossolo	Cacau ren. cabruca	7,86	453,5	1,13	36
Latossolo	Cacau ant. cabruca	8,36	307,7	0,78	5
Cambissolo	Cacau ant. <i>Erythrina</i>	12,39	395,3	2,33	3
Cambissolo	Cacau jardim clonal	17,88	215,6	0,74	5
Média		9,40	416,30	1,29	11
CV (%)		48,7	35,1	43,0	102,6

A maior eficiência da biomassa microbiana do solo em imobilizar C (Cbm/C orgânico) e P (Pbm/Po total) variou significativamente entre os solos. Para ambos os elementos, em média, a maior eficiência microbiana foi encontrada no grupo de Latossolos (Quadro 3). A maior proporção de Po mineralizável, indicada pela relação Po lábil/Po total, também ocorreu no grupo de Latossolos sob cacau renovado cabruca (57,5%), floresta natural (38,2%), cacau renovado *Erythrina* (24,9%) e cacau antigo cabruca (6,0%). Já no grupo de Cambissolos, a proporção de Po mineralizável foi de 3,5% para cacau antigo *Erythrina* e de 4,9% para cacau em jardim clonal adensado. Zaia (2005) encontrou teores de P microbiano na faixa de 1,96 a 10,54 mg kg⁻¹ em Latossolos sob pastagem, leguminosa arbórea e floresta natural. Em Argissolos, os valores de P microbiano estão na faixa de 7,7 a 13,7 mg kg⁻¹, sob pastagens (Guerra et al., 1995) e de 1,0 a 7,5 mg kg⁻¹, sob plantios de milho (Matos et al., 2006).

Os dois primeiros componentes principais foram utilizados para explicar a variação total entre os solos, quando foram analisadas conjuntamente as frações de Pi (total e lábil), Po (total, lábil e microbiano) e P disponível (Mehlich-1), e mais os teores de argila, C orgânico e C da biomassa microbiana dos solos. O primeiro

componente explicou 75,8% e o segundo 12,3%, perfazendo 88,1% da variância total acumulada entre os solos. A dispersão gráfica dos solos sob as diferentes coberturas (Figura 1) demonstra dissimilaridade entre os dois grupos de solos analisados, o grupo de Latossolos localizado à esquerda do diagrama de ordenação; ao contrário do grupo de Cambissolos que ficou localizado à direita deste diagrama. No grupo de Latossolos verifica-se que o solo sob floresta natural apresentou alto grau de dissimilaridade em relação aos agrossistemas de cacau, porém dentre esses agrossistemas houve maior similaridade apenas entre o cacau renovado *Erythrina* e o cacau renovado cabruca. No grupo de Cambissolos houve baixa similaridade entre os dois agrossistemas de cacau.

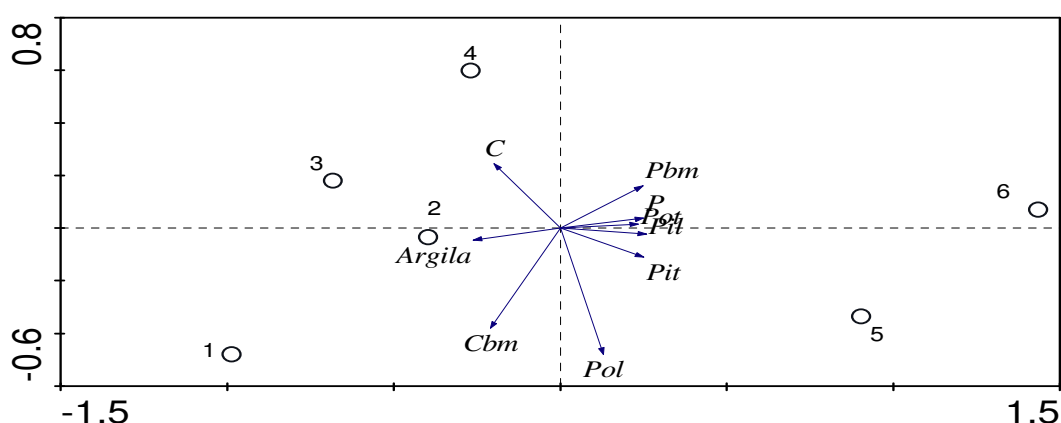


Figura 1. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos atributos do solo. Pot = Po total; Pol = Po lábil; Pit = Pi total; P = P disponível; Pbm = P da biomassa microbiana; P = P disponível; C = C orgânico; Cbm = C da biomassa microbiana e argila. Grupo de Latossolos: coberturas 1 (floresta natural), 2 (cacau renovado *Erythrina*); 3 (cacau renovado cabruca) e 4 (cacau antigo cabruca). Grupo de Cambissolos: coberturas 5 (cacau antigo *Erythrina*) e 6 (cacau em jardim clonal adensado).

As variáveis mais associadas ao CP1 foram as frações de P microbiano, Po total, Pi lábil, Pi total e P disponível, nessa ordem, com autovetores positivos, e argila, C orgânico e C microbiano, com autovetores negativos (Quadro 4 e

Figura 1). O CP2 serve para realçar as diferenças de Po lábil e, até certo ponto, de C microbiano, dentre os diferentes solos. Esses resultados revelam que das diferentes frações de P analisadas o Po lábil foi de pequeno significado ($<0,70$) na distinção dos solos (Quadro 4). Observa-se uma grande sobreposição dos efeitos entre as frações de P associadas ao CP1. O P disponível correlacionou-se positivamente com Po total ($r = 0,634$; $p < 0,01$), Po lábil ($r = 0,652$; $p < 0,01$) e P microbiano ($r = 0,901$; $p < 0,01$), e também houve correlação positiva entre Po total e P microbiano ($r = 0,837$; $p < 0,01$). Entretanto, a argila correlacionou-se negativamente com Po total ($r = -0,843$; $p < 0,01$), P microbiano ($r = -0,872$; $p < 0,01$) e P disponível ($r = -0,689$; $p < 0,01$). O C orgânico também se correlacionou negativamente com Po total ($r = -0,926^{**}$) e P microbiano ($r = -0,673$; $p < 0,01$). Ao contrário das frações de P, houve correlação positiva entre C orgânico e argila ($r = 0,738$; $p < 0,01$).

Quadro 4. Cargas relativas das diferentes variáveis associadas aos componentes principais (CP) de solos, na camada de 0-5 cm, sob agrossistemas de cacau (as cargas sublinhadas foram usadas para interpretar cada componente principal)

Variáveis	CP1	CP2
Pi total	<u>0,895</u>	-0,281
Pi lábil	<u>0,901</u>	-0,004
Po total	<u>0,934</u>	-0,110
Po lábil	0,522	<u>-0,686</u>
P microbiano	<u>0,951</u>	0,140
P disponível	<u>0,836</u>	0,052
C orgânico	<u>-0,813</u>	0,347
C microbiano	<u>-0,760</u>	-0,637
Argila	<u>-0,932</u>	-0,203

Essas correlações sugerem que a acumulação do Po nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível que aos teores de C orgânico e de argila. Como esperado, a acumulação de C estaria estreitamente associada à argila. Isto explica, em parte, a associação negativa encontrada entre

C orgânico e as frações de Po (total e microbiano). Desse modo, constata-se um comportamento distinto de acumulação nos solos entre C orgânico e Po. Solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de Po. Como não houve fertilização fosfatada nos últimos dez anos, três fatores poderiam explicar concomitantemente a variação das diferentes formas de P nos solos estudados: o distinto grau de intemperismo entre os dois grupos de solos, no qual os Cambissolos seriam menos evoluídos, onde o ciclo geoquímico de P seria ainda relevante, caracterizando esses solos como fonte de P. Neste caso, como a quantidade de Pi poderia atender parcial ou totalmente a demanda de P pelas plantas e pelos microorganismos, haveria baixas taxas de mineralização de Po, proporcionando maior acumulação dessa fração de P no solo; a variação do teor de argila entre os solos, nos quais os mais argilosos apresentariam baixos teores de P disponível devido a possuírem elevado poder tampão e, ou, de adsorção de P; e o ciclo biogeoquímico de P, especialmente no grupo de Latossolos, onde os agrossistemas de cacau seriam mais eficientes que a floresta natural em manter maiores teores de Po e P disponível. Fontes (2006), estudando a ciclagem biogeoquímica nas mesmas coberturas vegetais do presente trabalho, encontrou similaridade da biomassa de serapilheira acumulada entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau; contudo, o conteúdo de P na serapilheira dos agrossistemas de cacau foi maior do que a da floresta natural. Assim, a quantidade de P a ser incorporado ao solo via o processo de mineralização seria maior nos agrossistemas de cacau.

Na fase final da decomposição da serapilheira, o P do substrato, parte é mineralizado (Pi) e outra parte ainda está em forma orgânica, com elevado grau de recalcitrância (Gressel e Mccoll, 1997). Esta fração de P orgânico fará parte do processo de acumulação de P orgânico estável do solo, enquanto o P mineralizado pode ser imobilizado na biomassa microbiana (Pbm) e posteriormente fazer parte da fração de Po lábil, ou ser adsorvido na fase mineral do solo (Pi lábil) (Grierson et al, 2004). Na fase orgânica, parte do P pode ser re-mineralizado, retornando à solução do solo; enquanto, na fase mineral a maior parte do P tende a ser fixado, devido às baixíssimas taxas de dessorção. Entretanto, ânions orgânicos, derivados da decomposição da serapilheira poderiam aumentar as taxas de dessorção de P como um resultado da troca de ligantes, elevando à disponibilidade de P (Wong et al., 2004). Assim, o P

disponível estaria em função do balanço dos processos de mineralização/imobilização na fase orgânica, e de adsorção/dessorção na fase mineral, em relação à taxa de transferência de P da serapilheira para o solo.

Camada de amostragem

A variação entre os teores das frações de P_i (total e lábil), P_o (total e lábil) e P total ($P_i + P_o$), na camada de 0-10 cm, em cada cobertura vegetal, foi semelhante ao ocorrido na camada 0-5 cm. Contudo, os teores dessas frações de P na camada de 0-10 cm foram significativamente menores do que na camada de 0-5 cm em todas as coberturas vegetais (Quadro 5). Na camada de 0-10 cm, os teores médios de P_o total e lábil foram de $134,9 \text{ mg kg}^{-1}$ e de $8,3 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Esses teores corresponderam a uma redução de -30,2% e -45,4%, respectivamente, em relação a profundidade de 0-5 cm.

Estes resultados indicam que camadas de amostragem superiores a 0-5 cm proporcionariam “efeito de diluição” na determinação das frações de P em solos de agrossistemas de cacau e de floresta natural. Nessas coberturas vegetais a ciclagem biogeoquímica de P seria decorrente da deposição de resíduos da parte aérea na superfície do solo (Fontes, 2006), no qual a incorporação desses resíduos mediante o processo de decomposição dar-se-ia predominantemente nos primeiros centímetros do perfil do solo. Além disso, na camada de 0-5 cm também ocorreria uma grande presença de raízes finas e radículas (Kummerow et al., 1982; Gama-Rodrigues e Cadima-Zevallos, 1991), que constituiriam fontes de P_o e proporcionaria aumento de P disponível mediante a exsudação de ácidos orgânicos em mecanismo similares a desses mesmos ácidos oriundos da serapilheira (Wong et al., 2004), conforme descrição supracitada.

Assim, nos agrossistemas de cacau a serapilheira acumulada e a raízes poderiam proporcionar acúmulos substantivos de P_o na camada de 0-5 cm. Nesse caso, a quantidade média de P_o lábil dos solos foi de $7,6 \text{ kg/ha}$. O conteúdo de P nas sementes seria em torno de 5 kg/ha para uma produção de 1.000 kg/ha (Gama-Rodrigues, 2004). Desse modo, a quantidade de P_o lábil corresponderia em 1,52 vezes daquela que é exportada nas sementes. Esses resultados evidenciam que formas orgânicas de P potencialmente mineralizáveis poderiam constituir importantes fontes de suprimento do elemento para as plantas

de cacau. Assim, estudos futuros sobre Po poderiam auxiliar no aperfeiçoamento do sistema de recomendação de fertilizantes fosfatados para a cultura do cacau, baseado apenas na análise de P disponível (Mehlich-1) na camada de 0-20 cm (Cabala-Rosand et al., 1988).

Quadro 5. Teores das frações de P inorgânico (Pi), orgânico (Po) e inorgânico + orgânico nas formas lábil e total do solo, nas camadas de 0-5 e 0-10 cm, sob agrossistemas de cacau

Profundidade ----- cm -----	Pi		Po		Pi + Po	
	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg ⁻¹ -----					
	Floresta natural					
0-5	212,8 a	3,8 a	44,8 a	17,1 a	257,6 a	20,9 a
0-10	193,4 b	2,5 b	29,6 b	9,9 b	223,0 b	12,4 b
	Cacau renovado <i>Erythrina</i>					
0-5	338,2 a	6,1 a	60,4 a	15,1 a	398,6 a	21,1 a
0-10	227,7 b	5,5 b	39,6 b	7,0 b	267,3 b	12,5 b
	Cacau renovado cabruca					
0-5	262,0 a	4,2 a	22,3 a	12,8 a	284,2 a	17,0 a
0-10	206,6 b	3,5 b	16,7 b	3,5 b	223,9 b	7,0 b
	Cacau antigo cabruca					
0-5	314,2 a	5,8 a	179,3 a	10,8 a	493,5 a	16,7 a
0-10	274,3 b	4,6 b	121,2 b	7,9 b	395,4 b	12,4 b
	Cacau antigo <i>Erythrina</i>					
0-5	1207,0 a	15,0 a	461,8 a	16,3 a	1668,8 a	31,3 a
0-10	705,7 b	13,1 b	390,4 b	10,6 b	1096,0 b	23,7 b
	Cacau jardim clonal					
0-5	881,9 a	38,6 a	391,0 a	19,1 a	1273,0 a	57,7 a
0-10	774,1 b	30,3 b	212,2 b	10,9 b	986,3 b	41,1 b

As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5%.

CONCLUSÕES

1. Nos agrossistemas de cacau, os Latossolos apresentaram menor teor de Po total, Po lábil e P microbiano do que os Cambissolos.

2. Nos Latossolos, os solos sob agrossistemas de cacau apresentaram maior teor de Po total, P microbiano e P disponível, mas menor teor de Po lábil do que o solo sob floresta natural.
3. O P disponível correlacionou-se positivamente com o Po (total, lábil e microbiano), e o Po total, com o P microbiano.
4. O Po lábil predominou amplamente sobre a fração inorgânica lábil, especialmente nos Latossolos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, M.I.N. e DAVIDE, A.C. (1999) Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. R. Bras. Ci. Solo, 23:933-942.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. e LOPES, A.S. (1999) Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. e ALVAREZ V., V.H., Eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas Gerais. 5ª. Aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 359p.
- ANDERSON, J.N. e INGRAM, J.S.I. (1996) Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford, CAB International, 171p.
- ACQUAYE, D.K. (1963) Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. Soil Plant, 19:65-80.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. e GALLO, J.R. (1983) Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo, 48p.
- BOWMAN, R.A. (1989) A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 326-366.

- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. (1978) Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO_3 extraction. *Soil Sci.*, 125:95-101.
- BROOKS, P.C; POWLSON, D.S. e JENKISON, D.S. (1984) Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16:169-175.
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M.B.M.; SANTANA, C.J.L.; CHEPOTE, R.E. e NAKAYAMA, L.H. (1988) Utilização de adubos e corretivos na cultura do cacau. In: Manual do extensionista. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC/Deptº de Extensão, p.1-22.
- CADE-MENUN, B. J. (2005) Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by ^{31}P nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Talanta*, 66:359-371.
- COMERFORD, N.B.; CROPPER, W.; GRIERSON, P. F.; ARAUJO, Q. e JOSE S. (2006) Modeling P bioavailability and uptake in agroforestry systems. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R. e CARNEIRO, J.G.A. eds. *Sistemas agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, p.303-315.
- CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H. e STEWART, J.W.B. (1990) Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1261-1266.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S. e VELLOSO, A.C.X. (2007) Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:667-671.
- DUDA, G.P. (2000) Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. Itaguaí, RJ: Universidade Federal Rural do Rio

de Janeiro, 2000. 158p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; MONTEIRO, M.T.; DE-POLLI, H. e TEIXEIRA, M.G. (2003) Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. *Sci. Agric.*, 60:139-147.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, Manual de métodos de análise de solo. 2. ed.rev.atual. Rio de Janeiro: CNPS, 212p.

FASSBENDER, H.W.; ALPÍZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOSTER, H.; ENRÍQUEZ, G. (1988) Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 6: 49-62.

FONTES, A.G. (2006) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. 71p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.

GAMA-RODRIGUES, A.C. e CADIMA Z., A. (1991) Efectos de fertilización sobre sistema radicular de cacao en suelos de “tabuleiros” del sur de Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41:135-141.

GAMA-RODRIGUES, A.C. e MIRANDA, R.C.C. (1991a) O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41: 598-606.

GAMA-RODRIGUES, A.C. e MIRANDA, R.C.C. (1991b) Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folheto num agrossistema de cacau do sul da Bahia. *Pesq. Agropec. bras.*, 26: 1345-1350.

- GAMA-RODRIGUES, A.C. (2004) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L.; SERÓDIO, M.H.C.F. eds. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, p.64-84.
- GEORGE, T.S.; GREGORY, P.J.; ROBINSON, J.R.; BURESH, R.J. e JAMA, B. (2002) Utilization of soil organic P by agroforestry and crop species in the field, western Kenya. *Plant Soil*, 246:53-63.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. e SCHULZE, D.G. (2004) Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. *R. Bras.Ci. Solo*, 28: 137-154.
- GRESSEL, N. e McCOLL, J.G. (1997) Phosphorus mineralization and organic matter decomposition: A critical review. In: CADISCH, G. e GILLER, K.E. eds. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, p.297-309.
- GRIERSON, P.F.; SMITHSON, P.; NZIGUHEBA, G.; RADERSMA, S. e COMERFORD, N.B. (2004) Phosphorus dynamics and mobilization by plants. In: NOORDWISK, M. van. CADISCH, G. e ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CAB International, p.127-142.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.C.; ALMEIDA, D.J.; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M.S. (1995) Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Staff. *Pesq. agropec. Bras.*, 30:543-551.

- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, G.A. e FERNANDES, M.S. (1996) Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. agropec. Bras.*, 31:291-299.
- KUMMEROW, J.; KUMMEROW, M. e SILVA, W.S. (1982) Fine root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao*). *Plant Soil*, 65:193-201.
- LEHMANN, J.; GÜNTHER, D.; MOTA, M.S.; ALMEIDA, M.P.; ZECH, W.; KAISER, K. (2001) Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 53:113-124.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; VILLANI, E.M.A.; LEITE, L.F.C. e GALVÃO, J.C.C. (2006) Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:625-632.
- MÜLLER, M.W. e GAMA-RODRIGUES, A.C. (2007) Sistemas Agroflorestais com Cacaueiro. In: VALLE, R.R. ed. *Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro*. Ilhéus, CEPLAC, p.246-271.
- MURPHY, J. e RILEY, J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27:31-36.
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J., NUNES, F.N. (2007) Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.471-550.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. e SANTANA, C.J.L. (1988) Exigências nutricionais e uso de fertilizantes em sistemas de produção de cacau. Ilhéus, CEPEC/CEPLAC.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. e SERÓDIO, M.H. (1990) Reciclagem de nutrientes em agrossistemas de cacau. *Agrotropica*, 2: 68-74.

- SILVA, I.R e MENDONÇA, E.S. (2007) Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374.
- SZOTT, L.T. e MELENDEZ, G. (2001) Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multistrata agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 53:125-1132.
- TER BRAAK, C.J.F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67: 1167-1179.
- VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol.Biochem.*, 19: 703-707.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. e LIMA, J.C.A. (1991) Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro, IBGE, 124p.
- WICK, B.; TIESSEN, H. e MENEZES, R. (1998) Land use changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. *Plant and Soil*, 222:59-70.
- WONG, M.T.F.; HAIRIAH, K. e ALEGRE, J. (2004) Managing soil acidity and aluminium toxicity in tree-based agroecosystems. In: NOORDWISK, M. van. CADISCH, G. e ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CAB International, p.143-156.
- ZAIA, F.C. (2005) Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. 89p. Tese (Dissertação em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.

ANEXO

QUADRO 1. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo do tipo latossolo (0-5 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	- 0,65*	0,57*	0,23	- 0,61*	0,64*	- 0,52*
Pol		1,00	- 0,91*	- 0,57*	0,76*	- 0,98*	0,96*
Pt			1,00	0,83*	- 0,90*	0,97*	- 0,98*
P				1,00	- 0,90*	0,71*	- 0,74*
COT					1,00	- 0,87*	0,84*
pH						1,00	- 0,98*
Argila							1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

QUADRO 2. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo do tipo latossolo (5-15 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	- 0,65*	0,74*	0,25	- 0,43	0,64*	- 0,60*
Pol		1,00	- 0,98*	- 0,30	0,90*	- 0,99*	0,99*
Pt			1,00	0,21	- 0,84*	0,98*	- 0,97*
P				1,00	- 0,67*	0,38	- 0,38
COT					1,00	- 0,93*	0,93*
pH						1,00	- 0,99*
Argila							1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

QUADRO 3. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo do tipo latossolo (15-30 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	- 0,67*	0,61*	- 0,15	- 0,33	0,71*	0,17
Pol		1,00	- 0,97*	0,26	0,69*	- 0,99*	0,59*
Pt			1,00	- 0,46	- 0,53*	0,97*	- 0,59*
P				1,00	- 0,48	- 0,30	0,24
COT					1,00	- 0,65*	0,66*
pH						1,00	- 0,55*
Argila							1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.

QUADRO 4. Coeficiente de correlação linear entre fósforo orgânico total (Pot) e fósforo orgânico lábil (Pol) com algumas características químicas e físicas de amostras de solo do tipo latossolo (30-50 cm) sob os agrossistemas de cacau

Variáveis	Pot	Pol	Pt	P	COT	pH	Argila
Pot	1,00	- 0,66*	0,69*	- 0,28	- 0,44	0,66*	- 0,27
Pol		1,00	- 0,91*	0,37	0,76*	- 0,98*	0,83*
Pt			1,00	- 0,71*	- 0,42	0,81*	- 0,56*
P				1,00	- 0,30	- 0,19	- 0,55*
COT					1,00	- 0,86*	0,91*
pH						1,00	- 0,88*
Argila							1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Variáveis: Pot = fósforo orgânico total; Pol = fósforo orgânico lábil; Pt = fósforo total; P = fósforo extraído por Mehlich -1; COT = carbono orgânico total; pH = pH em água.