



THIAGO HENRIQUE PEREIRA REIS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA EM DOSES
ELEVADAS PARA CAFEIROS: IMPACTOS NA
DISPONIBILIDADE, FRAÇÕES DE FÓSFORO E
NA PRODUTIVIDADE**

**LAVRAS – MG
2012**

THIAGO HENRIQUE PEREIRA REIS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA EM DOSES ELEVADAS PARA
CAFFEEIROS: IMPACTOS NA DISPONIBILIDADE, FRAÇÕES DE
FÓSFORO E NA PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

Orientador

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

Co-orientador

Lavras - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Reis, Thiago Henrique Pereira

Adubação fosfatada em doses elevadas para cafeeiros: impactos
na disponibilidade, frações de fósforo e na produtividade/

Thiago Henrique Pereira Reis. – Lavras: UFLA, 2012.

170 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Fertilidade do solo. 3. Fracionamento de
fósforo. 4. Fósforo no solo. 5. Adsorção-dessorção. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.85

THIAGO HENRIQUE PEREIRA REIS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA EM DOSES ELEVADAS PARA
CAFFEEIROS: IMPACTOS NA DISPONIBILIDADE, FRAÇÕES DE
FÓSFORO E NA PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012.

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães	EPAMIG
Dr. Álvaro Vilela de Resende	EMBRAPA
Dr. Antônio Fernando Guerra	EMBRAPA
Dr. Francisco Dias Nogueira	EPAMIG

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto
Orientador

LAVRAS - MG

2012

A todos os segmentos do agronegócio relacionados com a fertilidade do solo e com a cafeicultura a quem este trabalho de pesquisa possa ser útil.

OFEREÇO

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e à Rosana.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, força maior que me concedeu saúde e capacidade para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT-Café, pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pela amizade, orientação, convívio, ensinamentos e pela confiança depositada em minha pessoa para a realização deste trabalho e demais atividades durante o período do curso de doutorado.

Ao pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pelo acolhimento, amizade, orientação, convívio e ensinamentos e também pela confiança depositada em minha pessoa para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Nilton Curi, pela atenção, auxílio e sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados, Dr. Antônio Fernando Guerra, pela contribuição no desenvolvimento do trabalho e cessão dos dados de produtividade do experimento. Também agradeço ao Sr. Amilton, chefe da equipe técnica de campo, que muito contribuiu para a otimização de nosso trabalho de amostragem de materiais diversos.

Aos pesquisadores Dr. Álvaro Vilela de Resende e Dr. Francisco Dias Nogueira pelas contribuições para a qualidade do trabalho e disponibilidade para participação da banca.

Aos senhores proprietários e funcionários das Fazendas Boa Vista, Santo Antônio e Cafeeira Selo Verde, que acreditaram em nosso trabalho e permitiram que fizéssemos um acompanhamento de lavouras em áreas de suas propriedades.

Ao colega de profissão, Engenheiro Agrônomo Guy Carvalho Ribeiro Filho, o qual acompanhou nosso trabalho desde o início e sempre foi prestativo com nossas necessidades para o bom desenvolvimento das atividades do trabalho.

A todos os colegas de nossa equipe de trabalho que puderam auxiliar para o desenvolvimento deste material.

Ao aluno de iniciação científica César, pela imprescindível ajuda nas análises laboratoriais e tabulação dos resultados.

A todos os servidores e técnicos do DCS, principalmente os Srs. José Roberto Fernandes e Roberto Lelis Mesquita, sempre prestativos e pela ajuda e convivência nas atividades desenvolvidas durante o curso de doutorado.

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio, ajuda e troca de experiências por muitos momentos durante o período de realização do curso.

À Rosana, pelo companheirismo, amor, paciência e por me ajudar na formatação/normatização deste trabalho.

Ao amigo e companheiro de república André, pela convivência durante esta etapa de minha vida.

Muito Obrigado.

RESUMO GERAL

O fósforo é um nutriente imprescindível ao desenvolvimento das plantas, mas possui uma complexa dinâmica nos solos, principalmente naqueles oxidicos dos Cerrados brasileiros. No intuito de compreender como a disponibilidade de fósforo é influenciada por elevadas adubações fosfatadas anuais no solo e como isso pode implicar no manejo de adubações futuras para o cafeeiro, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: (a) avaliar a produtividade, a dinâmica das frações fosfatadas nas folhas de cafeeiros e os teores de fósforo na matéria seca das folhas das plantas em resposta a adubação fosfatada anual no solo; (b) avaliar a dinâmica e a disponibilidade das frações de fósforo em solos cultivados com cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual; (c) avaliar a dinâmica das formas inorgânicas e a sorção de P no solo associando-as a atributos de solos cultivados com cafeeiros submetidos à alta adubação fosfatada anual. Um experimento foi instalado, em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), localizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, com a cultivar Rubi MG-1192 sob aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando como fonte o superfosfato triplo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Também foram acompanhadas lavouras em áreas de propriedades com histórico de aplicação anual de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅; num Argissolo Vermelho típico textura argilosa e num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais sob sequeiro e num Latossolo Vermelho Amarelo textura média no Oeste Baiano sob irrigação. Nos anos de 2009 e 2010 foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm nas quais foram determinados atributos físico-químicos do solo e formas de fósforo por diferentes metodologias. Neste mesmo período também foram coletadas amostras de folha antes da fase de enchimento de grãos e após a colheita através das quais foram determinados os teores de fósforo na matéria seca e o fracionamento das formas de fósforo na matéria fresca das folhas. A colheita das parcelas foi realizada nos anos de 2008 a 2010. As metodologias de fracionamento de P tanto no solo quanto na folha mostraram ser ferramentas importantes para a compreensão da dinâmica do nutriente no solo e no metabolismo dos cafeeiros. Cafeeiros sob efeito de altas adubações fosfatadas anuais apresentaram maiores produtividades com comportamento linear até 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em média, para cada 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados anualmente obteve-se um retorno bruto de 4,25 sc ha⁻¹ ano⁻¹ de café beneficiado. Os teores de P na matéria seca das folhas estabilizaram-se próximo a 2,2 g kg⁻¹, na fase anterior ao enchimento de grãos dos cafeeiros. Os teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) aumentaram de maneira geral com o aumento das doses de

P aplicadas anualmente ao solo. Neste contexto, as plantas sob o efeito de maiores adubações fosfatadas anuais apresentaram maior reserva de P refletida nas maiores relações P_i/P_t s e P_i/P_o em períodos de estresse hídrico. As frações de P lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e total exibiram maiores teores em função do maior aporte do nutriente aplicado anualmente ao solo. A fração P moderadamente lábil foi mais expressiva que as demais nos solos com maior teor de argila. A maior parte do nutriente aplicado ao solo permanece como uma reserva com alguma labilidade, ainda disponível para os cultivos sucessivos. Com a aplicação de maiores doses de P houve mobilidade do P inorgânico, pois o mesmo aumentou de maneira expressiva na profundidade de 10-20 cm. Todas as formas de P inorgânico no solo aumentaram devido à adubação fosfatada anual, com predomínio das formas de P-Al, as quais controlam a disponibilidade do nutriente no solo. A magnitude das frações ocorreu na seguinte ordem $P\text{-Al} > P\text{-Fe} > P\text{-Ca}$. A adubação fosfatada anual em maiores doses afetou significativamente a sorção de P no solo, ocasionando diminuição da capacidade máxima de adsorção de fósforo e aumento da dessorção de P com o tempo.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Formas de Fósforo. *Coffea arabica*.

GENERAL ABSTRACT

Phosphorus is essential for plant development but has a complex soil dynamics, especially in oxidic tropical Brazilian soils of Cerrados. In order to understand how phosphorus availability is influenced by soil annual phosphate fertilizing and how this practice may lead to the future management of fertilizers for coffee, this work was performed with the following objectives: (a) evaluate coffee yield, coffee leaf phosphorus dynamics and leaf phosphorus content in soils cultivated with coffee under annual phosphate fertilizing; (b) evaluate the dynamics and availability of phosphorus fractions in soils cultivated with coffee under annual phosphate fertilizer application; (c) evaluate inorganic P forms dynamics and P sorption in soil associating them with attributes of soils under coffee crop submitted annually to high phosphate fertilization. A experiment was initiated in January 2001, in a very clayey typical dystrophic Red Latosol (LVd) (Oxisol), located at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, with the cultivar Rubi MG-1192 under annual different phosphorus doses application (0, 50, 100; 200 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), using triple superphosphate. The experimental design was in randomized blocks with three replications. They were also accompanied areas in properties with approximately 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ annual historic application; in a typic clayey Red Argisol (Ultisol) and in a sandy clay loam Yellow Red Argisol (Ultisol), both located in Southern of Minas Gerais with no irrigation and in a sandy clay loam Yellow Red Latosol (Oxisol) under irrigation in Western of Bahia. In 2009 and 2010 years, soil samples were collected at depths from 0 to 10 and 10 to 20 cm in which they were determined soil physical and chemical attributes and phosphorus forms by different methods. In the same period it were sampled leaves before the grain filling stage and after harvest through which it were determined phosphorus contents in dry matter and fractionation of phosphorus forms in fresh leaves. The harvest of the plots was carried out during 2008 to 2010. The methodologies of P fractionation, in the soil and at leaves, shown to be important tools for understanding the dynamics of the nutrient in the soil and in coffee plants metabolism. Coffee under influence of major annual phosphate fertilizing showed higher yield with linear behavior by the application of 400 kg ha⁻¹ P₂O₅. On average, for each 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ annually applied it was gotten a gross return of 4.25 bag ha⁻¹ yr⁻¹ of coffee. The coffee leaf P contents stabilized close to 2.2 g kg⁻¹, before the stage of grain filling. Acid soluble inorganic phosphorus (Pi) contents generally raised with increasing annually applied soil P doses. In this context, plants under the influence of higher annual phosphate fertilizing had greater P reserves in the dry season guaranteed by the higher Pi / P_{total} and Pi / P_{labile} relationships in water stress periods. The P labile, moderately labile, low-labile and total fractions exhibited higher contents due to higher annual soil nutrient application. The moderately

labile P fraction was greater than others in soils with higher clay content. Most of the nutrient applied to the soil remains as a reservoir with some lability, still available for successive cropping. With large P doses application there was inorganic P mobility, as it increased more significantly at 10-20 cm depth. All forms of soil inorganic P increased due to annual phosphate fertilization with the predominance of P-Al forms, which controlled soil P release. The fractions magnitude occurred in the following order P-Al > P-Fe > P-Ca. The annual P fertilization significantly affected soil P sorption, causing maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) decrease and P desorption increase with time.

Keywords: Soil fertility. Phosphorus forms. *Coffea arabica*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2 PRODUTIVIDADE, FRAÇÕES FOSFATADAS E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO PELO CAFEIEIRO	24
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 3 DINÂMICA E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO PARA O CAFEIEIRO	59
1 INTRODUÇÃO	61
2 MATERIAL E MÉTODOS	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4 CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	91
CAPÍTULO 4 DINÂMICA DAS FORMAS INORGÂNICAS DE FÓSFORO EM SOLOS CULTIVADOS COM CAFEIEIROS	96
1 INTRODUÇÃO	98
2 MATERIAL E MÉTODOS	100
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
4 CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS	138
CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
APÊNDICES	145

CAPÍTULO 1 Introdução Geral

1.1 A cultura do cafeeiro

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas difundidas no Brasil, com grande importância socioeconômica para o país, considerado o maior produtor do mundo e o segundo maior mercado consumidor do produto. Atualmente, possui uma área de aproximadamente 2,1 milhões de hectares produtivos, responsáveis por 43,5 milhões de sacas beneficiadas colhidas em 2011, ano em que participou com 8,6% das exportações do agronegócio brasileiro (CONAB, 2012). Entretanto, a cultura ainda possui uma baixa média nacional de produtividade, de 21,1 sacas de café beneficiado ha⁻¹ (safra de 2011), sendo o manejo inadequado da fertilidade do solo um dos principais motivos desse rendimento ruim (GUIMARÃES; REIS, 2010).

1.2 Fósforo e suas formas no metabolismo das plantas

O fósforo é imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). Ele é constituinte de importantes compostos das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. O nutriente também é componente de nucleotídeos fundamentais para a planta armazenar e transferir energia em seus processos metabólicos (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEINGER, 2009).

As espécies diferem quanto à capacidade de crescimento em função dos níveis de fósforo disponível no solo (BHADORIA et al., 2004) e possuem vários mecanismos para aumentar a eficiência de absorção e utilização do P (ROUACHED; ARPAT; POIRIER, 2010). A distinção das culturas em

responder às adubações fosfatadas tem sido esclarecida através de habilidades biológicas inerentes às plantas, das propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo, cujos conhecimentos já aprofundados permitem explicar melhor os resultados de pesquisa sobre a dinâmica das frações de P no solo e nas plantas. Estudos da dinâmica das frações de P nos tecidos das plantas avaliando os teores de P inorgânico (Pi) e de P orgânico (Po) em função do desenvolvimento das espécies (SANTOS et al., 2008) correlacionam o tamanho do estoque de P não-metabólico (Pi) com a habilidade da planta em utilizar essa reserva auxiliando na adaptabilidade e sobrevivência das mesmas sob condições de estresse nutricional (AKHATR; OKI; ADACHI, 2008). Uma alta eficiência de uso do nutriente é atribuída à capacidade da planta na reciclagem do Pi atendendo às demandas do compartimento metabolizável em momentos de estresse ou quando há maior demanda por P (WANG; SHEN; LIAO, 2010).

1.3 Recomendações de adubação fosfatada para a cultura do cafeeiro e perspectivas

A grande maioria das culturas perenes apresenta baixa resposta ao P na fase de produção. O mecanismo de acúmulo de formas de reserva de P dessas plantas deve ter evoluído em razão dos maiores e mais prolongados déficits hídricos a que elas estão sujeitas ao longo dos anos, se comparadas às plantas de ciclo anual (NOVAIS; MELLO, 2007). Neste contexto, por muitos anos o cafeeiro foi considerado como uma planta que não respondia à aplicação de altas doses de P no solo (BATAGLIA, 2004) uma vez que este é um dos macronutrientes menos exportado pelos grãos de café. Desta maneira, a planta não precisaria de grande quantidade do nutriente para completar seu ciclo reprodutivo. Além disso, no passado o cafeeiro era cultivado apenas em solos de média a alta fertilidade e a maioria das fazendas experimentais nas diferentes regiões do mundo instalaram-se em localidades sob estas condições.

Baseando-se nessas premissas foram elaboradas recomendações de adubação fosfatada de manutenção da cultura as quais parecem não mais satisfazer o modelo atual de cultivo dos cafeeiros de altas médias de produtividade. As principais recomendações vigentes sugerem aplicar no máximo 80 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ quando houver expectativa de mais de 60 sc ha⁻¹ e também baixos teores de P disponível no solo (RAIJ et al., 1997; CFSEMG, 1999). Contudo, existem alguns trabalhos demonstrando que a cultura pode responder à maior adubação fosfatada em fase de produção, principalmente em solos de Cerrado, naturalmente de baixa fertilidade, e em anos de alta produtividade, testadas doses máximas de 90, 150 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (GUIMARÃES, 1986; GALLO et al., 1999; PREZZOTTI; ROCHA, 2004). Neste contexto, recentemente Guerra et al. (2007) questionaram as atuais recomendações de adubação fosfatada para cafeeiros as quais deveriam permitir altas produtividades e adequado crescimento vegetativo para minimizar a bienalidade da cultura. Esses autores observaram incrementos lineares de produtividade até a dose máxima anual de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e propuseram altas adubações fosfatadas anuais para uma média de produtividade próxima de 70 sc ha⁻¹ em sistemas irrigados. A resposta linear dos cafeeiros a essas maiores doses de fosfato foi respaldada por Reis et al. (2011), em sistema irrigado no Cerrado até a dose máxima testada de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e por Dias (2012), sob sequeiro no Sul de Minas, até a dose máxima de 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅ testando duas fontes distintas.

1.4 Formas de fósforo no solo

O manejo da fertilidade do solo está estreitamente relacionado com a produtividade das plantas, desde que os demais fatores de produção estejam adequados às exigências das culturas. Em se tratando de solos de regiões tropicais, especialmente nos cerrados, onde a disponibilidade de fósforo é

naturalmente muito baixa, há a necessidade de maior atenção quanto a este nutriente em relação aos demais, para alcançar uma produção agrícola economicamente rentável (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004). Frequentemente, mais de 90% do P aplicado no solo, em forma concentrada e solúvel em água, é adsorvido na primeira hora de contato com o mesmo, formando, primeiramente, o P-lábil e, posteriormente, com o passar do tempo, o P não-lábil (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). O P é conceitualmente dividido em P-lábil e P-não lábil, sendo a fração mais disponível para as plantas considerada lábil, enquanto a fração que está fortemente adsorvida ou precipitada em compostos insolúveis é considerada não lábil (RHEINHEIMER et al., 2008). Nos Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A complexa dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). Deste modo, as reações do P devem ser observadas no âmbito do sistema solo-planta, uma vez que a planta absorve P da solução do solo e a fase sólida passa a ser fonte potencial desse nutriente (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Dentre esses fatores, há aqueles ligados diretamente ao solo, como o pH, que, de forma geral, afeta a solubilidade dos minerais, as formas dominantes dos íons em solução, as reações de adsorção-dessorção e a atividade microbiana, que é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos (ANGHINONI, 2004; SATO; COMERFORD, 2005). Por outro lado, os fatores físicos apresentam importante papel na disponibilidade do P, pois, de modo geral, solos que apresentam maiores teores de argila mostram maior potencial de fixação de P principalmente quando essa argila é rica em óxidos de ferro e de alumínio

(NOVAIS; SMYTH, 1999; MOTTA et al., 2002). Outro importante componente do solo, que afeta a disponibilidade de P para as plantas, é a matéria orgânica, sendo o seu efeito, principalmente, devido ao bloqueio de sítios de adsorção específica, por recobrimento dos óxidos de Fe e de Al pela fração húmica do solo (DICK et al., 2009).

1.5 Fracionamento de fósforo no solo

A interpretação do fracionamento sequencial de P é baseada na compreensão das ações dos extratores individuais, sua sequência e sua relação com as propriedades do solo, permitindo, portanto, avaliar as diferentes formas de P neste ambiente de acordo com sua labilidade para as plantas (BLAKE et al., 2003). Existem vários métodos para caracterizar as formas de P no solo sendo um dos mais conhecidos, o de Chang e Jackson (1957), o qual permite a caracterização do nutriente mediante extrações sucessivas das diversas formas inorgânicas de P, como fósforo facilmente solúvel (P-H₂O), fósforo ligado a alumínio (P-Al), fósforo ligado a ferro (P-Fe) e fósforo ligado a cálcio (P-Ca). Este método, por sua simplicidade, possibilita revelar a causa da deficiência deste nutriente e prever a resposta das culturas à adubação fosfatada e tem sido muito utilizado nos estudos sobre o comportamento do P nos solos. Entretanto, a distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a mineralogia do solo (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001) e, além dos fosfatos inorgânicos, o solo contém fosfatos orgânicos, que podem representar parte considerável do P total (RAIJ, 2004).

Outro método utilizado para a caracterização das diferentes frações de P no solo é o de Hedley, Steward e Chauhan (1982), o qual se baseia na extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis, por meio da qual formas inorgânicas e orgânicas são separadas conforme sua disponibilidade às plantas. Sua vantagem é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de P a curto,

médio e longo prazos, por meio da avaliação dos diferentes compartimentos do solo (SILVA et al., 2003). Para os solos tropicais, as maiores proporções de P têm sido encontradas nas extrações com NaOH, provavelmente, devido à forte relação desta fração com óxidos de ferro e de alumínio, caulinita e matéria orgânica (ARAÚJO; SALCEDO, 1997; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003). Este compartimento é considerado como pouco lábil para a planta (HEDLEY; STEWARD; CHAUHAN, 1982) embora, alguns autores observaram que essas formas de P são dinâmicas e participam no aporte do nutriente às culturas (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000). O fósforo total (Pt) dos solos é composto de diferentes frações orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) de P que apresentam diferentes graus de disponibilidade para as plantas (HEDLEY; STEWARD; CHAUHAN, 1982; BOWMAN, 1989) e também merece destaque em sua determinação pois permite avaliar se o nutriente pode ainda ser considerado ou não biodisponível para as culturas.

Neste contexto, as metodologias de fracionamento de P (CHANG; JACKSON, 1957; HEDLEY; STEWARD; CHAUHAN, 1982; BOWMAN, 1989) têm sido importantes na predição da quantidade de P no solo, bem como o seu comportamento, sem mencionar o potencial que a técnica apresenta, se associada aos extratores de rotina para melhor compreensão da dinâmica e disponibilidade deste nutriente para as plantas.

Buscando compreender como a dinâmica e a disponibilidade de fósforo é influenciada pela adição anual de maiores doses de fosfato no solo e como isso pode implicar no manejo de adubações fosfatadas futuras para o cafeeiro, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: (a) avaliar a produtividade, a dinâmica das frações fosfatadas nas folhas de cafeeiros e os teores de fósforo na matéria seca das folhas das plantas em resposta a adubação fosfatada anual no solo; (b) avaliar a dinâmica e a disponibilidade das frações de fósforo em solos

cultivados com cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual; (c) avaliar a dinâmica das formas inorgânicas e a sorção de P no solo associando-as a atributos de solos cultivados com cafeeiros submetidos à alta adubação fosfatada anual.

REFERÊNCIAS

AKHATR, M. S.; OKI, Y.; ADACHI, T.. Intraspecific Variations of Phosphorus Absorption and Remobilization, P Forms, and Their Internal Buffering in Brassica Cultivars Exposed to a P-Stressed Environment. **Journal of Integrative Plant Biology**, -, v. 50, n. 6, p.703-716, 2008.

ANGHINONI, I. Que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 537-558.

ARAÚJO, M. S.; SALCEDO, I. H.. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p.643-650, out./dez. 1997.

BHADORIA, P. S. et al. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. **Plant And Soil**, Dordrecht, v. 262, p.327-336, 2004.

BATAGLIA, O. C.. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 307-328.

BLAKE, L. et al. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. **Plant And Soil**, Dordrecht, v. 254, n. 2, p.245-261, July 2003.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure whit concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n.2, p. 362-366, Mar./Apr.1989.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, n. 1, p. 133-144, Aug. 1957.
CFSEMG. Comissão de Fertilidade de Solo do Estado De Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 289-302.

CONTE, E.; ANGHINONI, I; RHEINHEIMER, D. S.. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 5, p. 893-900, Set./Out. 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=132>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

DIAS, K. G. L.. **Fontes e doses de fósforo para cafeeiros em produção: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. 2012. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

DICK, D. P. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, J. W. V.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: Parte II - Aplicações**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-68.

GALLO, P. B. et al. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **ITEM**, Brasília, n.73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: UR Eпамig SM, 2010. p. 343-414.

GUIMARÃES, P. T. G.. **Respostas do cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuai) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais.**1986. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

HEDLEY, M. J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S.. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** New York: Academic, 1995. 887p.

MOTTA, P. E. F. et al. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, Abr./Jun. 2002.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V.. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. p. 133-204..

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A.C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.239-251, Mai./Ago. 2004.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 107-116.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p (Boletim Técnico, 100).

REIS, T.H.P. et al. Soil Phosphorus Dynamics and Availability and Irrigated Coffee Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 503-512, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, Jan. 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n. 2, p. 345-354, Abr./Jun. 2000.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. et al. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, Mar./Abr. 2008.

ROUACHED, H.; ARPAT, A.B.; POIRIER, Y. Regulation of Phosphate Starvation Responses in Plants: Signaling Players and Cross-Talks. **Molecular Plant**, v. 3, n. 2, p. 288-299, 2010.

SANTOS, J. Z. L. et al. Crescimento, Acúmulo de Fósforo e Frações Fosfatadas em Mudanças de Sete Espécies Arbóreas Nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.799-807, 2008.

SATO, S.; COMERFORD, N.B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.685-694, Set./Out. 2005.

SILVA, M. A. et al. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, Out. 2003.

SOUSA, D. M. G. de.; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p.147-168.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, p. 302-306, 2010.

CAPÍTULO 2 Produtividade, frações fosfatadas e utilização de fósforo pelo cafeeiro

RESUMO

As espécies diferem quanto à capacidade de crescimento em função dos níveis de P no solo e possuem vários mecanismos bioquímicos e fisiológicos para aumentar a eficiência de absorção e utilização de fósforo. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade, a dinâmica das frações fosfatadas nas folhas de cafeeiros e os teores de fósforo na matéria seca das folhas das plantas em resposta a adubação fosfatada anual no solo. O experimento foi instalado, em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), localizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, com a cultivar Rubi MG-1192 sob aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando como fonte o superfosfato triplo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Também foram acompanhadas áreas comerciais em propriedades com histórico de aplicação anual de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅; num Argissolo Vermelho típico textura argilosa e num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais sob sequeiro e num Latossolo Vermelho Amarelo textura média no Oeste da Bahia sob irrigação. Nos anos de 2009 e 2010 foram coletadas amostras de folha antes da fase de enchimento de grãos e também após a colheita. Também foi realizada a colheita das parcelas nos anos de 2008 a 2010. Foram determinados os teores de fósforo na matéria seca e o fracionamento das formas de fósforo na matéria fresca das folhas. Cafeeiros sob efeito de altas adubações fosfatadas anuais apresentaram maiores produtividades com comportamento linear até 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em média, para cada 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados anualmente obteve-se um retorno bruto de 4,25 sc ha⁻¹ ano⁻¹ de café beneficiado. Os teores de P na matéria seca das folhas estabilizaram-se próximo a 2,2 g kg⁻¹, na fase anterior ao enchimento de grãos dos cafeeiros. Os teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) aumentaram de maneira geral com o aumento das doses de P aplicadas anualmente ao solo. Neste contexto, as plantas sob o efeito de maiores adubações fosfatadas anuais apresentaram maior reserva de P refletida nas maiores relações Pi/Pts e Pi/Po em períodos de estresse hídrico. O fracionamento de P na folha mostrou ser uma ferramenta importante para a avaliação do estado nutricional e estudo da dinâmica do nutriente no metabolismo das plantas de cafeeiros complementar à análise foliar.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., fósforo, formas de fósforo na folha.

CHAPTER 2 Coffee yield, phosphate fractions and phosphorus using by coffee plants

ABSTRACT

Plants differ in growth capacity according to the soil P contents and have various biochemical and physiological mechanisms to increase their phosphorus absorption and utilization efficiency. Thus, the objective of this paper was to evaluate coffee yield, coffee leaf phosphorus dynamics and leaf phosphorus content in soils cultivated with coffee under annual phosphate fertilizing. The experiment was initiated in January 2001, in a very clayey typical dystrophic Red Latosol (LVd) (Oxisol), located at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, with the cultivar Rubi MG-1192 under annual different phosphorus doses application (0, 50, 100; 200 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), using triple superphosphate. The experimental design was in randomized blocks with three replications. They were also accompanied areas in properties with approximately 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ annual historic application; in a typical clayey Red Argisol (Ultisol) and in a sandy clay loam Yellow Red Argisol (Ultisol), both located in southern of Minas Gerais with no irrigation and in a sandy clay loam Yellow Red Latosol (Oxisol) under irrigation in western of Bahia. In 2009 and 2010 years, leaf samples were collected after harvest and also before the stage of grain filling. Also, it was performed the plots harvest in the years 2008 to 2010. Phosphorus content in dry matter and leaf phosphorus forms in fresh leaves were determined. The contents of three phosphorus (P) forms - inorganic (Pi), organic (Po), and acid-soluble total (Pts) were determined on fresh leaves. Coffee under influence of major annual phosphate fertilizing showed higher yield with linear behavior by the application of 400 kg ha⁻¹ P₂O₅. On average, for each 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ annually applied it was gotten a gross return of 4.25 bag ha⁻¹ yr⁻¹ of coffee. The coffee leaf P contents stabilized close to 2.2 g kg⁻¹, before the stage of grain filling. Acid soluble inorganic phosphorus (Pi) contents generally raised with increasing annually applied soil P doses. In this context, plants under the influence of higher annual phosphate fertilizing had greater P reserves in the dry season guaranteed by the higher Pi / Pts and Pi / Po relationships in water stress periods. Leaf P fractionation showed to be an important tool to nutritional status evaluation and P dynamics study in coffee metabolism complementary to leaf analysis.

Keywords: *Coffea arabica* L., phosphorus, leaf phosphorus forms.

1 INTRODUÇÃO

As espécies diferem quanto à capacidade de crescimento em função dos níveis de P no solo (BHADORIA et al., 2004) e possuem vários mecanismos bioquímicos e fisiológicos para aumentar a eficiência de absorção e utilização de fósforo (RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005; ROUACHED; ARPAT; POIRIER, 2010). As plantas acumulam P principalmente em duas formas, uma inativa ou P inorgânico (Pi), denominada de fração não-metabólica quando ocorre armazenamento do nutriente no vacúolo e como P orgânico (Po), fração metabólica através da qual a planta está utilizando o nutriente presente no citoplasma de suas células (NOVAIS; SMITH, 1999). Uma alta eficiência de uso do nutriente é atribuída à capacidade da planta na reciclagem do Pi atendendo às demandas do compartimento metabolizável em momentos de estresse ou quando há maior demanda por P (WANG; SHEN; LIAO, 2010).

A distinção das plantas em responder às adubações fosfatadas têm sido esclarecida pelos estudos da dinâmica das frações de P na planta avaliando os teores de P inorgânico (Pi) e de P orgânico (Po) em função do crescimento e uso do nutriente pelas espécies (FERNANDES et al., 2000; GOMES et al., 2003; SANTOS et al., 2008). Acredita-se que o tamanho do estoque de P não-metabólico e a habilidade da planta em utilizar essa reserva auxiliam na adaptabilidade e sobrevivência das mesmas sob condições de estresse nutricional (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 2005; AKHATR; OKI; ADACHI, 2008).

A baixa disponibilidade de P interfere na assimilação de carbono pelas plantas podendo influenciar o processo de fixação fotossintética e dessa maneira prejudicar o desenvolvimento das culturas (GOMES et al., 2003; LAVIOLA et al., 2007a; SILVA et al., 2010). O cafeeiro era considerado pouco responsivo à adubação fosfatada na fase de produção, uma vez que o P é um dos macronutrientes menos exportados pela cultura (MALAVOLTA, 1986;

GUIMARÃES; REIS, 2010). Entretanto, resultados recentes de pesquisa têm mostrado que esta cultura responde à aplicação do nutriente em sistemas sob altas produtividades (REIS et al., 2011), possivelmente devido a uma maior demanda por energia para seus processos metabólicos.

Sendo assim, é importante verificar como os cafeeiros estão utilizando o nutriente após sua absorção, através do fracionamento das formas de fósforo no interior das plantas, possibilitando dessa maneira associar qual das frações fosfatadas de P estaria estreitamente associada com as maiores produtividades da cultura. Dentro deste contexto, pressupõe-se que o cafeeiro em produção precisa de maior suprimento de P, uma vez que a planta demanda energia tanto para suprir o dreno dos frutos quanto para desenvolver sua parte vegetativa (LAVIOLA et al., 2007a), a qual será responsável pela produção do ano seguinte.

A maioria dos estudos em dinâmica das frações fosfatadas na planta foi realizada em condições controladas comparando-se diferentes cultivares ou mesmo diferentes tempos de estresse nutricional de P para as plantas. Dessa maneira, trabalhos que possam representar o estresse nutricional em condições de campo permitem diagnosticar o comportamento das plantas em função de todas as adversidades encontradas sob condições de cultivo comercial. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade, a dinâmica das frações fosfatadas nas folhas de cafeeiros e os teores de P na matéria seca das folhas das plantas em resposta a adubação fosfatada anual no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento foi instalado em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura muito argilosa, localizado no município de Planaltina, DF, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa/CPAC. A área experimental está localizada nas coordenadas 15°35'42" Latitude Sul e 47°43'51" Longitude Oeste, à uma altitude de 1.009m. Segundo a classificação de Köppen, o clima do município é tropical Aw chuvoso, de inverno seco, com temperatura média anual de 23°C. O período seco varia de 5 a 6 meses (abril a setembro) e a precipitação média anual é de 1.400mm, concentrada no período de outubro a março.

Foi utilizada a cultivar Rubi MG-1192, no espaçamento de 2,8 x 0,5 m, seguindo-se as recomendações de adubação de plantio da Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999). A partir da primeira florada, em 2002, iniciou-se a aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na projeção da copa dos cafeeiros, utilizando como fonte o superfosfato triplo, aplicando-se 2/3 da dose em setembro, antes do retorno das irrigações após período de estresse hídrico, e 1/3 entre o final de dezembro e início de janeiro. Este parcelamento não é comumente utilizado na cafeicultura, entretanto, são os períodos de maior demanda do nutriente pela planta (MALAVOLTA, 2006). Foi mantida a mesma adubação de produção para os demais nutrientes aplicando-se anualmente 500 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 500 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e a cada dois anos 100 kg ha⁻¹ de FTE BR10 (Zn=7%; B=2,5%; Cu=1%; Fe=4%; Mn=4%; Mo=0,1%; Co=0,1%) para suprimento de micronutrientes. O N e o K foram parcelados em 4 aplicações de setembro a

fevereiro e o tratamento fitossanitário, quando necessário, foi igual para todas as parcelas.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em que as parcelas foram constituídas de três linhas de plantio com 10 plantas cada, sendo a linha central e as 8 plantas centrais consideradas úteis e ambas as linhas laterais bordaduras. A área foi irrigada por pivô central, num regime de estresse hídrico moderado conforme GUERRA et al. (2006) para sincronização do desenvolvimento de gemas reprodutivas e uniformização da florada.

Também foram acompanhadas três lavouras em áreas comerciais com histórico de aplicação de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por três anos consecutivos. Duas delas de sequeiro, sendo uma sob um Argissolo Vermelho típico (PVd) textura argilosa, e uma sob um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais, município de Cabo Verde, nas propriedades Santo Antônio e Boa Vista, respectivamente. A outra área, sob irrigação por pivô, num Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura média localizada no Oeste da Bahia, município de Luis Eduardo Magalhães, na propriedade Cafeeira Selo Verde. Nestas localidades foram amostradas lavouras adjacentes com histórico de manejo convencional da adubação fosfatada. Foi realizada uma delimitação de área para amostragem dentro de todas as lavouras fazendo-se coletas de solo e material vegetal sempre com quatro repetições.

No Sul de Minas, na lavoura em área sobre o PVd foram amostrados dois talhões sob maior adubação fosfatada, Ipê e Poste, sendo que este último não recebeu P de 2008 para 2009. Também foi amostrada uma lavoura em área adjacente sob adubação convencional denominada testemunha. Já na lavoura da área no PVA foram amostrados dois talhões, um sob maior adubação fosfatada e outro sob adubação convencional, denominados Boa Vista e Testemunha, respectivamente.

No Oeste da Bahia, lavoura em área num LVA, foram amostrados inicialmente três talhões, sendo dois sob maior adubação fosfatada anual e um sob adubação convencional, denominados Selo Verde P3, Selo Verde P5 e Testemunha. Como a lavoura do talhão testemunha foi podada de 2009 para 2010, realizou-se coleta de amostras apenas em 2009.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Cabo Verde onde as áreas de sequeiro do Sul de Minas estão localizadas, apresenta clima tipo Cwb temperado chuvoso ou subtropical de altitude, com temperatura média anual de 18,2°C e precipitação média anual de 1.600 mm (ANTUNES, 1986). Já o município de Luis Eduardo Magalhães, local onde se encontra outra área de acompanhamento e estudo, no Oeste da Bahia, sob irrigação, apresenta clima tipo BSh quente e seco com chuvas de inverno, temperatura média anual de aproximadamente 26°C e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm; o período chuvoso da região é bem definido ocorrendo de outubro a março e período seco de abril a setembro (CASTRO et al., 2010).

Todas as lavouras das áreas acompanhadas sob maior adubação fosfatada anual apresentavam maiores médias de produtividade que aquelas adjacentes. Sendo assim, neste acompanhamento procurou-se ater ao estudo de fatores relacionados à nutrição de plantas os quais poderiam explicar essa maior produtividade e, portanto, não foi mensurada a produtividade dessas áreas.

Nos anos de 2009 e 2010 foram coletadas amostras compostas de 50 pares de folhas, do terço médio das plantas, no terceiro ou quarto par de folhas do ramo plagiotrópico, após a colheita do ensaio em julho e também antes da fase de enchimento de grãos em dezembro, em cada ano. No ensaio de Planaltina-DF avaliou-se a produção das parcelas nos anos de 2008 a 2011 por meio de derriça manual sobre “pano”.

Parte das folhas frescas coletadas foi pesada e imediatamente congelada em ácido perclórico 0,2 M (HClO_4) para realização de fracionamento de formas de fósforo na matéria fresca da planta (Figura 1) (MARTINEZ et al., 2005). Foram determinados os teores das formas de fósforo inorgânico solúvel em ácido (P_i), presentes no vacúolo das células como compartimento de reserva, e fósforo total solúvel em ácido (P_t). Por diferença entre as mesmas determinou-se o fósforo orgânico solúvel em ácido (P_o), forma de P metabolicamente ativa nas células da planta.

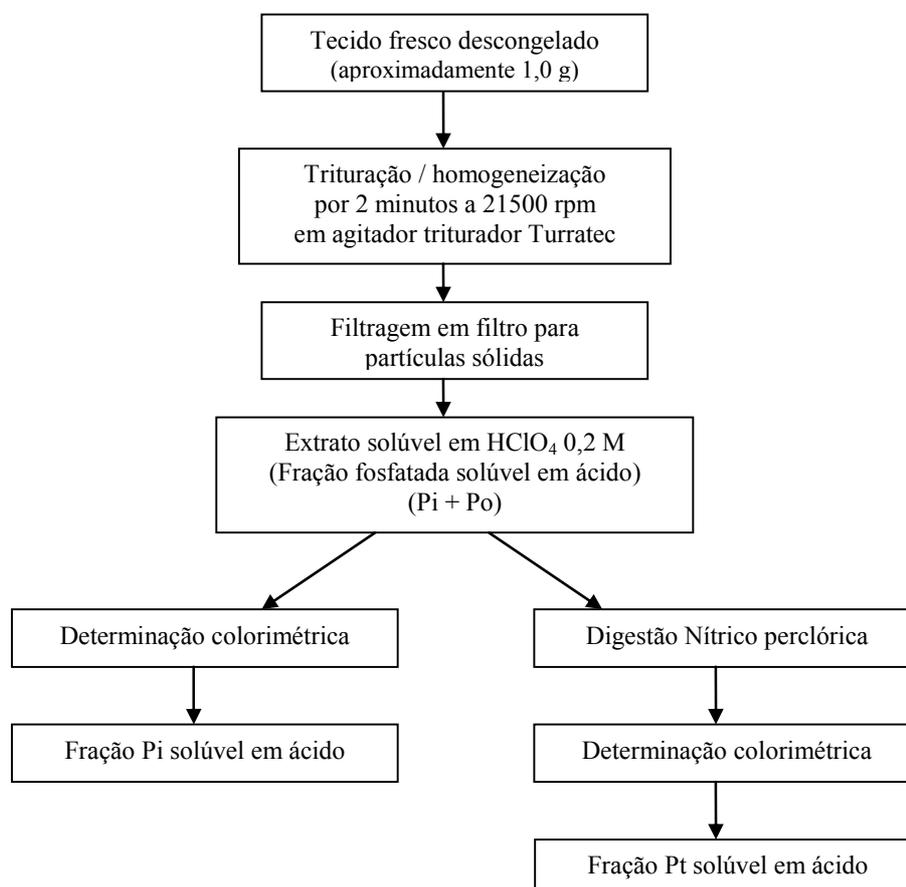


Figura 1 Esquema simplificado da análise química de fracionamento de fósforo em tecido vegetal segundo Martinez et al. (2005)

As demais folhas foram secas a 60°C, em estufa de ar forçado, até peso constante. Posteriormente, foram moídas e, por meio do extrato nítrico-perclórico, foi determinado o teor de P na matéria seca das plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os teores de P foram determinados por espectroscopia de absorção molecular (colorimetria) em todos os extratos (MURPHY; RILEY, 1962).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média (Skott-Knott, 5%), para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Também foram ajustadas equações de regressão para os teores de P na matéria seca das folhas e também para as diferentes frações de P na matéria fresca das plantas, como variáveis dependentes das doses de P₂O₅ aplicadas ao solo. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produtividade

As plantas de cafeeiros mostraram-se responsivas às doses de fósforo em todos os anos avaliados (Figura 2). Houve ajuste linear significativo nos anos de safra alta (2008 e 2010) e baixa (2009) bem como para a média geral após 8 anos de cultivo. Comportamento linear da produtividade de cafeeiros em função da adubação fosfatada no solo também foi relatado na literatura, principalmente em solos intemperizados, utilizando-se fontes solúveis do nutriente (GUIMARÃES, 1986; MELO et al., 2005; DIAS, 2012).

Na safra de 2008, ano de alta produtividade do ensaio, ocorreu uma diferença expressiva entre os tratamentos como pode ser observado pelo maior coeficiente angular da equação ajustada (Figura 2A). Tal observação não ocorreu em 2010, também ano de alta produtividade, quando o tratamento de maior destaque foi a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 2C). Em 2009, ano de safra baixa do ensaio, os tratamentos com maiores doses de P, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ainda apresentaram uma produtividade de 47,9 e 59,7 sc ha⁻¹, respectivamente (Figura 2B).

Os dados de produtividade mostram claramente que a bienalidade da cultura continua ocorrendo, porém, os resultados do ano de safra baixa (Figura 2B) demonstram que as plantas com maior suprimento de fósforo reduzem ou amenizam este fenômeno da bienalidade. Desta maneira, mesmo em anos de safras menores, quando as plantas estão adequadamente supridas em P, o agricultor ainda consegue colher uma boa quantidade de café de sua lavoura.

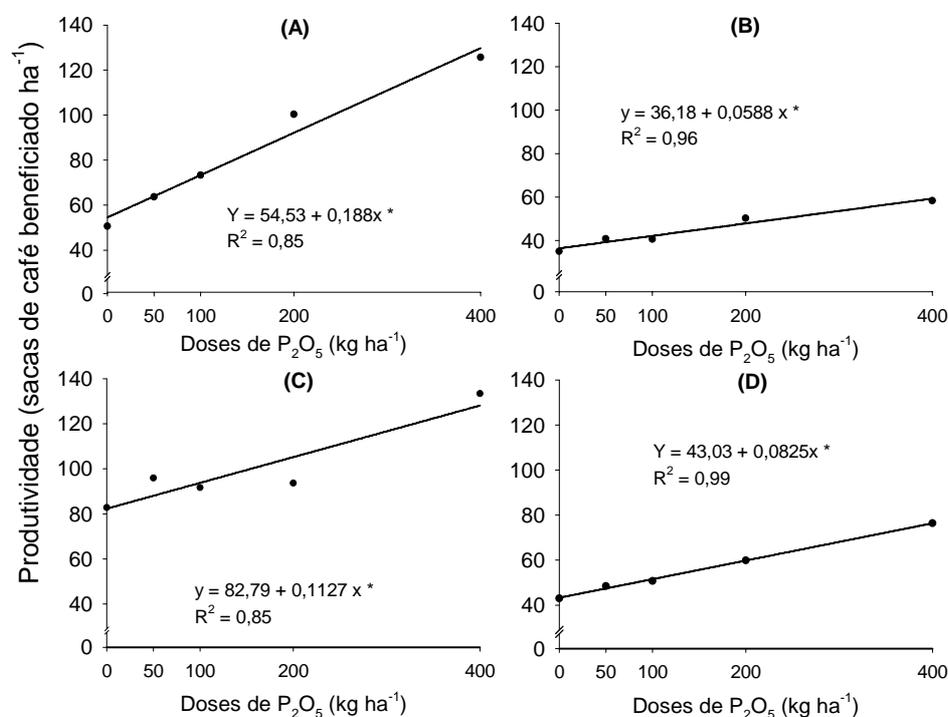


Figura 2 Médias de produtividade de cafeeiros irrigados num LVd de Planaltina, DF, submetidos a adubação fosfatada anual. Safras de 2008 (A), 2009 (B), 2010 (C) e média geral do ensaio após 8 anos de cultivo (7 safras) (D)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%

A partir do comportamento da média geral de todos os anos do ensaio (7 safras) (Figura 2D) pode-se observar uma variação de 43,0 a 76,0 sc de café beneficiado ha⁻¹ entre a testemunha (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e a maior dose anual de P (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Isso corresponde a um incremento médio anual de 76,7 % em produtividade, mesmo incluindo o ano de 2006 quando não houve produção do ensaio devido à poda praticada. Estes resultados confrontam as expectativa de produtividade considerando as atuais recomendações (RAIJ et al., 1997; CFSEMG, 1999) de adubação fosfatada para cafeeiros. Guerra et al. (2007) e Reis et al. (2011) em anos anteriores no mesmo ensaio já apontavam esse

incremento expressivo de produtividade em função das maiores doses anuais de P. Outros trabalhos na literatura apresentaram incrementos menores, da ordem de 12% a 16% de produtividade, quando foram avaliadas doses de 0 a 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (GALLO et al., 1999; PREZOTTI; ROCHA, 2004). Contudo, a cultivar Rubi MG-1192 deste estudo é considerada responsiva em ambientes com alto suprimento de nutrientes (AMARAL et al., 2010) e também o espaçamento do ensaio é classificado como adensado, com 7143 plantas ha⁻¹. Isso contribui em partes para a explicação das maiores produtividades anuais desse ensaio, pois lavouras nessa condição de adensamento podem produzir menos por planta, exigir menos das mesmas e manter uma maior produtividade anual por área.

Também pode ser observado que a produtividade média da testemunha foi de 43,0 sc ha⁻¹ ao longo dos anos avaliados, considerada alta comparativamente à média brasileira (≈ 20,0 sc ha⁻¹) (CONAB, 2012). Deve-se levar em consideração a adubação fosfatada realizada no sulco de plantio durante a instalação do ensaio conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1999) e como há estreita relação entre a disponibilidade de água e absorção de P (NOVAIS; SMITH, 1999), em cultivos irrigados ocorre um maior aproveitamento desse nutriente pelas plantas.

Logo, pode-se inferir que em condições edafoclimáticas semelhantes sob irrigação, mesmo sem reaplicação de P, desde que tenha sido feita boa adubação fosfatada de plantio e também adubação completa de manutenção, os cafeeiros irrigados ainda conseguem obter produtividades médias quase duas vezes maiores que a média nacional atual.

Analisando de maneira mais simples a viabilidade econômica da adubação anual com maiores doses de P₂O₅ considerou-se a equação da figura 2D, pois a mesma reflete os resultados de sete safras colhidas em oito anos de experimento incluindo um ano sem colheita devido à poda. Para cada 50 kg de

P_2O_5 aplicados anualmente obteve-se um retorno bruto de $4,25 \text{ sc ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de café beneficiado. A fonte utilizada no ensaio foi o superfosfato triplo com 46% de P_2O_5 e preço atual de mercado (28/02/2012) de aproximadamente R\$1.100,00 (US\$647,00); o preço da saca de café beneficiado tipo 6 bica corrida encontra-se próximo de R\$435,00 (US\$256,00) e um dólar com valor de R\$1,70. Nesta situação, aproximadamente para cada R\$120,00 (US\$70,00) investidos na aplicação do fertilizante fosfatado anualmente por hectare, o cafeicultor teria um retorno financeiro bruto de R\$1.850,00 (US\$1088,00) por hectare por ano.

3.2 Teores Foliare de P: Experimento localizado em Planaltina-DF

Houve diferenças significativas entre os teores foliares de P devido às doses de P_2O_5 aplicadas no solo para todas as épocas em que foram coletadas amostras de folhas dos tratamentos (Figura 3).

Em julho de 2009, época após a colheita, ocorreu um ajuste linear para os teores do nutriente em função da adubação fosfatada observando-se maiores teores de P para as maiores doses após a safra de baixa (Figura 3A). Pode-se inferir dessa maneira que após a colheita neste ano de safra baixa as plantas melhor supridas em P conseguiram atender adequadamente as demandas energéticas e nutricionais da florada (MALAVOLTA et al., 2002; TAIZ; ZEIGER, 2009; SILVA et al., 2010) mesmo antes da reaplicação do nutriente no solo explicando assim as maiores produtividades do ano seguinte. Para a mesma época de coleta de folhas em 2010, após uma safra alta do ensaio observa-se que todos os tratamentos superaram estatisticamente a testemunha, porém sem ajuste matemático (Figura 3C). Apesar de não haver correlação entre teores foliares de P em julho e produção das plantas, nota-se maiores teores de P dessa época em 2010 em relação ao ano de 2009 uma vez que naquela época houve um efeito de

diluição possivelmente provocado pelo maior desenvolvimento vegetativo das plantas e menor safra colhida.

Para os teores de P nas folhas coletadas em dezembro, em ambos os anos, na fase anterior ao enchimento de grãos, observa-se um ajuste matemático exponencial dos teores de P na folha em função das doses de P_2O_5 aplicadas anualmente ao solo (Figuras 3B e 3D), semelhantemente ao ocorrido nas amostras de 2007 (Reis et al., 2011). Porém, no período avaliado por aqueles autores os teores foliares de P estabilizaram-se próximo ao valor de $1,98 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 e nos dois períodos avaliados no presente estudo, os teores foliares do nutriente estabilizaram-se em $2,31$ e $2,20 \text{ g kg}^{-1}$ em doses menores estimadas de P aplicadas ao solo, 240 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente para 2009 e 2010. Dessa maneira as plantas parecem ter atingido sua máxima absorção de P em função do estado vegetativo em que se encontravam e da disponibilidade do nutriente no solo.

Essa diferença expressiva da dose de P_2O_5 a qual proporcionou a estabilização dos teores foliares de P de 2010 em relação aos anteriores deve-se a uma chuva inesperada ocorrida dentro do período de estresse hídrico desse ano, em meados de junho. Essa precipitação possivelmente proporcionou maior absorção do nutriente dos tratamentos com as menores doses anuais de P.

Na fase de amostragem anterior ao enchimento de grãos, são encontrados os maiores teores foliares de P em plantas de cafeeiros quando estão adequadamente supridas do nutriente (VALARINI; BATAGLIA; FAZUOLI, 2005; LAVIOLA et al., 2007b). É importante comentar que o período posterior a esta fase, também chamado de estágio de desenvolvimento ou de expansão rápida dos frutos, ocorre a maior translocação de fotoassimilados para os frutos de cafeeiros bem como acúmulo de P nos mesmos (LAVIOLA et al., 2007a; LAVIOLA et al., 2009). Logo, mesmo ocorrendo estabilização dos teores foliares de P, as plantas que tiveram maior suprimento de P pelo solo foram

aquelas que alcançaram as maiores produtividades, pois atenderam à demanda dos frutos durante seu desenvolvimento e também às demandas do período de florescimento no início do ciclo reprodutivo seguinte (MALAVOLTA et al., 2002).

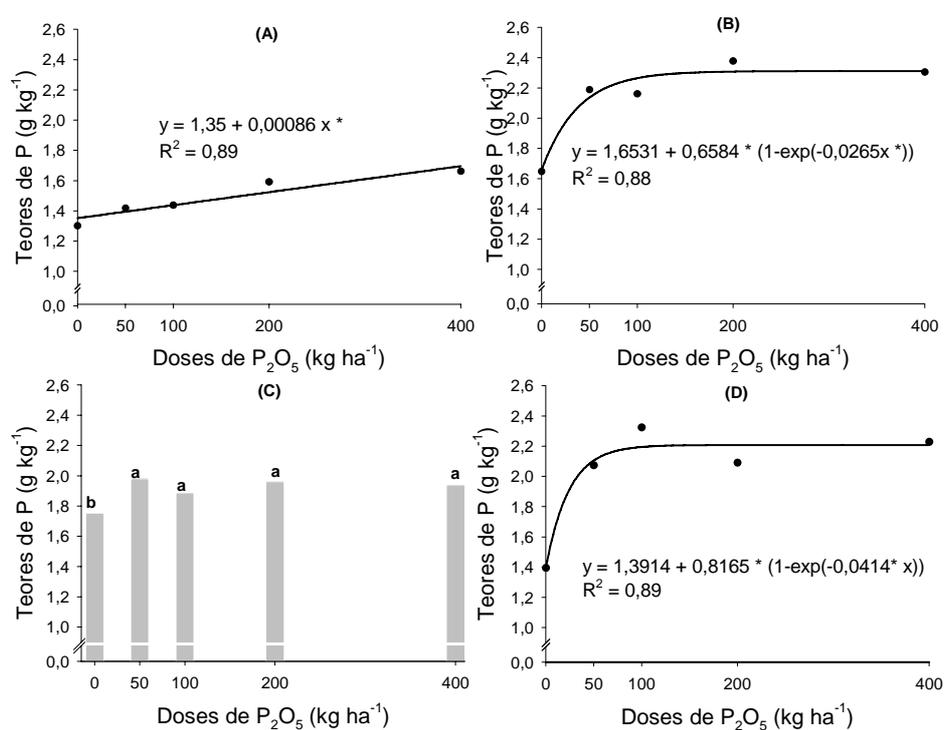


Figura 3 Teores foliares de fósforo de cafeeiros irrigados submetidos a adubação fosfatada anual. Valores referentes a amostras coletadas em julho (A) e dezembro (B) de 2009 e julho (C) e dezembro (D) de 2010

* Significativo, pelo teste de t, a 5%. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Ainda com relação aos teores foliares de P, vários autores citam faixas de valores para este nutriente em folhas coletadas no período anterior ao enchimento de grãos, como índices para averiguar o suprimento ideal do

nutriente na planta (MARTINEZ et al., 2003; MARTINEZ et al., 2004; VALARINI; BATAGLIA; FAZUOLI, 2005). Apenas os teores de P da testemunha (0 kg ha^{-1} de P_2O_5) neste período de amostragem atingiram a faixa de 1,2 a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ encontrada como adequada na literatura para a fase anterior ao enchimento de grãos, ou seja, destaca-se a importância de uma avaliação consistente da cultura em campo. Desta maneira, além dos teores absolutos de P na folha, também deveria ser considerado o desenvolvimento vegetativo da cultura e a expectativa de sua colheita para um monitoramento nutricional das plantas, pois os teores de P podem não corresponder à produtividade alcançada, por algum efeito de diluição ou consumo de luxo das plantas.

3.3 Áreas de lavouras comerciais com histórico de alta adubação fosfatada anual

De maneira geral houve diferenças significativas entre os teores foliares de P devido a adubação fosfatada anual em todas as épocas que foram coletadas amostras de folhas nas diferentes localidades de estudo (Figura 4).

Ao analisar os resultados obtidos na lavoura da área da Fazenda Cafeeira Selo Verde, Oeste da Bahia (Figura 4A), nota-se que o talhão denominado Selo Verde Pivô 5 foi geralmente superior aos demais em todas as épocas avaliadas. Ressalta-se que este talhão obteve altas produtividades no ano de 2009. Já o talhão Selo Verde Pivô 3, apesar de também ter produzido mais que aquele considerado testemunha, não foi superior ao mesmo nos teores foliares de P nas épocas avaliadas, indicando a necessidade de uma avaliação mais rigorosa da disponibilidade de P na planta através de outras ferramentas, por exemplo um fracionamento de P nas folhas.

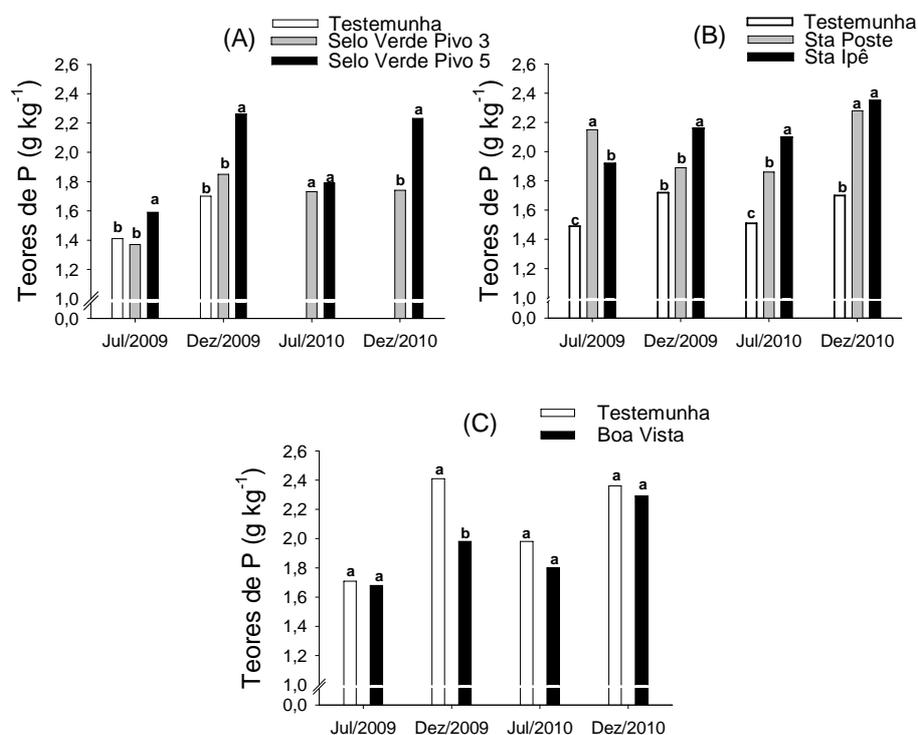


Figura 4 Teores foliares de fósforo de cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual. (A) Área sob irrigação num Latossolo Vermelho Amarelo textura média, Oeste da Bahia; (B) Área de sequeiro num Argissolo Vermelho argiloso, Sul de Minas Gerais; (C) Área de sequeiro num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, Sul de Minas Gerais. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na lavoura da área de estudo da Fazenda Santo Antônio, Sul de Minas Gerais, os dois talhões que receberam maiores quantidades de P superaram os teores foliares da testemunha, exceto em dezembro de 2009 quando o talhão denominado Poste foi semelhante à testemunha e inferior ao Ipê (Figura 4B). É importante comentar que o talhão Poste recebeu adubação fosfatada convencional em 2008 e visivelmente em julho de 2009 apresentava-se com

desenvolvimento vegetativo inferior àquele do talhão Ipê, além de ter tido redução drástica em produtividade naquele ano. O talhão Ipê manteve-se com os maiores teores foliares de P em todas as épocas avaliadas, exceto em julho de 2009, possivelmente devido às maiores produtividades obtidas neste ano.

Na área de estudo da Fazenda Boa Vista, Sul de Minas Gerais, com exceção da época de dezembro de 2009, em que a testemunha obteve maiores teores de P, não houve diferenças significativas entre os teores foliares do nutriente do talhão de maior adubação fosfatada e aquele de adubação convencional. Isso demonstra também a necessidade de uma avaliação mais rigorosa da disponibilidade de P na planta através de outras ferramentas.

Os teores foliares de P de todos os talhões das áreas acompanhadas sob maior adubação fosfatada anual geralmente atingiram teores maiores ou iguais a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ na fase anterior ao enchimento de grãos dos cafeeiros.

3.4 Frações de fósforo na planta: Experimento localizado em Planaltina-DF

As frações fosfatadas foram afetadas significativamente pelos tratamentos com adubação de P no solo na maioria das épocas de coleta avaliadas (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Os teores de fósforo inorgânico solúvel (P_i) dos tratamentos foram maiores que aqueles da testemunha em todos os períodos avaliados ocorrendo ajustes matemáticos apenas para a época de coleta em julho (Figuras 5A, 6A, 7A e 8A). O P_i é uma forma de reserva do nutriente que a planta armazena no vacúolo de suas células e utiliza para manter constantes os níveis de P metabolizável no citoplasma (RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005; WANG; SHEN; LIAO, 2010).

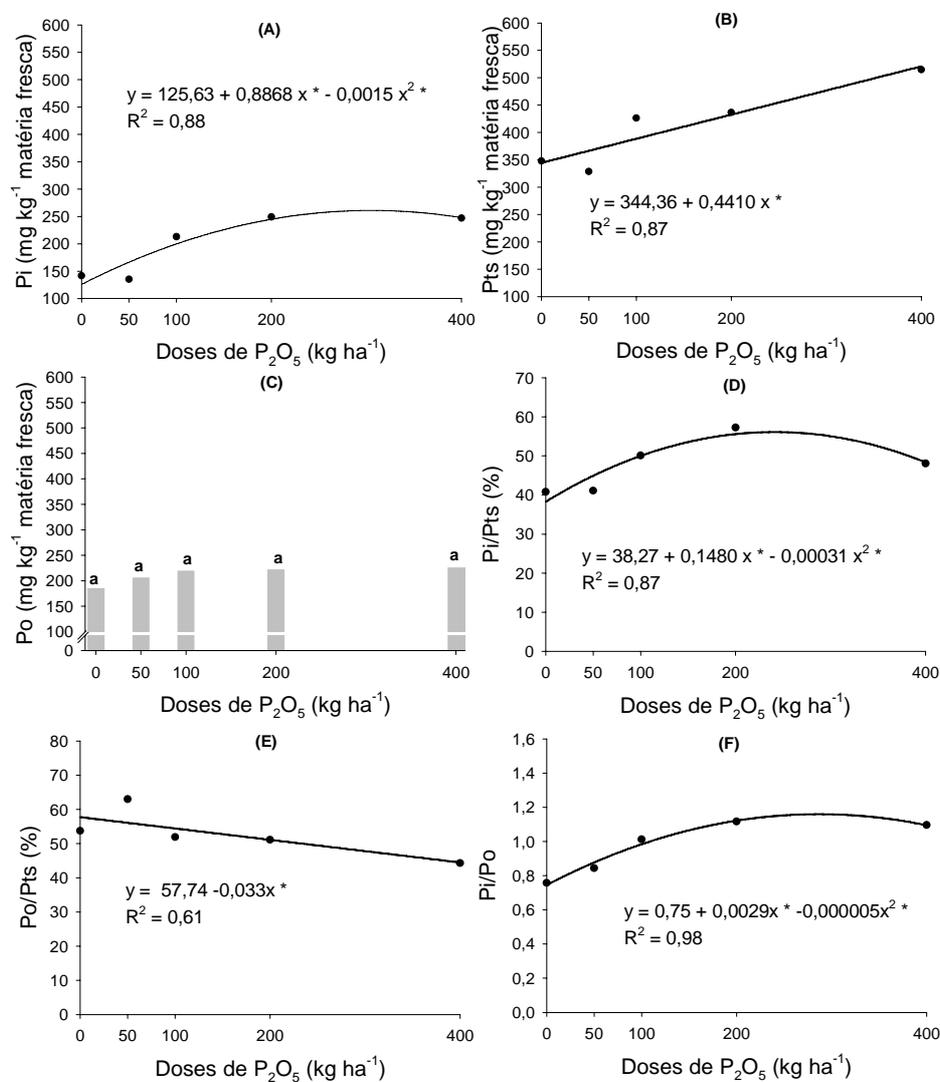


Figura 5 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros irrigados submetidos a adubação fosfatada anual (amostras coletadas em julho de 2009). Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

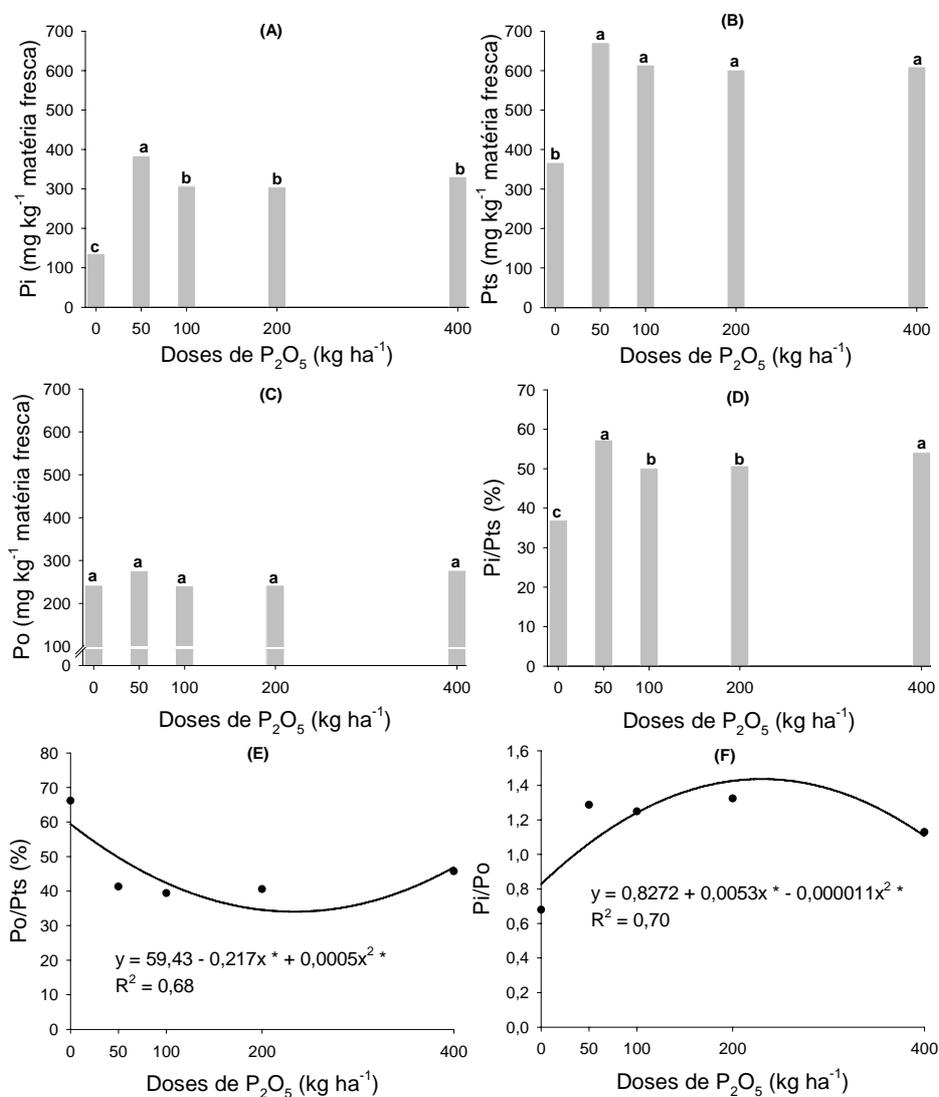


Figura 6 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros irrigados submetidos a adubação fosfatada anual (amostras coletadas em dezembro de 2009). Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M ($HClO_4$); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

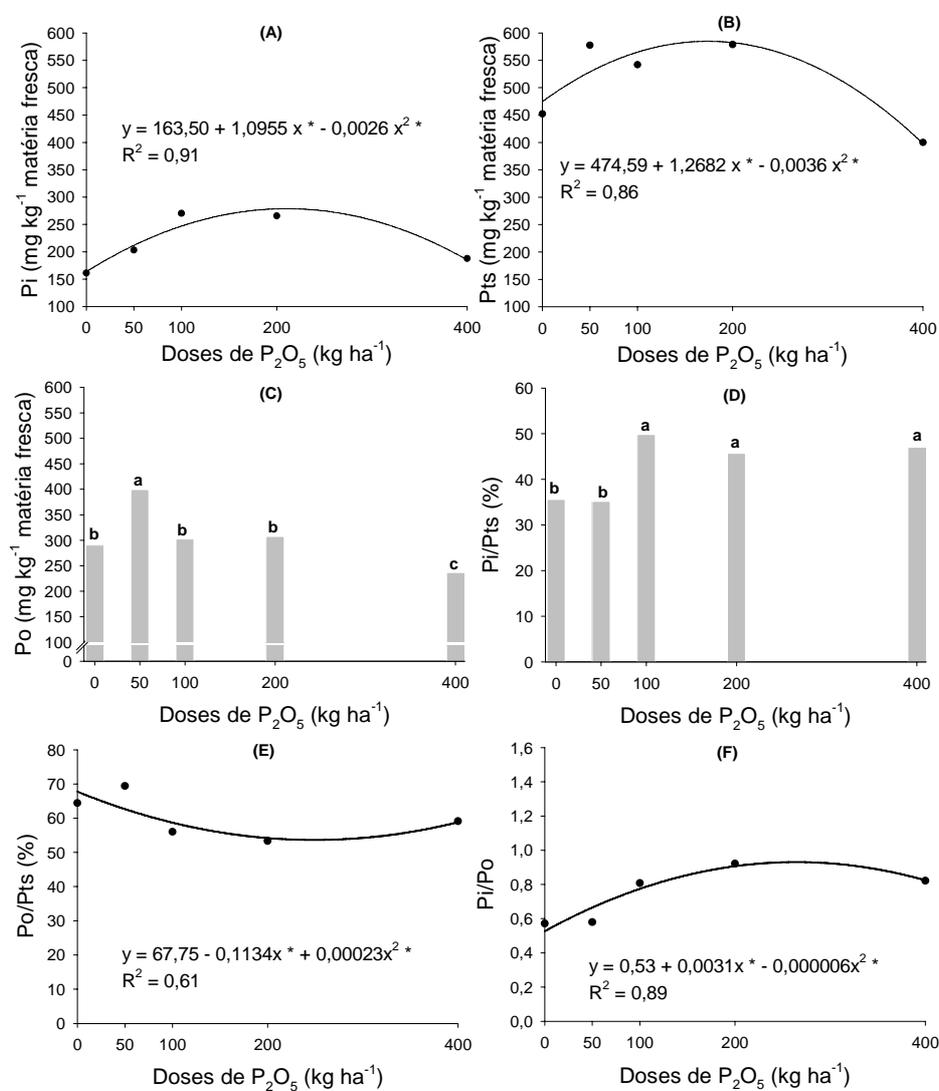


Figura 7 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros irrigados submetidos a adubação fosfatada anual (amostras coletadas em julho de 2010). Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

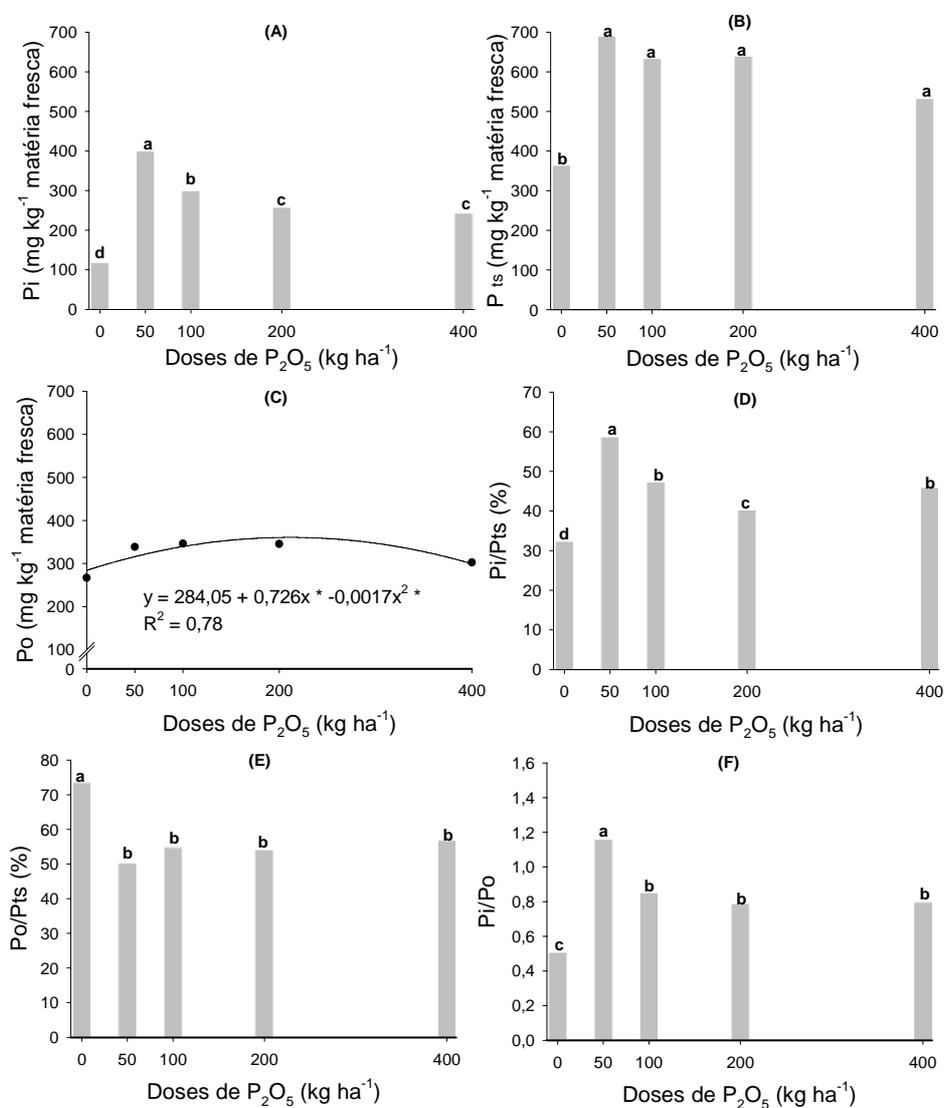


Figura 8 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros irrigados submetidos a adubação fosfatada anual (amostras coletadas em dezembro de 2010). Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - P_{ts} (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/P_{ts} (D), Po/P_{ts} (E) e Pi/Po (F)

* Significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

O compartimento Pi é extremamente vantajoso dado à dificuldade de translocamento de Po e à fácil mobilidade de Pi no sistema vascular das plantas juntamente com os seus transportadores nas membranas celulares (OSTERTAG, 2010). Essa fração, portanto torna-se mais importante em momentos que a planta sofre um estresse nutricional por P devido a falta do nutriente ou mesmo devido ao não suprimento do nutriente pelo solo por baixa umidade (AKHATR; OKI; ADACHI, 2008).

Tal fato torna as épocas de coleta em julho fundamentais para a compreensão da dinâmica das frações fosfatadas nos cafeeiros, pois é justamente um período em que não há irrigação da cultura do cafeeiro e a planta vai demandar bastante energia (ATP) para passar o período seco e preparar-se para a nova florada (MALAVOLTA et al., 2002; SILVA et al., 2010). Sendo assim, de uma maneira geral, os tratamentos que conseguiram suprir melhor as plantas em Pi nessa época em ambos os anos (Figuras 5A e 7A) foram aqueles que permitiram um melhor desenvolvimento vegetativo dos cafeeiros, melhor pegamento de florada e conseqüentemente maior produtividade favorecendo a expressão do potencial produtivo das plantas pois atenderam adequadamente à demanda nutricional desse período (MALAVOLTA et al., 2002). Em julho de 2010, após uma safra alta, o tratamento com a maior dose de P no solo parece ter utilizado mais de sua reserva de Pi para obter maior produtividade em relação aos demais (Figura 2C), pois houve uma diminuição expressiva dessa fração (Figura 7A).

Como ocorre parte da adubação fosfatada anual no solo nos meses de setembro, os resultados de coleta em dezembro mostram que plantas melhor supridas do nutriente também têm maior capacidade em absorver P para armazenamento (NOVAIS; SMITH, 1999; FERNANDES et al., 2000; SANTOS et al., 2008), pois nesta época de avaliação todos os tratamentos superaram a testemunha sem adubação com P (Figuras 6A e 8A). Nota-se que as plantas do

tratamento 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentaram maiores teores de Pi em relação aos demais neste momento do ciclo. Possivelmente este tratamento está armazenando P semelhantemente aos demais, mas como apresenta menor produtividade não precisa disponibilizar do compartimento de reserva do nutriente na fase anterior ao enchimento de grãos do ciclo da cultura.

De modo geral, os tratamentos apresentaram aumento nos teores de fósforo total solúvel (Pts) à medida que se elevaram as doses de P aplicadas ao solo, exceto o tratamento de maior dose fosfatada em julho de 2010 no qual houve uma extração elevada de P após safra expressiva do tratamento (Figura 7B). Ajustes matemáticos para as formas de Pts em função das doses de P foram obtidos apenas para os períodos de estresse hídrico do ensaio (Figuras 5B, 6B, 7B e 8B). Esse aumento nos teores de Pts era esperado uma vez que houve incremento na disponibilidade de P no solo para as plantas (NOVAIS; SMITH, 1999; FERNANDES et al., 2000; SANTOS et al., 2008).

O incremento de Pts acompanha o comportamento do Pi uma vez que os teores de fósforo orgânico solúvel mantiveram-se bem semelhantes em todos os tratamentos nos períodos avaliados (Figuras 5C, 6C, 7C e 8C), exceto na coleta de julho de 2010, após uma das maiores safras do ensaio. O Po é a forma de P que as plantas realmente utilizam para seus processos metabólicos e é natural que não haja variações expressivas dentro dos períodos de coleta, pois os teores de P dessa fração são mantidos pela disponibilização do nutriente do compartimento Pi (MARTINEZ et al., 2005).

Destaca-se a importância em observar a proporção entre essas frações uma vez que as plantas apresentam desenvolvimentos vegetativos diferenciados com impacto na produtividade. De maneira geral, as relações Pi/Pts e Pi/Po foram maiores que a testemunha em todos os períodos avaliados e a relação Po/Pts coerentemente comportou-se de maneira oposta (Figuras 5, 6, 7 e 8). Esse comportamento de maior incremento do compartimento Pi em relação ao Po em

função de suprimento do nutriente já havia sido relatado para outras espécies (FURTINI NETO et al., 1998; FERNANDES et al., 2000; MARTINEZ et al., 2005; SANTOS et al., 2008) confirmando que esta é uma forma de reserva utilizada pelas plantas em algum momento de estresse.

Os tratamentos que tiveram maior suprimento anual de P apresentaram as maiores relações Pi/Pts e Pi/Po nos períodos de estresse hídrico (Figuras 5D, 5F, 7D e 7F). Esses resultados são extremamente importantes para explicar o fato dessas maiores doses de P no solo apresentarem as maiores produtividades da cultura. Dessa maneira, as plantas melhor supridas em P conseguem absorver mais o nutriente tanto para suprir sua demanda durante o ciclo como para armazená-lo na forma de Pi no vacúolo de suas células, reduzindo inclusive as diferenças de produção devido ao fenômeno da bienalidade de safras.

3.5 Áreas de lavouras comerciais com histórico de alta adubação fosfatada anual

Houve diferenças significativas entre os teores de P das frações fosfatadas nas diferentes localidades de estudo (Figuras 9, 10 e 11). Os talhões com maior aporte do nutriente em todas as lavouras das áreas também apresentaram maiores teores de Pts e Pi e maior relação Pi/Pts principalmente na época de julho avaliada, confirmando os resultados obtidos no ensaio de Planaltina-DF.

As plantas de cafeeiros instaladas no LVA, solo menos argiloso, apresentaram teores de Pi semelhantes às demais em outros tipos de solo deste trabalho (Figuras 9A, 10A e 11A). Tais resultados confrontam observações relatadas por Novais e Smith (1999) que observaram maiores teores de Pi de plantas cultivadas em solos arenosos ou com maior fator intensidade de P. Essa característica de fator intensidade de P refere-se à capacidade tampão de P do

solo, ou seja, à capacidade do solo em disponibilizar o P contido em suas reservas desse nutriente.

É importante comentar que os resultados da dinâmica das frações fosfatadas na planta foram semelhantes em áreas irrigadas e de sequeiro (Figuras 9, 10 e 11) uma vez que nessas áreas sob irrigação é realizada a prática do estresse hídrico controlado (GUERRA et al., 2006) a qual impõe um período determinado sem adicionar água no solo, coincidente com a época de julho, anterior ao florescimento dos cafeeiros.

Dessa maneira, em períodos de estresse nutricional pela diminuição da umidade do solo, as plantas utilizam deste P armazenado para garantir o desenvolvimento das atividades metabólicas (AKHATR; OKI; ADACHI, 2008) e assim conseguem suprir adequadamente a demanda energética para a florada e também para o desenvolvimento vegetativo dos cafeeiros (MALAVOLTA et al., 2002; SILVA et al., 2010). Portanto, essas plantas melhor supridas em reservas de P num período crítico do ciclo da cultura vão alcançar maiores produtividades.

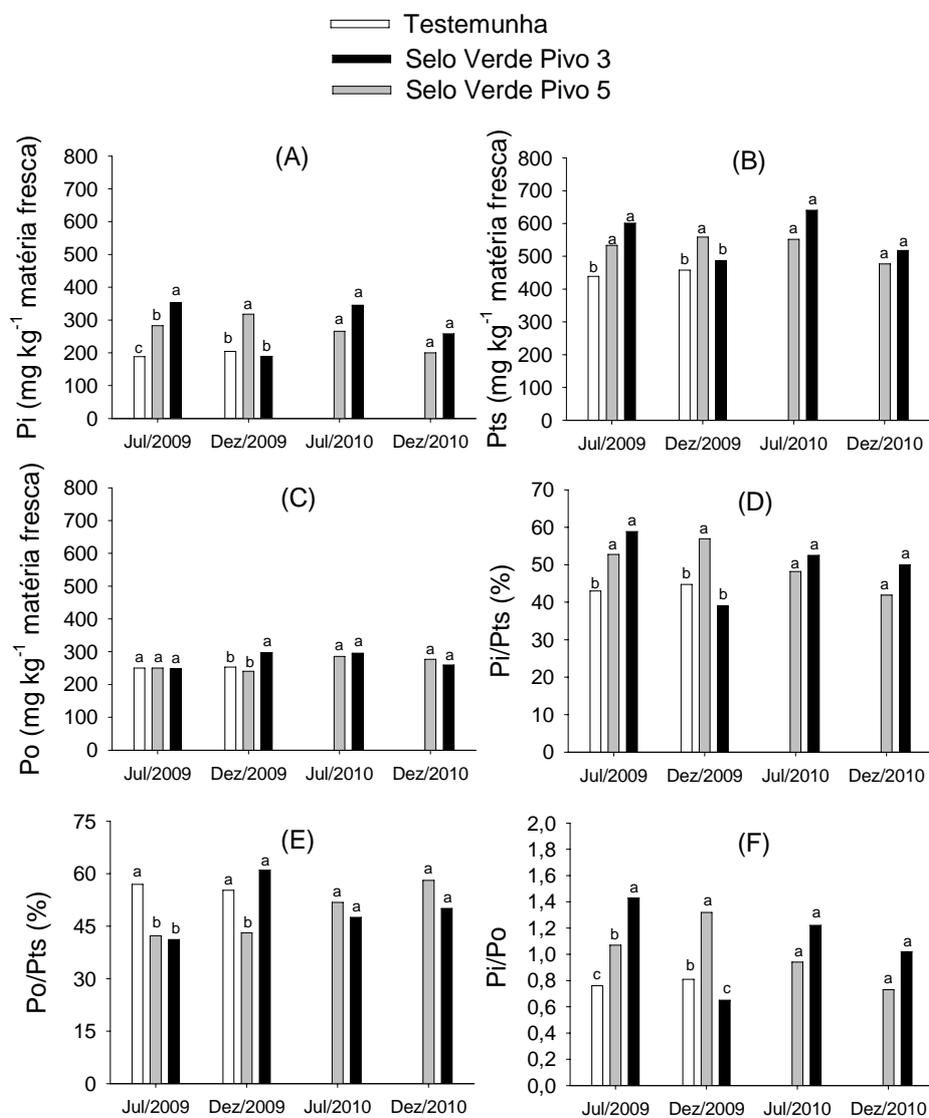


Figura 9 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros irrigados em área sob estudo num Latossolo Vermelho Amarelo textura média, Oeste da Bahia. Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

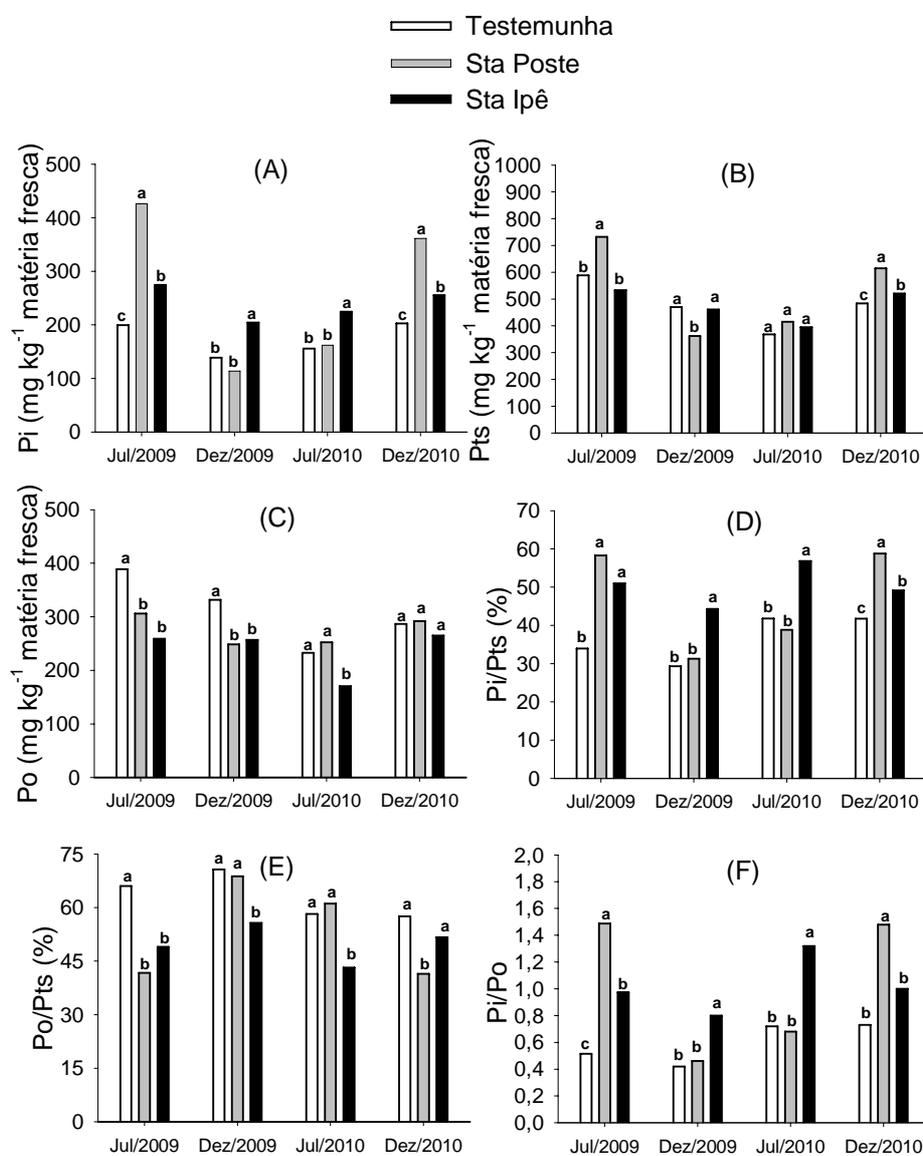


Figura 10 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros sob sequeiro num Argissolo Vermelho argiloso, Sul de Minas Gerais. Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

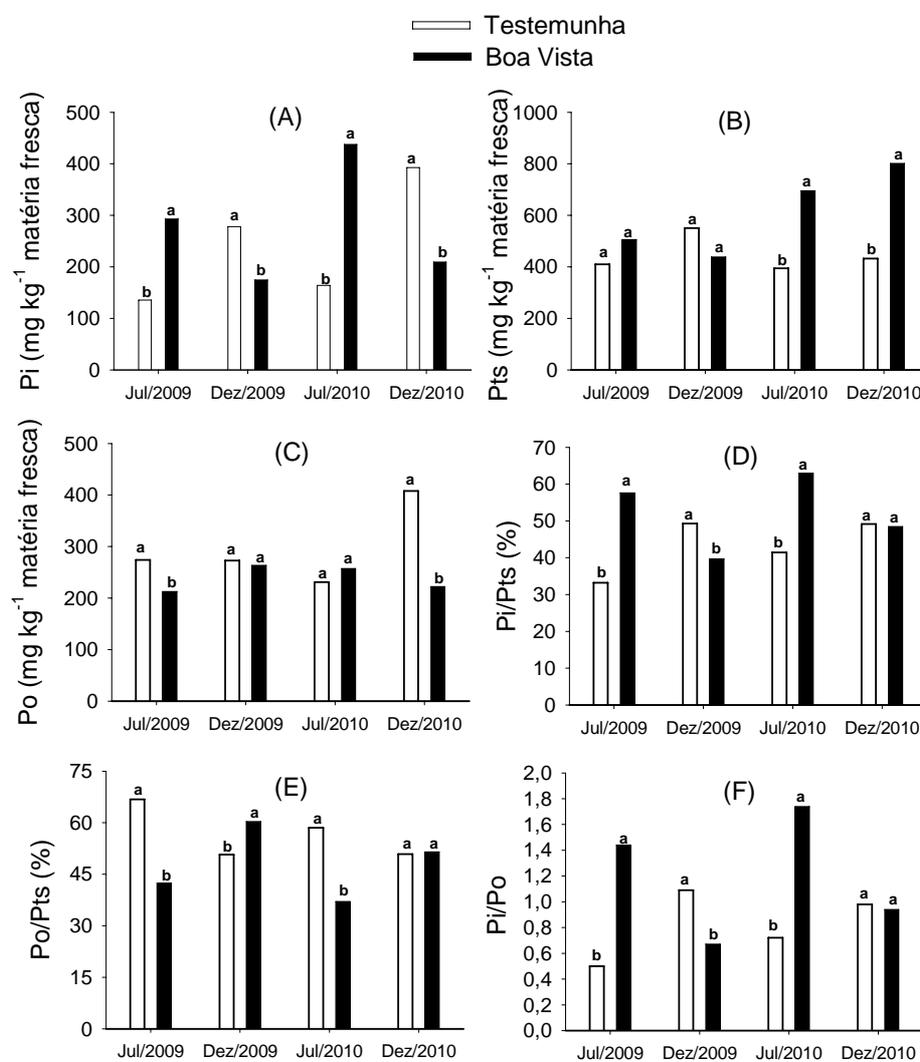


Figura 11 Frações fosfatadas em folhas de cafeeiros sob sequeiro num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, Sul de Minas Gerais. Teores de fósforo inorgânico - Pi (A), fósforo total solúvel - Pts (B) e fósforo orgânico - Po (C) solúveis em ácido perclórico 0,2M (HClO₄); Relação Pi/Pts (D), Po/Pts (E) e Pi/Po (F)

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

4 CONCLUSÕES

Cafeeiros sob o efeito de maiores adubações fosfatadas anuais apresentaram maiores produtividades com comportamento linear até 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Em média, para cada 50 kg de P_2O_5 aplicados anualmente obteve-se um retorno bruto de $4,25 \text{ sc ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de café beneficiado.

Os teores de P na matéria seca das folhas estabilizaram-se próximo a $2,2 \text{ g kg}^{-1}$, na fase anterior ao enchimento de grãos dos cafeeiros.

Os teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) aumentaram de maneira geral com o aumento das doses de P aplicadas anualmente ao solo. Neste contexto, as plantas sob o efeito de maiores adubações fosfatadas anuais apresentaram maior reserva de P refletida nas maiores relações Pi/Pts e Pi/Po em períodos de estresse hídrico.

O fracionamento de P na folha mostrou ser uma ferramenta importante para a avaliação do estado nutricional e estudo da dinâmica do nutriente no metabolismo das plantas de cafeeiros complementar à análise foliar.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, F. Z.. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, Jan. 1986.
- AMARAL, J. F. T. et al. Eficiência na produção de frutos e alocação relativa de nutrientes em cultivares de cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 57, n.2, p. 253-262, Mar./Abr., 2010.
- AKHATR, M. S.; OKI, Y.; ADACHI, T.. Intraspecific Variations of Phosphorus Absorption and Remobilization, P Forms, and Their Internal Buffering in Brassica Cultivars Exposed to a P-Stressed Environment. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 6, p.703-716, 2008.
- BHADORIA, P. S. et al. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. **Plant And Soil**, Dordrecht, v. 262, p.327-336, 2004.
- CASTRO, K. B. et al. Caracterização geomorfológica do município de Luis Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, Escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 32p.
- CFSEMG. Comissão de Fertilidade de Solo do Estado De Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 289-302.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Histórico de produção de café**. Disponível em:
<<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=132>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

DIAS, K. G. L. **Fontes e doses de fósforo para cafeeiros em produção: dinâmica e disponibilidade de nutrientes.** 2012. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERNANDES, L. A. et al. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p.1191-1198, 2000.

FERREIRA, D. F.. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, n. 35, p. 1039-1042, 2011.

FURTINI NETO, A. E. et al. Frações fosfatadas em mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p. 267-274, 1998.

GALLO, P. B. et al. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GOMES, F. T. et al. Fotossíntese em alfafa (*Medicago sativa* L.) sob supressão e ressuprimento de fosfato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 821-828, Set./Out., 2003.

GUERRA, A. F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In.: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café.** Viçosa: UFV, 2006. p. 83-116.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **ITEM**, Brasília, n.73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org.). **Café Arábica do plantio à colheita.** Lavras: UR Eпамig SM, 2010. p. 343-414.

GUIMARÃES, P. T. G.. **Respostas do cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuai) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais.**1986. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, 2007a.

LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.1, p.29-40, Jan./Mar. 2007b.

LAVIOLA, B. G. et al. Macronutrient Accumulation in Coffee Fruits at Brazilian Zona da Mata Conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 980-995, 2009.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136-274.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores de cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé. **Boletim Técnico**, n. 72, Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2004.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Phosphate forms in plant and their internal buffering in five soybean cultivars. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 249-257, 2005.

MELO, B. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, Mar./Abr. 2005.

MURPHY, J.; RILEY, J. P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, n.1, p.31-36, 1962.

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

OSTERTAG, R.. Foliar nitrogen and phosphorus accumulation responses after fertilization: an example from nutrient-limited Hawaiian forests. **Plant Soil**, v. 334, p. 85-98, 2010.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C.. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.239-251, Mai./Ago. 2004.

RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S.. Phosphate acquisition. **Plant and Soil** v. 274, p. 37-49, 2005.

REIS, T. H. P. et al. Soil Phosphorus Dynamics and Availability and Irrigated Coffee Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 503-512, 2011.

ROUACHED, H.; ARPAT, A.B.; POIRIER, Y.. Regulation of Phosphate Starvation Responses in Plants: Signaling Players and Cross-Talks. **Molecular Plant**, v. 3, n. 2, p. 288-299, 2010.

SANTOS, J. Z. L. et al. Crescimento, Acúmulo de Fósforo e Frações Fosfatadas em Mudanças de Sete Espécies Arbóreas Nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.799-807, 2008.

SILVA, L. et al. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 965-972, Set. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.. **Fisiologia vegetal**, 4 ed. Porto Alegre: Arned, 2009. 819p.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, 64 (4): 661-672, 2005.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, p. 302-306, 2010.

CAPÍTULO 3 Dinâmica e disponibilidade de fósforo no solo para o cafeeiro

RESUMO

A necessidade de aumentar a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas produzirem adequadamente é constantemente almejada em função de sua complexa dinâmica no solo, sobretudo em regiões tropicais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica e a disponibilidade das frações de fósforo em solos cultivados com cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual. O experimento foi instalado, em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), localizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, com a cultivar Rubi MG-1192 sob aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando como fonte o superfosfato triplo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Também foram acompanhadas áreas em propriedades com histórico de aplicação anual de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅; num Argissolo Vermelho típico textura argilosa e num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais sob sequeiro e num Latossolo Vermelho Amarelo textura média no Oeste Baiano sob irrigação. Nos anos de 2009 e 2010 foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm nas quais foram determinadas frações de fósforo e fósforo total recuperado. O fracionamento de P no solo mostrou ser uma ferramenta importante para o entendimento da dinâmica do nutriente em solos sob elevada adubação fosfatada anual. As frações de P lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e total exibiram maiores teores em função do maior aporte do nutriente aplicado anualmente ao solo. A fração P moderadamente lábil foi mais expressiva que as demais nos solos com maior teor de argila. A maior parte do nutriente aplicado ao solo permanece como uma reserva com alguma labilidade, ainda disponível para os cultivos sucessivos.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., fósforo, frações de fósforo no solo.

CHAPTER 3 Soil phosphorus dynamics and availability to coffee plants

ABSTRACT

The necessity to increase soil phosphorus availability to plants properly produce is constantly desired due to its complex soil dynamics, especially in tropical regions. In this context, the objective of this paper was to evaluate the dynamics and availability of phosphorus fractions in soils cultivated with coffee under annual phosphate fertilizer application. The experiment was initiated in January 2001, in a very clayey typical dystrophic Red Latosol (LVd) (Oxisol), located at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, with the cultivar Rubi MG-1192 under annual different phosphorus doses application (0, 50, 100; 200 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), using triple superphosphate. The experimental design was in randomized blocks with three replications. More three coffee crop areas also were accompanied in properties with approximately 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ annual historic application; in a typic clayey Red Argisol (Ultisol) and in a sandy clay loam Yellow Red Argisol (Ultisol), both located in southern of Minas Gerais with no irrigation and in a sandy clay loam Yellow Red Latosol (Oxisol) under irrigation in western of Bahia. In 2009 and 2010 years, soil samples were collected at depths from 0 to 10 and 10 to 20 cm in which were determined phosphorus fractions and total phosphorus recovered. The soil P fractionation showed to be an important tool for understanding the nutrient dynamics and availability in soil under high annually phosphate fertilizing. The P labile, moderately labile, low-labile and total fractions exhibited higher contents due to higher annual soil nutrient application. The moderately labile P fraction was greater than others in soils with higher clay content. Most of the nutrient applied to the soil remains as a reservoir with some lability, still available for successive cropping.

Keywords: *Coffea arabica* L., phosphorus, soil phosphorus fractions

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas produzirem adequadamente foi demonstrada há pelo menos 200 anos atrás (SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008) e mesmo assim este nutriente seja, talvez, ainda aquele mais questionado e investigado nas regiões tropicais, onde o mesmo tem uma dinâmica complexa no solo. Nestes solos, são grandes as quantidades de P aplicadas para manter a disponibilidade adequada para as plantas (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

O P é essencial ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas com a função principal de armazenamento e transporte de energia na forma de ATP (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006; GUIMARÃES; REIS, 2010). As plantas diferem quanto a sua capacidade de crescimento em função de diferentes níveis de P disponível no solo (BHADORIA et al., 2004). Neste contexto, resultados recentes de pesquisa mostram que os cafeeiros respondem em produtividade a maiores doses de P aplicadas ao solo e que o maior aporte de fertilizantes fosfatados altera a dinâmica do nutriente no ambiente solo-planta (REIS et al., 2011a,b; DIAS, 2012).

A dinâmica do fósforo no solo está associada aos fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). Desse modo, as reações do P devem ser observadas no âmbito do sistema solo-planta, uma vez que a planta absorve P da solução do solo e a fase sólida passa a ser fonte potencial para repor o equilíbrio do P nessa solução (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008).

Para a caracterização das diferentes frações de P no solo pode-se fazer uma extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis, por meio da

qual formas inorgânicas e orgânicas são separadas conforme sua disponibilidade às plantas (HEDLEY; STEWARD; CHAUHAN, 1982). Sua vantagem é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de P a curto, médio e longo prazos, por meio da avaliação dos diferentes compartimentos com distintos graus de disponibilidade para as plantas (SILVA et al., 2003; SANTOS, 2008; CARNEIRO et al., 2011), podendo também ser empregado para acompanhar modificações nas formas de P, em decorrência de processos no solo (ARAÚJO; SALCEDO, 1997).

A interpretação do fracionamento sequencial é baseada no entendimento das ações dos extratores individuais alcalinos ou ácidos, sua sequência e sua relação com as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Diferentes doses, fontes e formas de aplicação de P têm sido utilizadas com a finalidade de auxiliar a recomendação e o melhor manejo da adubação fosfatada. Neste contexto, as metodologias de fracionamento de P têm sido importantes no entendimento do comportamento, sem mencionar o potencial que a técnica apresenta, se associada aos extratores de rotina para melhor compreensão da dinâmica e disponibilidade deste nutriente para as plantas.

Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a dinâmica e a disponibilidade das frações de fósforo em solos cultivados com cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento foi instalado em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura muito argilosa, localizado no município de Planaltina, DF, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa/CPAC. A área experimental está localizada nas coordenadas 15°35'42" Latitude Sul e 47°43'51" Longitude Oeste, à uma altitude de 1.009m. Segundo a classificação de Köppen, o clima do município é tropical Aw chuvoso, de inverno seco, com temperatura média anual de 23°C. O período seco varia de 5 a 6 meses (abril a setembro) e a precipitação média anual é de 1.400mm, concentrada no período de outubro a março.

Foi utilizada a cultivar Rubi MG-1192, no espaçamento de 2,8 x 0,5m, seguindo-se as recomendações de adubação de plantio conforme CFSEMG (1999). A partir da primeira florada, em 2002, iniciou-se a aplicação anual de doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na projeção da copa dos cafeeiros, utilizando como fonte o superfosfato triplo, aplicando-se 2/3 da dose em setembro, antes do retorno das irrigações (após período de estresse hídrico), e 1/3 entre o final de dezembro e início de janeiro. Foi mantida a mesma adubação de produção para os demais nutrientes, aplicando-se anualmente 500 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 500 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de FTE BR10 (Zn=7%; B=2,5%; Cu=1%; Fe=4%; Mn=4%; Mo=0,1%; Co=0,1%) a cada dois anos para suprimento de micronutrientes. O N e o K foram parcelados em 4 aplicações de setembro a fevereiro e os tratamentos fitossanitários, quando necessários, foram iguais para todas as parcelas.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em que as parcelas foram constituídas de três linhas de plantio com

10 plantas cada, sendo a linha central e as 8 plantas centrais consideradas úteis e ambas as linhas laterais bordaduras. A área foi irrigada por pivô central, num regime de estresse hídrico moderado conforme GUERRA et al. (2006) para sincronização do desenvolvimento de gemas reprodutivas e uniformização da florada.

Em 2005, as plantas do experimento foram podadas, sofrendo um esqueletamento a 0,4m do ramo ortotrópico e um decote a 1,5m de altura. Nas parcelas experimentais, no ano de 2009, foram coletadas amostras de solo em duas profundidades, 0 a 10 e 10 a 20 cm, antes das adubações para o ano agrícola 2009/2010. Para cada profundidade foram retiradas amostras compostas em pontos diferentes, na projeção da copa dos cafeeiros, respeitando-se, assim, a independência das camadas. No ano de 2010, por ocasião da colheita, retiraram-se novamente amostras compostas nessas parcelas, seguindo-se os mesmos procedimentos do ano anterior.

Também foram acompanhadas três lavouras implantadas em áreas com histórico de aplicação de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por três anos consecutivos. Duas delas de sequeiro, sendo uma sob um Argissolo Vermelho típico (PVD) textura argilosa, e uma sob um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais, município de Cabo Verde, nas propriedades Santo Antônio e Boa Vista, respectivamente. Outra lavoura, em área sob irrigação por pivô, num Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura média localizada no Oeste da Bahia, município de Luis Eduardo Magalhães, na propriedade Cafeeira Selo Verde. Nestas localidades também foram amostradas lavouras adjacentes com histórico de manejo convencional da adubação fosfatada e áreas de solo semelhante sob vegetação nativa. Foi realizada uma delimitação de área para amostragem dentro de todas as áreas fazendo-se coletas de solo sempre com quatro repetições.

No Sul de Minas, na lavoura em área de PVd, Fazenda Santo Antônio, foram amostrados dois talhões sob maior adubação fosfatada, denominados Ipê e Poste, sendo que este último não recebeu P de 2008 para 2009. Também foi amostrada uma área adjacente sob adubação convencional denominada testemunha. Já na lavoura em área de PVA, Fazenda Boa Vista, foram amostrados dois talhões, um sob maior adubação fosfatada ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) e outro sob adubação convencional denominados Boa Vista e Testemunha, respectivamente.

No Oeste da Bahia, numa lavoura em área de LVA, foram amostrados inicialmente três talhões, sendo dois sob maior adubação fosfatada anual ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) e um sob adubação convencional, denominados Selo Verde P3, Selo Verde P5 e Testemunha. Como a lavoura do talhão testemunha foi podada de 2009 para 2010, realizou-se coleta das amostras de solo apenas em 2009.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Cabo Verde onde as áreas do Sul de Minas estão localizadas, apresenta clima tipo Cwb temperado chuvoso ou subtropical de altitude, com temperatura média anual de $18,2^\circ\text{C}$ e precipitação média anual de 1.600 mm (ANTUNES, 1986). Já o município de Luis Eduardo Magalhães, local se onde encontra outra lavoura em área de acompanhamento e estudo, no Oeste da Bahia, apresenta clima tipo BSh quente e seco com chuvas de inverno, com temperatura média anual de aproximadamente 26°C e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm; o período chuvoso da região é bem definido ocorrendo de outubro a março e período seco de abril a setembro (CASTRO et al., 2010).

Todas as áreas acompanhadas sob maior adubação fosfatada anual apresentavam maiores médias de produtividade que aquelas adjacentes, sendo assim, neste acompanhamento procurou-se ater ao estudo de fatores relacionados à fertilidade do solo os quais poderiam explicar essa maior produção e portanto, não foi mensurada a produtividade dessas áreas.

Para a caracterização química de rotina dos diferentes tipos de solo (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H + Al, P, P-remanescente, carbono orgânico) (EMBRAPA, 2009), amostras compostas foram coletadas em área sob vegetação nativa adjacente, secas ao ar e passadas em peneira de malha 2mm. Os teores de óxidos de fósforo (P_2O_5) foram obtidos pelo ataque sulfúrico por digestão ácida e a análise física granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2009). A capacidade máxima de adsorção de P (CMAF) foi determinada conforme Syers et al. (1973).

A disponibilidade de P foi avaliada pelos extratores Mehlich-1 (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e pela resina de troca iônica (Embrapa, 2009). Também foram determinadas frações de P segundo Hedley, Steward e Chauhan (1982) adaptado (Figura 1) e o P total recuperado segundo Bowman (1989) adaptado (Figura 2). No fracionamento proposto por Hedley, Steward e Chauhan (1982), formas de P inorgânico e orgânico lábeis (Pi- $NaHCO_3$ e Po- $NaHCO_3$), adsorvidas nas superfícies dos colóides, foram extraídas com $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; formas de P inorgânico e orgânico moderadamente lábeis (Pi- $NaOH$ e Po- $NaOH$), associadas aos óxidos de Fe e de Al e aos compostos húmicos, foram extraídas sequencialmente com $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$; e formas de P inorgânico pouco lábeis (Pi- $NaOH$ e Po- $NaOH$), também associadas aos óxidos de Fe e de Al e aos compostos húmicos, foram extraídas sequencialmente com $NaOH$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. O P total recuperado do solo foi obtido por digestão a 120°C e pressão de uma atm em autoclave, em meio ácido concentrado e em meio alcalino (BOWMAN, 1989). O P foi determinado por espectroscopia de absorção molecular (colorimetria) em todos os extratos, segundo MURPHY; RILEY (1962).

A diferença entre os teores obtidos pelas metodologias de Bowman (1989) e Hedley, Steward e Chauhan (1982) foi denominada fração P-residual em Bowman uma vez que o primeiro método de extração é mais drástico que o

outro permitindo identificar uma fração de P não mais disponível para as plantas.

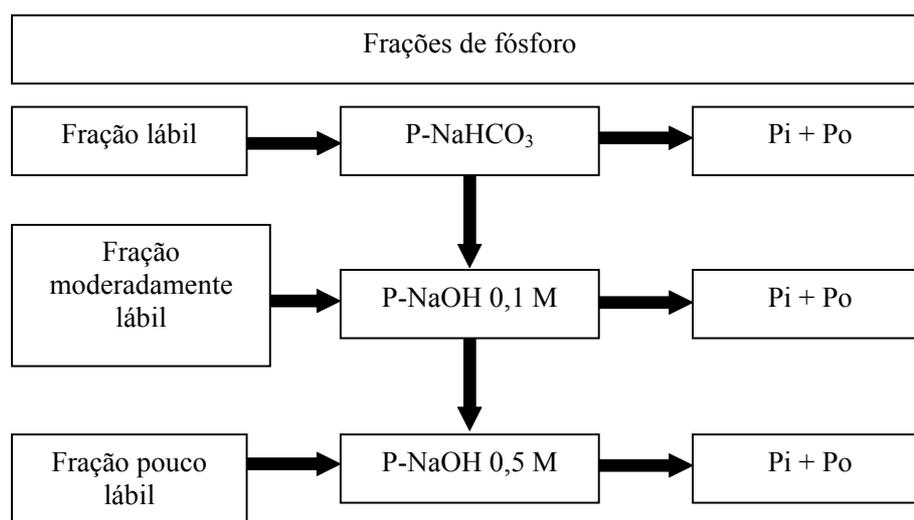


Figura 1 Esquema simplificado da extração de algumas formas de fósforo no solo, conforme Hedley et al. (1982)

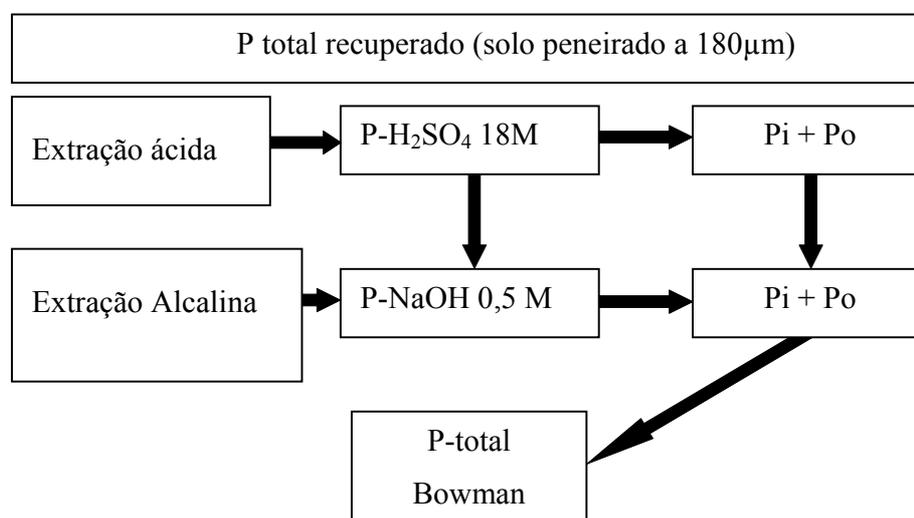


Figura 2 Esquema simplificado da extração do fósforo total recuperado no solo, conforme Bowman (1989)

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média para avaliar a diferença entre os tratamentos. Também foram ajustadas equações de regressão para as diferentes formas de P como variáveis dependentes das doses de adubação fosfatada anual utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos solos

Foi realizada uma caracterização dos atributos físico-químicos dos quatro tipos de solos nas profundidades estudadas neste trabalho (Tabela 1). Observa-se de uma maneira geral que os solos com maior teor de argila apresentaram naturalmente maiores teores de P em todas as frações determinadas. Tais resultados convergem com aqueles apresentados por outros autores que também estudaram o nutriente em solos sob diferentes ambientes e sistemas de cultivo (MOTTA et al., 2002; LACERDA, 2011; CARNEIRO et al., 2011).

Também de uma maneira geral os maiores teores de P foram encontrados na profundidade de 0-10 cm, independentemente da quantidade de argila dos solos, uma vez que o nutriente possui baixa mobilidade (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007) e a profundidade superficial naturalmente possui maiores teores de matéria orgânica contribuindo para maiores concentrações de cargas negativas e conseqüentemente maior disponibilidade de P.

Os solos argilosos apresentaram maior capacidade máxima de adsorção de fósforo uma vez que naturalmente possuem maior quantidade de sítios de adsorção do nutriente e também mostraram baixos teores de P remanescente em relação àqueles de textura média, corroborando alguns trabalhos encontrados na literatura (GODINHO et al., 1997; ROLIM NETO et al., 2004; RANNO et al., 2007). Contudo os quatro solos em sua condição natural mostraram-se pobres em P disponível pelos métodos de rotina, Mehlich-1 e Resina de troca iônica.

Tabela 1 Atributos físico-químicos de amostras dos solos sob áreas nativas, próximas às áreas cultivadas

Atributos do solo	LVd		PVd		PVA		LVA	
	Profundidades (cm)							
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
pH (água)	4,9	4,8	4,8	5,0	5,4	5,2	4,7	4,9
K (mg dm ⁻³)	39	27	28	19	119	57	14	11
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,2	0,1	0,1	1,7	1,2	0,1	0,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,1	0,1	0,1	1,2	0,7	0,1	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,4	1,5	1,9	1,6	0,4	0,8	0,8	0,8
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	11,0	11,0	10,1	5,2	4,2	4,7	4,3	3,6
m (%)	64	80	85	86	11	29	78	78
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	40	34	25	25	20	14	1,4	1,1
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	2,0	1,2	1,1	1,2	1,0	1,1	1,3	1,2
P-resina (mg dm ⁻³)	5,9	4,0	6,8	7,2	10,2	8,5	2,7	5,8
P-remanescente (mg kg ⁻¹)	13,7	12,8	10,8	9,4	35,4	34,6	47,8	44,5
P-lábil (mg kg ⁻¹)	61,3	75,8	50,9	48,1	35,1	27,6	24,9	19,1
P-moderadamente lábil (mg kg ⁻¹)	305,9	332,0	249,4	232,0	173,1	153,8	173,6	105,8
P-pouco lábil (mg kg ⁻¹)	87,7	50,7	80,1	145,0	38,3	35,7	17,0	17,0
P-total Bowman (mg kg ⁻¹)	595,4	590,1	1102,0	1068,9	530,4	574,5	269,0	209,8
Areia (g kg ⁻¹)	180	180	240	240	490	510	760	740
Silte (g kg ⁻¹)	140	140	150	100	240	200	000	010
Argila (g kg ⁻¹)	680	680	610	660	270	290	240	250
CMAF (mg kg ⁻¹)	1185	1187	914	911	285	286	174	175
P ₂ O ₅ “total” (g kg ⁻¹)	0,5	0,4	1,5	1,4	0,1	0,1	0,1	0,1

m (%) = saturação por Al na CTC efetiva do solo; CMAF = Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo

3.2 Formas de Fósforo no Solo: Experimento localizado em Planaltina-DF

As formas de P consideradas disponíveis para as plantas de cafeeiros foram aquelas obtidas pelos extratores de rotina, Mehlich-1 e resina de troca iônica, e aquelas lábeis obtidas pelo fracionamento de Hedley, Steward e Chauhan (1982), constituídas pela soma do $P_i + P_o - NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Procedeu-se a subdivisão do P em formas lábeis, moderadamente lábeis e pouco lábeis, independentemente da natureza química das mesmas, com a finalidade de melhor compreender a dinâmica e a disponibilidade do nutriente no solo (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; REIS et al., 2011b).

As formas de P disponível apresentaram um comportamento semelhante nas duas profundidades avaliadas mesmo sendo obtidas por extratores com diferentes princípios químicos de extração do nutriente (Figuras 3 e 4). Segundo Raj et al. (2001) o P disponível extraído pela resina teria melhor correlação com a produtividade do que o P disponível extraído por Mehlich-1. Contudo, isso possivelmente ocorreu uma vez que há uma alta concentração de P no solo após sucessivas adubações fosfatadas e talvez nestas circunstâncias vários extratores possam ser eficientes em mensurar a disponibilidade do nutriente num ambiente com estas características. De fato, na dose zero de P, extratores alcalinos como o P lábil pelo $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ conseguiram extrair maiores teores de P em relação à resina e ao Mehlich-1. Isso também foi observado por Lacerda (2011) em outros tipos de solos. Pode-se também observar um comportamento linear de incremento dos teores de P devido aos acréscimos anuais de fosfato no solo para os extratores Mehlich-1 e resina de troca iônica (Figura 3) e quadrático, ainda em função do incremento de P, para o extrator $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ do fracionamento de Hedley, Steward e Chauhan (1982), em ambos os anos avaliados (Figura 4).

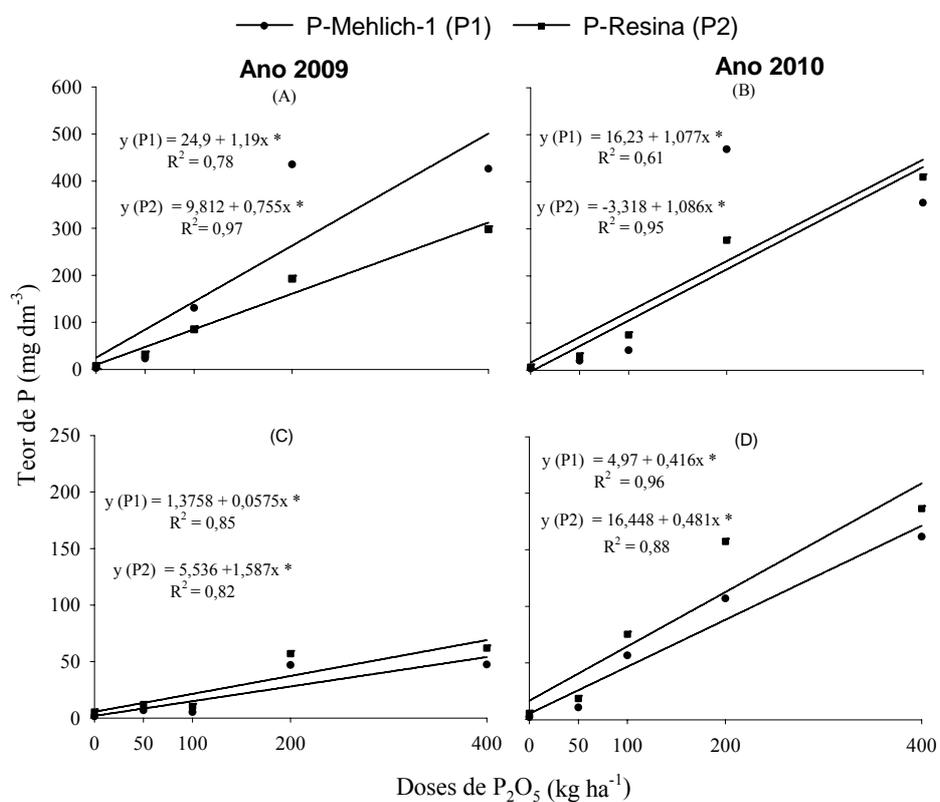


Figura 3 Teores de fósforo disponível no solo pelos extratores Mehlich-1 e Resina de troca iônica, em função da adubação fosfatada anual num LVd de Planaltina (A e B = profundidade de 0-10 cm; C e D = profundidade de 10-20 cm)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%

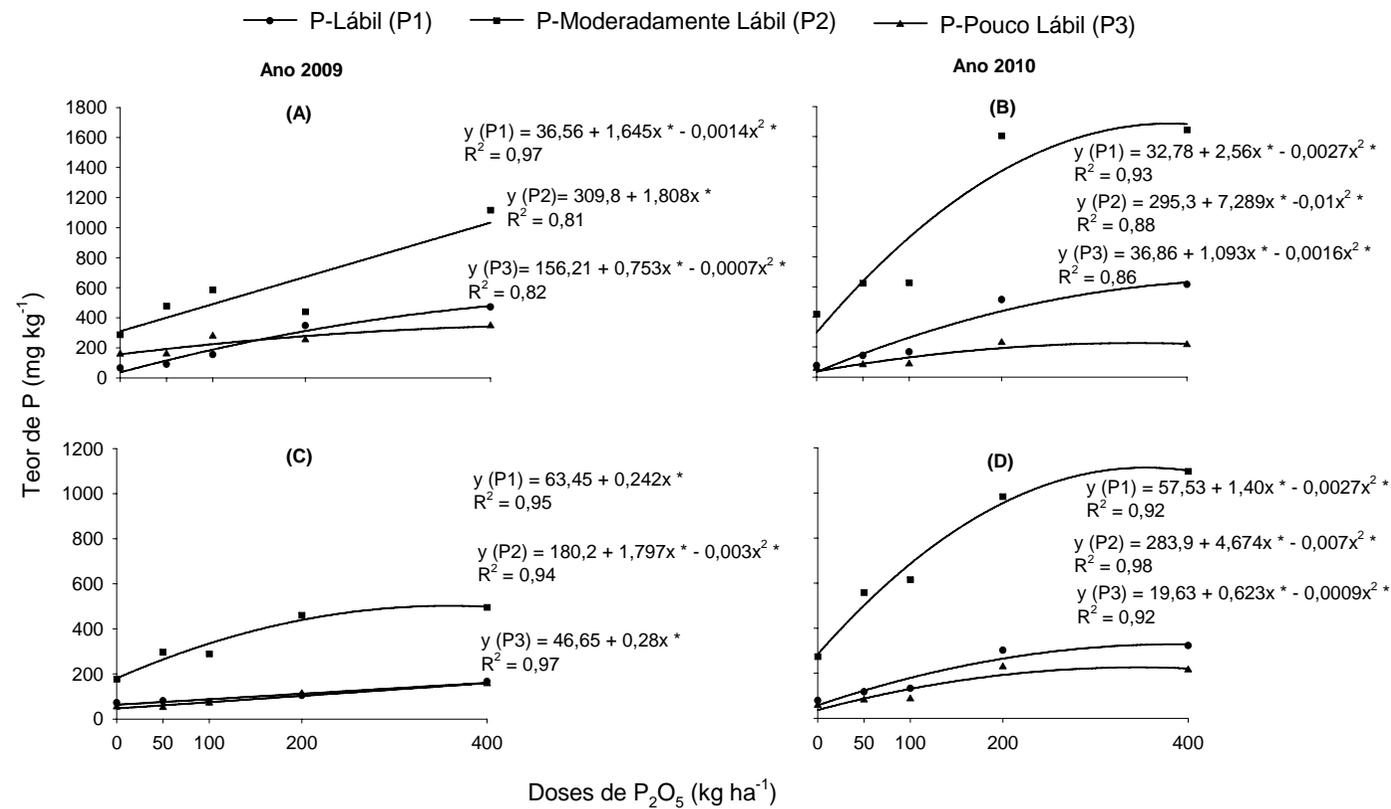


Figura 4 Teores de fósforo lábil, moderadamente lábil e pouco lábil no solo, disponíveis pelos extratores NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹, respectivamente, em função da adubação fosfatada anual (A e B = profundidade de 0-10 cm; C e D = profundidade de 10-20 cm)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%

Os maiores teores de P-disponível foram obtidos nas camadas de 0 a 10 cm, nos dois anos avaliados, coerentemente com a baixa mobilidade do nutriente (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007), uma vez que os fertilizantes são aplicados sobre o solo sob a projeção da copa das plantas, sem incorporação. Contudo, os teores de P de 10 a 20 cm, também sofreram acréscimos em seus valores principalmente nas maiores doses aplicadas anualmente indicando que os sítios de adsorção do nutriente na superfície do solo possivelmente estão em alto grau de saturação permitindo ao nutriente certa mobilidade no perfil do solo até estas profundidades avaliadas (RIVAIE et al., 2008; COSTA; BIGHAM., 2009; REIS et al., 2011a,b).

O P-disponível é considerado uma das frações mais importantes por estar associada ao conjunto de compostos fosfatados capazes de repor o nutriente rapidamente à solução do solo, quando este for demandado pelas plantas (SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008). Sabe-se que as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperismo-lixiviação do solo, textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, características físico-químicas, atividade biológica e vegetação predominante (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). Desta maneira, a adubação fosfatada anual possivelmente está saturando sítios de adsorção de P na superfície dos colóides permitindo que ocorra maior disponibilidade do nutriente para os cafeeiros (REIS et al., 2011b), inclusive daquelas formas consideradas menos disponíveis pela literatura.

É de suma importância comentar sobre os bons resultados de produtividade dos cafeeiros do tratamento controle (dose zero anual) que foram também expressivos apesar de superados pelos demais tratamentos. Possivelmente ainda ocorre um reflexo do condicionamento do solo no plantio, no ano de 2000/2001, quando se realizou a incorporação de corretivos e adubação fosfatada em área total, bem como adição de quantidade complementar dos mesmos no sulco de plantio dos cafeeiros (CFSEMG, 1999).

Ressalta-se ainda que o manejo dos cafeeiros neste ensaio ocorre sob irrigação e existe uma relação estreita entre a disponibilidade de água e a absorção de nutrientes, principalmente o P o qual se movimenta até as raízes por difusão. O efeito conjunto dessas práticas permite aceitar uma produtividade tão alta como a de 2010, de aproximadamente 83 sacas beneficiadas ha⁻¹ (Capítulo II), no tratamento sem adubação fosfatada anual e também uma média de aproximadamente 40 sacas beneficiadas ha⁻¹ em 7 safras avaliadas durante 8 anos do ensaio.

A fração P disponível é utilizada para interpretar a disponibilidade do nutriente no solo e recomendar adubação fosfatada para quaisquer culturas inclusive a do cafeeiro (CFSEMG, 1999; RAIJ et al., 1997). Assim, em função dos resultados expressivos de produtividade dos cafeeiros apresentados neste trabalho e outros apresentados na literatura nesta mesma linha de pesquisa para diferentes solos (REIS, 2009; REIS et al., 2011b; DIAS, 2012) sugere-se que, de alguma maneira, as recomendações de adubação fosfatada para os cafeeiros, baseadas nos teores de P disponível do solo, sejam aprimoradas, buscando melhor atender às demandas das plantas bem como a expectativa de produtividade dos cafeicultores.

Recentes resultados de pesquisa (Guerra et al., 2007) indicam que com a aplicação de doses mais elevadas de P pode-se obter produtividades que variam entre 60 e 70 sc ha⁻¹ tanto em áreas irrigadas como de sequeiro. Também nos experimentos de REIS (2009) e REIS et al., (2011) foram encontrados teores foliares de fósforo em cafeeiros, estabilizando-se em 2,0 g kg⁻¹ e ainda um comportamento linear na produtividade das plantas em função da aplicação de maiores doses de P. Em trabalho com doses e fontes de fósforo conduzido no Sul de Minas Gerais, em lavoura sob sequeiro, ocorreu incremento linear em produtividade pela aplicação de maiores quantidades do nutriente após três safras avaliadas (DIAS, 2012). Nestes trabalhos, doses em torno de 300 kg ha⁻¹

ano⁻¹ de P₂O₅ têm permitido incrementos expressivos de produtividade em relação ao tratamento controle (sem adubação fosfatada).

Observou-se também que os valores relativos da fração P lábil em relação ao P total Bowman parecem sofrer incrementos expressivos na profundidade de 0 a 10 cm apenas nas aplicações maiores ou iguais a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ anuais (Tabelas 2, 3 e Figura 5). Isso provavelmente contribuiu para os melhores resultados de produtividade obtidos com esses tratamentos.

Analisando os resultados encontrados para a fração P-moderadamente lábil (Pi + Po NaOH 0,1 mol L⁻¹), observa-se que a mesma correspondeu ao principal reservatório de P do solo, em função da adubação fosfatada anual, quando comparada aos demais compartimentos obtidos no fracionamento de Hedley, Steward e Chauhan (1982) (Figura 5 e Tabelas 2 e 3). Os teores de P dessa fração apresentaram comportamento linear, na profundidade de 0 a 10 cm para o ano de 2009 e quadrático para as demais profundidades avaliadas em função do incremento da adubação fosfatada anual (Figura 4). Em 2010 os teores de P dessa fração foram bem expressivos inclusive para a profundidade de 10 a 20 cm mostrando que após sucessivas adubações fosfatadas pesadas pode-se ter uma movimentação de P no solo, o qual provavelmente desloca-se numa forma mais disponível e posteriormente transforma-se numa menos disponível ao encontrar livres aqueles sítios de adsorção de P que conferem ligações mais estáveis aos compostos fosfatados (ALLEONI et al., 2009; ALLEONI; MELLO; ROCHA, 2009; COSTA; BIGHAM, 2009).

Os teores de P da fração moderadamente lábil são associados aos compostos de Fe e de Al e por isso, comumente ela é a forma de P mais expressiva em solos oxídicos, naturalmente ricos destes minerais de argila resultantes dos processos de intemperismo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003; SANTOS, 2008).

A fração P pouco lábil manteve-se pouco expressiva em todas as profundidades avaliadas no período em relação às demais principalmente no último ano de coleta quando seus valores relativos quase não ultrapassam os 5 % em relação ao P total Bowman obtido no trabalho (Figura 5). Nota-se que mesmo no solo sob vegetação natural esta fração era aquela de menor participação entre as demais (Tabela 1). Isso de certa maneira é um resultado positivo, pois esta fração, relacionada também aos compostos de Fe e de Al, é considerada de labilidade a longo prazo por suas formas fosfatadas apresentarem maior grau de estabilidade química entre outras frações de P (HEDLEY; STEWARD; CHAUHAN, 1982; GATIBONI et al., 2007). Esta fração de disponibilidade tardia apresentou um comportamento quadrático para a maioria das amostragens avaliadas durante o período do estudo em função da adubação fosfatada anual, exceto para a profundidade de 10 a 20 cm em 2009, quando houve um ajuste linear (Figura 4).

Tabela 2 Frações de fósforo em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) de Planaltina, DF, cultivado com cafeeiros submetidos a adubação fosfatada anual, no ano 2009

Formas de fósforo no solo	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	50	100	200	400
	----- mg kg ⁻¹ -----				
	Profundidade 0 a 10 cm				
P-lábil	65,2 (9,9%)*	90,6 (7,4%)	154,7(10,1%)	347,1 (17,9%)	471,8 (19,8%)
P-moderadamente lábil	286,9 (43,5%)	477,4 (39,1%)	585,5 (38,4%)	439,9 (22,7%)	1115,4 (46,8%)
P-pouco lábil	158,2 (24,0%)	158,7 (13,0%)	277,2 (18,2%)	252,9 (13,1%)	345,5 (14,5%)
P-Σ (Hedley)	510,3 (77,4%)	726,7 (59,5%)	1017,4 (66,7%)	1039,8 (53,7%)	1932,7 (81,1%)
Ptotal Bowman	658,9 (100%)	1221,6 (100%)	1524,3 (100%)	1937,5 (100%)	2383,4 (100%)
P-residual em Bowman	148,6 (22,6%)	494,9 (40,5%)	506,9 (33,3%)	897,7 (46,3%)	450,7 (18,9%)
	Profundidade 10 a 20 cm				
P-lábil	71,7 (13,3%)	80,2 (11,8%)	76,0 (10,8%)	104,8 (10,7%)	166,2 (15,8%)
P-moderadamente lábil	176,3 (32,6%)	296,0 (43,5%)	288,5 (41,1%)	459,8 (47,0%)	495,2 (47,2%)
P-pouco lábil	53,7 (9,9%)	50,6 (7,4%)	70,4 (10,0%)	112,5 (11,5%)	156,1 (14,9%)
P-Σ (Hedley)	301,7 (55,8%)	426,9 (62,7%)	435,0 (62,0%)	677,1 (69,1%)	817,5 (77,9%)
Ptotal Bowman	540,8 (100%)	680,9 (100%)	702,0 (100%)	979,4 (100%)	1049,2 (100%)
P-residual em Bowman	239,1 (44,2%)	254,0 (37,3%)	267,1 (38,0%)	302,2 (30,9%)	231,7 (22,1%)

P-lábil = Pi + Po NaHCO₃ 0,5 M; P-moderadamente lábil = Pi + Po NaOH 0,1 M; P-pouco lábil = Pi + Po NaOH 0,5 M; P-Σ Hedley = P-lábil + P-moderadamente lábil + P-pouco lábil; P total Bowman= P determinado conforme (Bowman, 1989); P-residual em Bowman= Ptotal Bowman - P-Σ (Hedley). * Valores percentuais relativos ao Ptotal Bowman

Tabela 3 Frações de fósforo em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) de Planaltina, DF, cultivado com cafeeiros submetidos a adubação fosfatada anual, no ano 2010

Formas de fósforo no solo	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	50	100	200	400
----- mg kg ⁻¹ -----					
Profundidade 0 a 10 cm					
P-lábil	76,1 (9,2%)*	142,5 (8,5%)	167,3 (11,0%)	514,6 (21,1%)	616,1 (24,3%)
P-moderadamente lábil	417,5 (50,2%)	622,6 (37,2%)	626,3 (41,3%)	1604,0 (65,6%)	1644,8 (65,0%)
P-pouco lábil	57,6 (6,9%)	81,2 (4,9%)	86,3 (5,7%)	228,2 (9,3%)	215,0 (8,5%)
P-Σ (Hedley)	551,2 (66,3%)	846,3 (50,5%)	879,8 (58,0%)	2346,9 (96,0%)	2475,9 (97,8%)
Ptotal Bowman	832,0 (100%)	1674,4 (100%)	1518,1 (100%)	2444,7 (100%)	2531,7 (100%)
P-residual em Bowman	280,8 (33,7%)	828,1 (49,5%)	638,2 (42,0%)	97,8 (4,0%)	55,8 (2,2%)
Profundidade 10 a 20 cm					
P-lábil	78,8 (11,6%)	117,2 (10,6%)	132,3 (11,4%)	302,4 (14,5%)	322,3 (13,1%)
P-moderadamente lábil	273,4 (40,1%)	557,4 (50,2%)	614,6 (52,9%)	983,4 (47,0%)	1095,5 (44,6%)
P-pouco lábil	8,4 (1,2%)	58,3 (5,3%)	85,4 (7,3%)	93,0 (4,4%)	121,7 (5,0%)
P-Σ (Hedley)	360,6 (52,9%)	732,9 (66,0%)	832,3 (71,6%)	1378,8 (66,0%)	1539,5 (62,6%)
Ptotal Bowman	682,0 (100%)	1109,9 (100%)	1162,6 (100%)	2090,6 (100%)	2458,4 (100%)
P-residual em Bowman	321,4 (47,1%)	377,1 (34,0%)	330,3 (28,4%)	711,7 (34,0%)	918,9 (37,4%)

P-lábil = Pi + Po NaHCO₃ 0,5 M; P-moderadamente lábil = Pi + Po NaOH 0,1 M; P-pouco lábil = Pi + Po NaOH 0,5 M; P-Σ Hedley = P-lábil + P-moderadamente lábil + P-pouco lábil; P total Bowman= P determinado conforme (Bowman, 1989); P-residual em Bowman= Ptotal Bowman - P-Σ (Hedley). * Valores percentuais relativos ao Ptotal Bowman

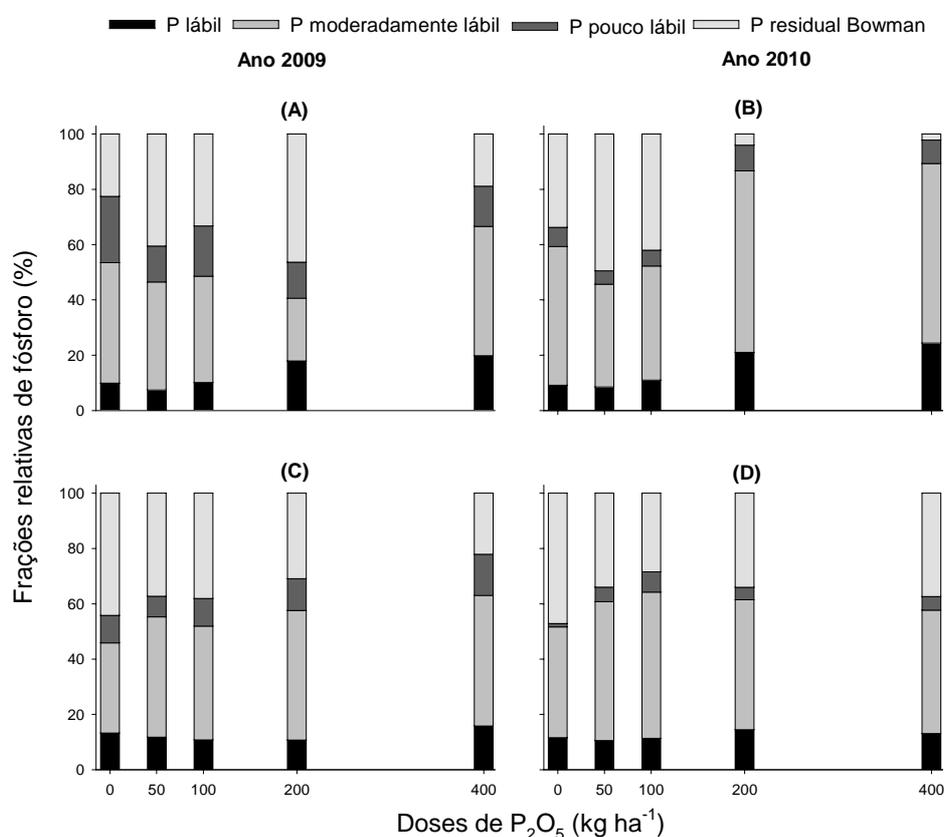


Figura 5 Frações de P lábil, moderadamente lábil, pouco lábil e P residual em relação ao P total recuperado por Bowman no solo, em função da adubação fosfatada anual (A e B = profundidade de 0-10 cm; C e D = profundidade de 10-20 cm)

Os menores teores de P obtidos para esta fração P pouco lábil também podem ser atribuídos à dificuldade dos extratores em disponibilizar compostos fosfatados desta fração pois os mesmos encontram-se ligados com maior força de retenção aos compostos que adsorvem o P no solo (SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008).

O aumento de todas as frações de P em função da adubação fosfatada anual já era esperado uma vez que estão sendo aplicadas altas quantidades

anuais do nutriente no solo e mesmo que a planta absorva e armazene maior quantidade de P é sabido que a mesma não exporta este nutriente em grandes quantidades como acontece com outros macronutrientes (MALAVOLTA, 2006; GUIMARÃES et al., 2011), logo, o mesmo deveria realmente conservar-se em maiores quantidades no ambiente em que foi aplicado. Entretanto, esse P está permanecendo ainda disponível uma vez que através do somatório dessas três frações compõe-se o P-Biodisponível o qual aumenta sua participação em relação ao P-total Bowman de 2009 para 2010 (Figura 6 e Tabelas 2 e 3). Isso é muito relevante uma vez que a maior parte desse P total recuperado do solo ainda está disponível, em boa parte a curto prazo e também a médio e longo prazos (Figura 3), sendo que o P residual diminui com o aumento das doses de P no solo, mais expressivamente na profundidade de 0 a 10 cm no ano de 2010 (Figuras 5B e 6B; Tabelas 2 e 3).

Salienta-se que o P residual ou não-lábil é uma forma de P quase não aproveitada pelas plantas em solos oxidicos, pois apresenta grandes restrições à dessorção do nutriente. Cerca de 20 a 45% desse P foi recuperado após 10 extrações sucessivas em Latossolos intemperizados (FERNÁNDEZ et al., 2008). Provavelmente, a baixa dessorção dessa forma de P pode ser ainda mais limitante em condições de campo, durante os ciclos de produção das culturas, uma vez que vai haver tempo suficiente para que a reação do P com os colóides do solo fique ainda mais estável.

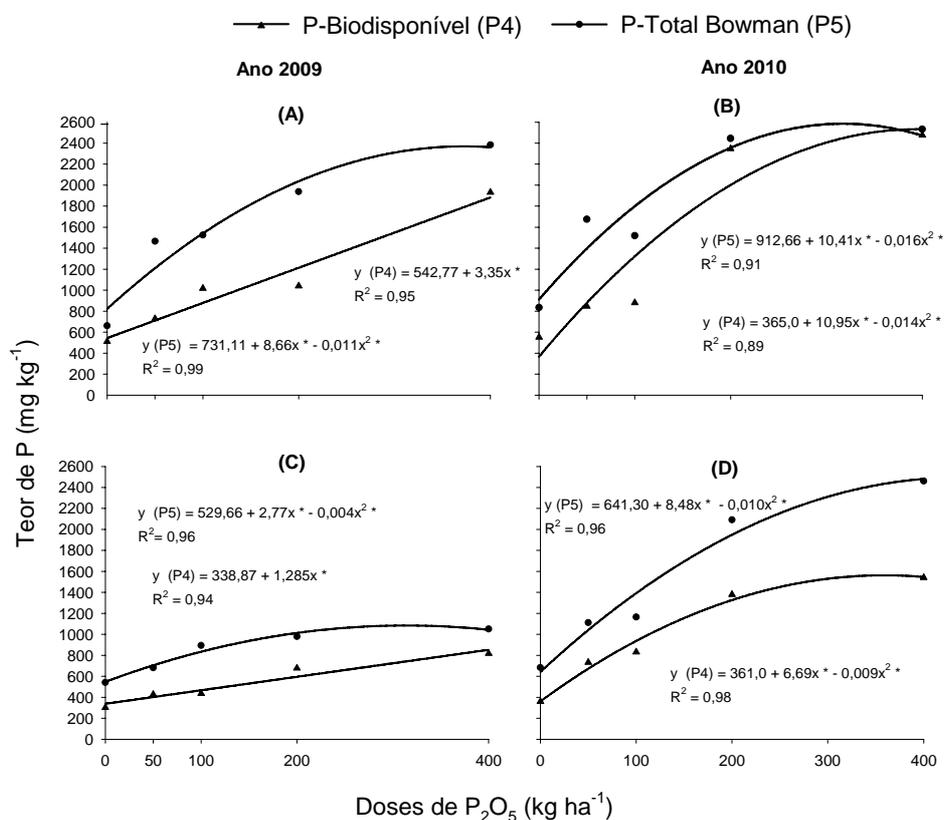


Figura 6 Teores de fósforo biodisponível (Hedley et al., 1982) e fósforo total recuperado (Bowman, 1989) no solo, em função da adubação fosfatada anual (A e B = profundidade de 0-10 cm; C e D = profundidade de 10-20 cm)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%

3.3 Áreas de lavouras comerciais com histórico de alta adubação fosfatada anual

Houve diferenças significativas entre os teores de P de praticamente todas as formas do nutriente avaliadas nas áreas acompanhadas em diferentes solos e localidades de estudo (Figuras 7, 8, 9, 10 e 11). Os talhões com adubação fosfatada anual em dose elevada geralmente sobressaíram em seus teores de P

quando comparados àqueles com adubação fosfatada convencional nas frações avaliadas no presente estudo, reafirmando os resultados obtidos no ensaio de Planaltina-DF com doses de P, previamente discutidos neste capítulo.

Com relação aos teores de P disponível obtidos pelos extratores de rotina Mehlich-1 e resina de troca iônica e por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pelo fracionamento de Hedley, Steward e Chauhan (1982), os mesmos comportaram-se de maneira bastante semelhante (Figuras 7, 8A, 9A e 10A). Todos os talhões sob maior adubação fosfatada nas três áreas de estudo apresentaram teores de P disponível estatisticamente superiores às suas respectivas testemunhas sob adubação convencional. Tal comportamento repetiu-se em ambos os anos e profundidades avaliadas, exceto na área Boa Vista profundidade de 10-20 cm em 2009. Contudo, nos talhões testemunha das áreas nos solos PVA e LVA houve bons teores de P disponível pois essas áreas são de textura média, ou seja, possuem maior fator intensidade de P (NOVAIS; SMITH, 1999).

Em todas as lavouras das áreas em estudo acompanhadas, o P-lábil da profundidade 10-20 cm aumentou de um ano para o outro validando em diferentes tipos de solos as observações feitas anteriormente para o LVD de Planaltina, que o P possui certa mobilidade quando aplicado em maiores quantidades anuais no solo.

Um fato interessante a ser relatado com relação ao P-lábil do talhão Poste da lavoura na área da Fazenda Santo Antônio, no PVd, é que os teores do mesmo foram semelhantes aos do talhão Ipê em 2009 embora o primeiro apresentasse bastante prejudicado em seu desenvolvimento vegetativo no momento de coleta das amostras de solo neste ano. Os danos fisiológicos deveram-se à não aplicação de fósforo no ano de 2008.

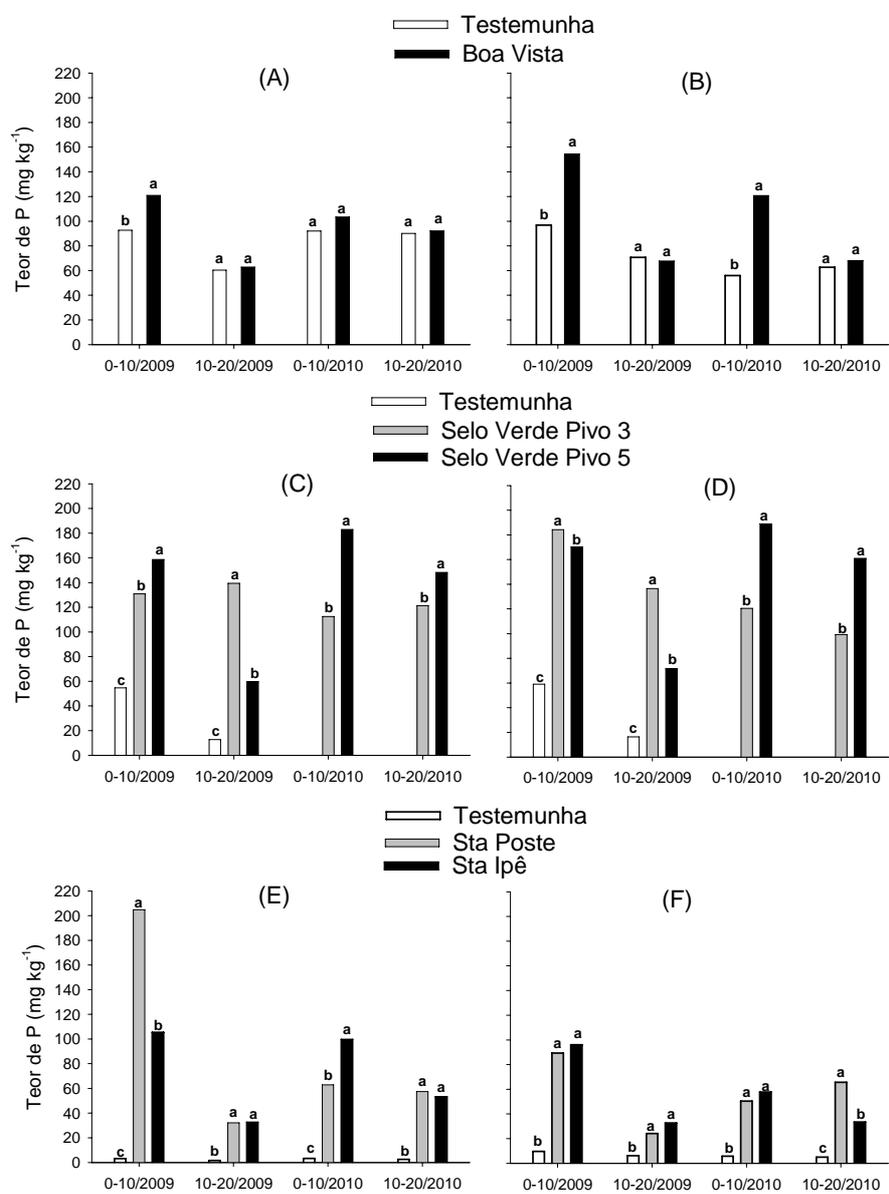


Figura 7 Teores de fósforo disponível no solo, em áreas comerciais sob estudo em diferentes profundidades, localidades e anos (A, C e E = P-Mehlich-1 em áreas sob PVA, PV, do Sul de Minas e LVA, do Oeste da Bahia, respectivamente; B, D e F = P-Resina em áreas sob PVA, PV, do sul de Minas e LVA, do oeste da Bahia, respectivamente)

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

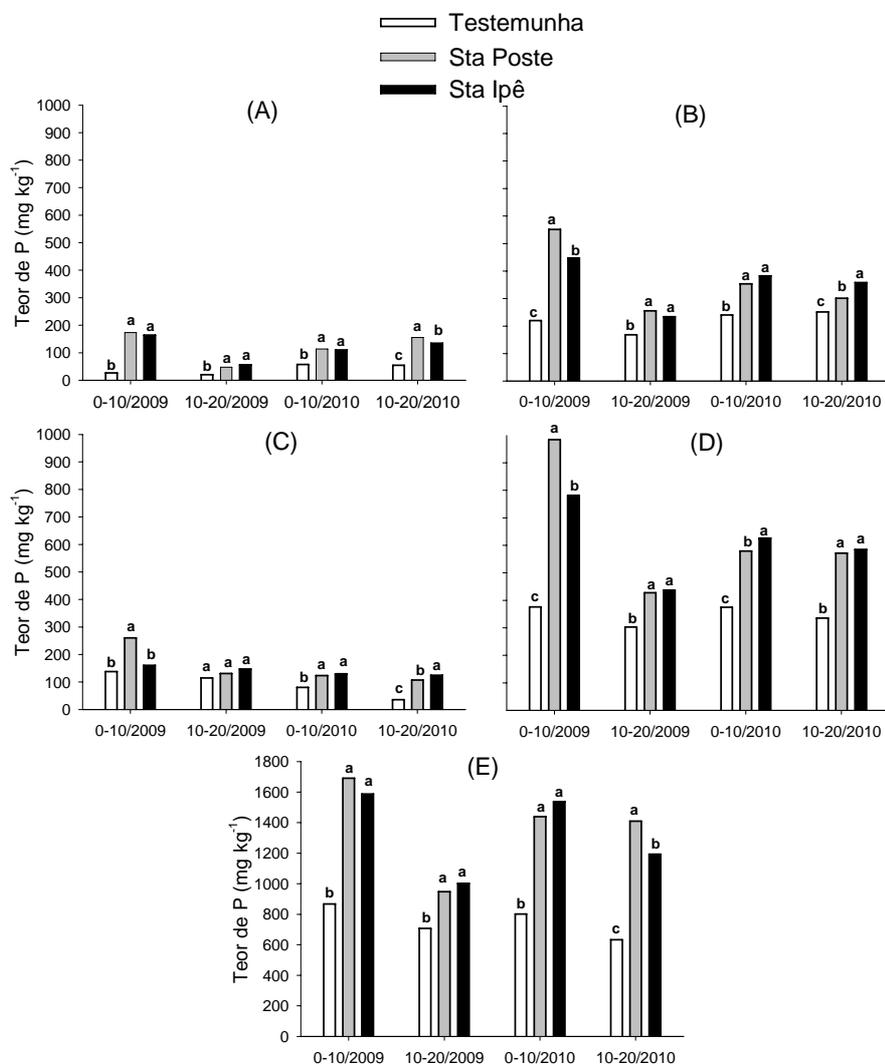


Figura 8 Teores de fósforo lábil (A), moderadamente lábil (B), pouco lábil (C), biodisponível (D) e total recuperado (E) no solo em áreas comerciais sob estudo num PV do Sul de Minas cultivado com cafeeiros em sequeiro

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

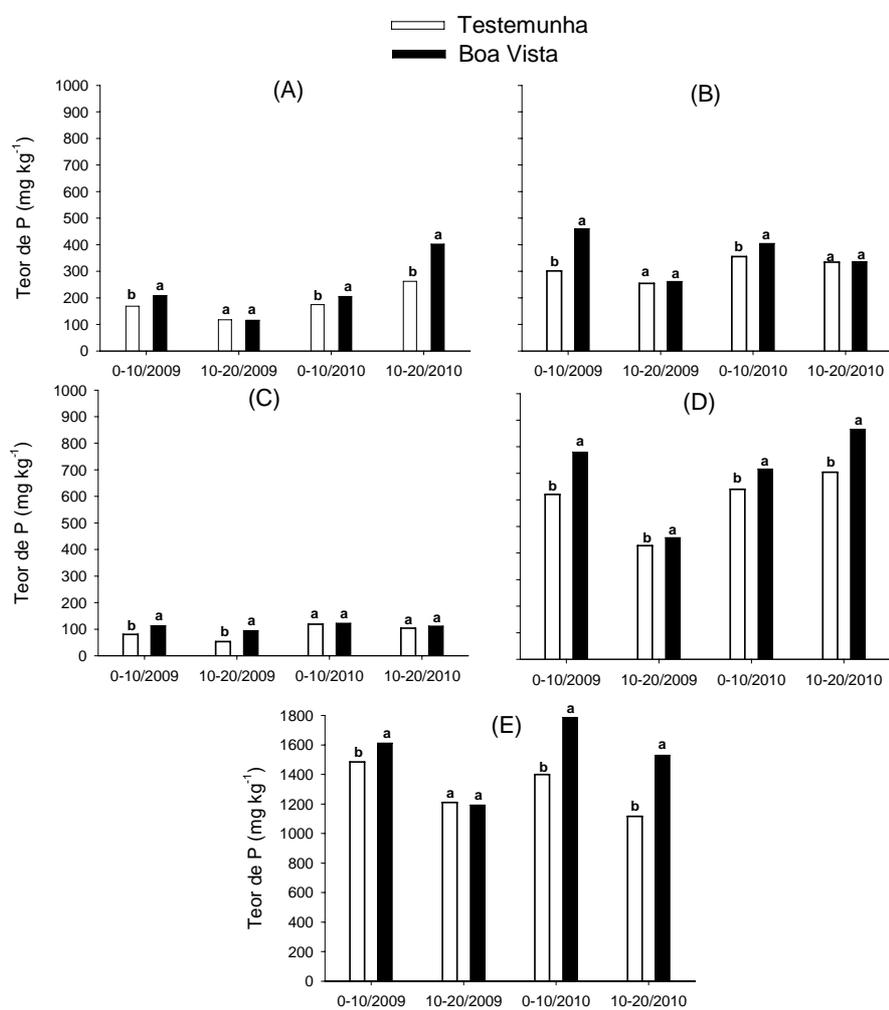


Figura 9 Teores de fósforo lábil (A), moderadamente lábil (B), pouco lábil (C), biodisponível (D) e total recuperado (E) no solo em áreas comerciais sob estudo num PVA do Sul de Minas cultivado com cafeeiros em sequeiro

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

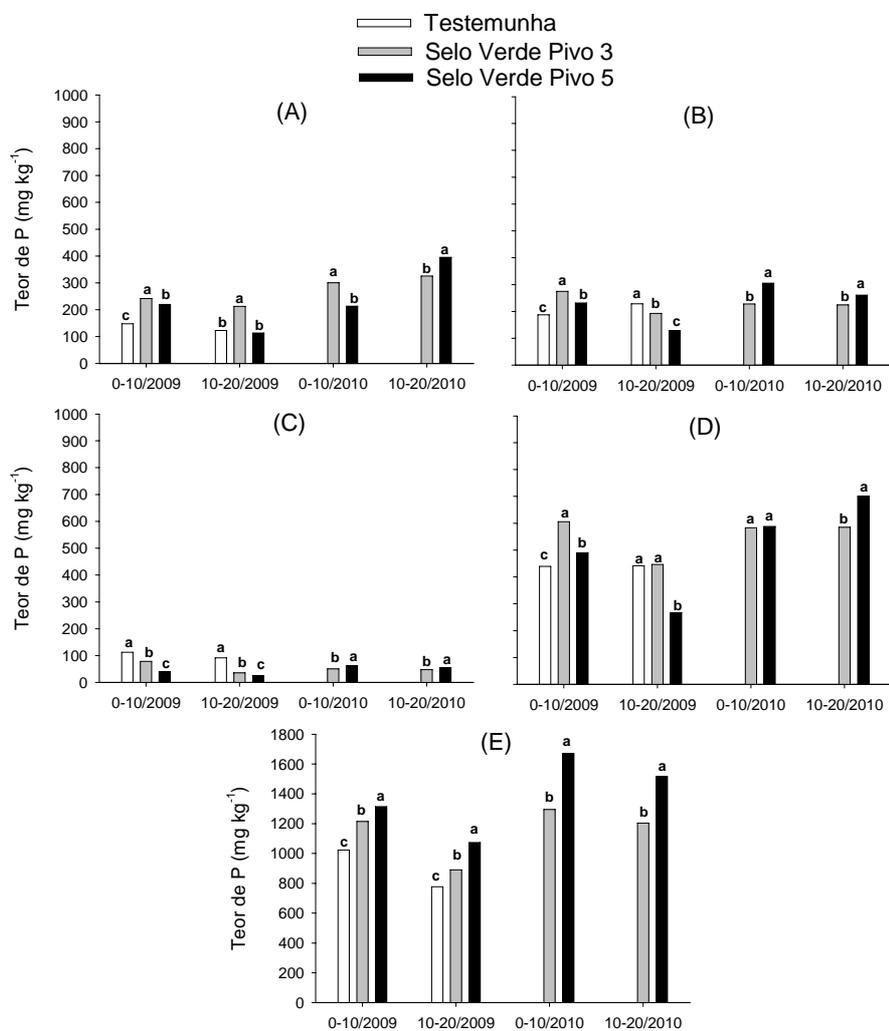


Figura 10 Teores de fósforo lábil (A), moderadamente lábil (B), pouco lábil (C), biodisponível (D) e total recuperado no solo (E) em áreas comerciais sob estudo num LVA do Oeste da Bahia cultivado com cafeeiros irrigados

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

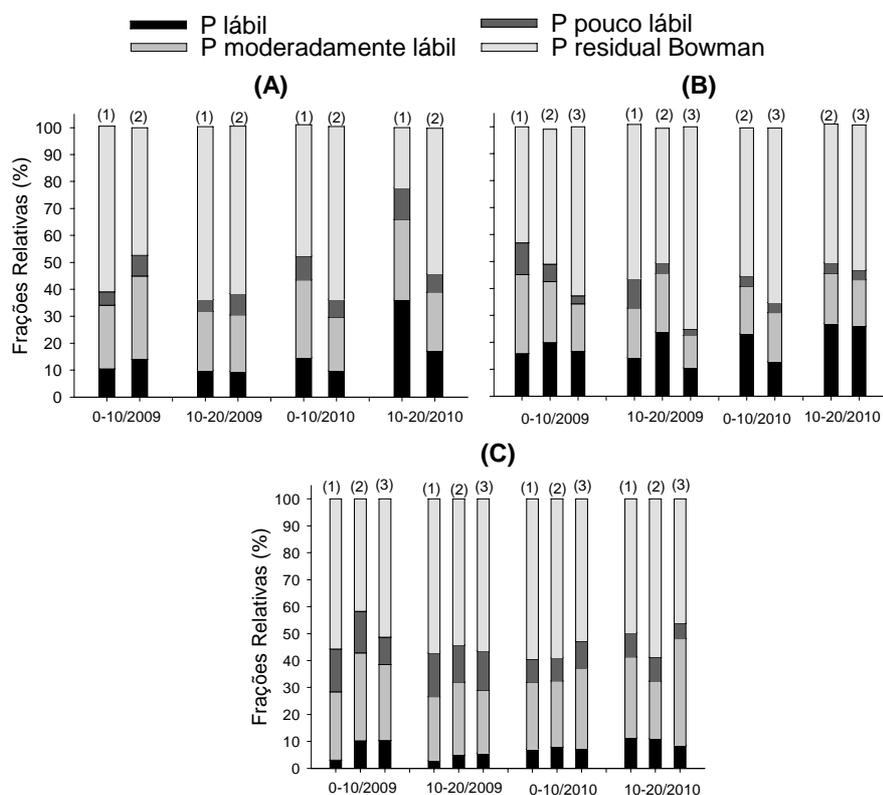


Figura 11 Frações fosfatadas lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e residuais relativas ao P total recuperado no solo. (A) Áreas comerciais de estudo num PVA sob sequeiro, Sul de Minas Gerais – (1-Testemunha; 2-Boa Vista); (B) Áreas comerciais de estudo num LVA irrigado, Oeste da Bahia – (1-Testemunha; 2-Selo Verde Pivô 3; 3-Selo Verde Pivô 5); (C) Áreas comerciais de estudo num PV sob sequeiro, sul de Minas Gerais – (1-Testemunha; 2-Poste; 3-Ipê)

Os teores de P-moderadamente lábil foram os mais expressivos entre as frações obtidas apenas para o PV textura argilosa (Figuras 8B e 11). Ao analisar essa fração para os solos de textura média, a mesma é pouco maior que a fração P-lábil no PVA (Figuras 8B e 11) e semelhante ou até menor que P-lábil no LVA (Figuras 9B e 11). Solos com maiores teores de argila normalmente

também possuem maior quantidade de óxidos de Fe e de Al os quais estão relacionados ao P dessa fração, ou seja, tais solos também possuem um maior reservatório do nutriente, mas dificultam sua liberação para as plantas pois apresentam menor fator intensidade de P (NOVAIS; SMITH, 1999; MOTTA et al., 2002).

Os teores de P pouco lábil foram baixos em todas as lavouras das áreas estudadas (Figuras 7C, 8C e 9C) e tiveram pouca expressão em relação às demais frações exceto na área mais argilosa (Figura 11). Resultados semelhantes com essa fração de P em Latossolos com histórico de plantio direto e diferentes cultivos foram obtidos por Carneiro et al. (2011).

Embora os teores de P biodisponível e P total recuperado por Bowman (1989) tenham sido maiores nas áreas sob maior adubação fosfatada anual (Figuras 8, 9 e 10), quando foi realizada a obtenção do P residual nos diferentes tipos de solos, o mesmo manteve-se numa proporção alta quando comparado às frações ainda disponíveis para as plantas (Figura 11). Cabe aqui comentar que essas áreas vem recebendo maior quantidade de fertilizante fosfatado por menos tempo que o LVd de Planaltina, logo os sítios de adsorção do nutriente ainda não estão tão saturados quando aos daquele local.

4 CONCLUSÕES

O fracionamento de P no solo mostrou ser uma ferramenta importante para o entendimento da dinâmica do nutriente em solos sob elevada adubação fosfatada anual.

As frações de P lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e total exibiram maiores teores em função do maior aporte do nutriente aplicado anualmente ao solo.

A fração P moderadamente lábil foi mais expressiva que as demais nos solos com maior teor de argila.

A maior parte do nutriente aplicado ao solo permanece como uma reserva com alguma labilidade, ainda disponível para os cultivos sucessivos.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L.R.F. et al. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, J. W. V. E., ALLEONI, L. R. F. (Ed). **Química e mineralogia do solo: Parte II - Aplicações**. Viçosa, SBCS, 2009. p. 381-448, 2009.

ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, J. W. V. E., ALLEONI, L. R. F. (Ed). **Química e mineralogia do solo: Parte II - Aplicações**. Viçosa, SBCS, 2009. p. 69-130, 2009.

ANTUNES, F. Z.. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, Jan. 1986.

ARAÚJO, M. S.; SALCEDO, I. H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 643-650, 1997.

BHADORIA, P. S. et al. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. **Plant and Soil**, v. 262, p. 327-336, 2004.

BOWMAN, R. A.. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n.2, p. 362-366, Mar./Apr. 1989.

CARNEIRO, L. F. et al. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 483-491, 2011.

CASTRO, K. B. et al. Caracterização geomorfológica do município de Luis Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, Escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 32p.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade de Solo do Estado De Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª** Aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 289-302.

CONTE, E.; ANGHINONI, I; RHEINHEIMER, D. S.. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, Set./Out. 2003.

COSTA, A. C.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: MELO, J. W. V. E. ALLEONI, L. R. F. (Ed). **Química e mineralogia do solo: Parte I – Conceitos Básicos**. Viçosa, SBCS, 2009. p. 505-572.

DIAS, K. G. L.. **Fontes e doses de fósforo para cafeeiros em produção: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. 2012. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FERNÁNDEZ R. et al. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II – Extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 6, p. 2319-2330, Nov./Dez. 2008.

FERREIRA, D. F.. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 4, p. 691-699, Jul./Ago. 2007.

GODINHO, V. P. C. et al. Adsorção de fosfatos em três solos da região semi-árida do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 819-823, 1997.

GUERRA, A.F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In.: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa: UFV, 2006. p. 83-116.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, p. 39-51, 2011.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: UR Eпамig SM, 2010. p. 343-414.

HEDLEY, M. J.; STEWARD, W. B.; CHAUHAN, B. S.. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.

LACERDA, J. J. J.. **Frações inorgânicas e disponibilidade de fósforo em Latossolos com diferentes mineralogia e histórico de uso, adubados com fosfato reativo**. 2011. 82p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARSCHNER, H.. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887p.

MOTTA, P.E.F. et al. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, Abr./Jun. 2002.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 31-36, 1962.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p (Boletim Técnico, 100).

RANNO, S. K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 21-28, 2007.

REIS, T. H. P.. **Dinâmica e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com cafeeiro em produção**. 2009. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

REIS, T. H. P. et al. Dynamics of Forms of Inorganic Phosphorus in Soil under Coffee Plants as a Function of Successive Annual Additions of the Nutrient. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, p. 980-991, 2011a.

REIS, T. H. P. et al. Soil Phosphorus Dynamics and Availability and Irrigated Coffee Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 503-512, 2011b.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, Mar./Abr. 2008.

RIVAIE, A.A. et al. Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under *Pinus radiata* plantations in New Zealand. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, p. 75–88, 2008.

ROLIM NETO, F. C. et al. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

SANTOS, J. Z. L. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em Latossolos de cerrado, com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso**. 2008. 87p. Tese (Doutorado) - Curso em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SILVA, M. A. et al. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p. 1197-1207, Out. 2003.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, A. T.. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p.147-168.

SYERS, J.K. et al. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.37, n.3, p.358-363, May/June 1973.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D.. **Efficiency of soil and fertilizers phosphorus use**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2008.

CAPÍTULO 4 Dinâmica das formas inorgânicas de fósforo em solos cultivados com cafeeiros

RESUMO

Entender o comportamento do fósforo no solo para um melhor manejo do nutriente e eficiência de utilização do mesmo pelas plantas é uma necessidade da agricultura principalmente nas regiões tropicais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica das formas inorgânicas e a sorção de P no solo associando-as a atributos de solos cultivados com cafeeiros submetidos a alta adubação fosfatada anual. O experimento foi instalado, em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), localizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, com a cultivar Rubi MG-1192 sob aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando como fonte o superfosfato triplo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Também foram acompanhadas áreas em propriedades com histórico de aplicação anual de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅; num Argissolo Vermelho típico textura argilosa e num Argissolo Vermelho Amarelo textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais sob sequeiro e num Latossolo Vermelho Amarelo textura média no Oeste Baiano sob irrigação. Nos anos de 2009 e 2010 foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm nas quais foram determinadas frações de fósforo e outras propriedades químicas dos solos. O fracionamento das formas inorgânicas de P no solo mostrou ser uma ferramenta importante para a compreensão da dinâmica do nutriente no solo. Com a aplicação de maiores doses de P houve mobilidade do P inorgânico, pois o mesmo aumentou de maneira expressiva na profundidade de 10-20 cm. Todas as formas de P inorgânico no solo aumentaram devido à adubação fosfatada anual, com predomínio das formas de P-Al, as quais controlam a disponibilidade do nutriente no solo. A magnitude das frações ocorreu na seguinte ordem P-Al > P-Fe > P-Ca. A adubação fosfatada anual em maiores doses afetou significativamente a sorção de P no solo, ocasionando diminuição da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e aumento da dessorção de P com o tempo.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., frações inorgânicas de fósforo, capacidade máxima de adsorção de fósforo.

CHAPTER 4 Inorganic soil phosphorus forms dynamics in coffee crop soils

ABSTRACT

Understanding soil phosphorus behavior for better nutrient management and use efficiency of it by plants is an agriculture necessity, especially in tropical regions. In this context, the objective of this study was to evaluate inorganic P forms dynamics and P sorption in soil associating them with attributes of soils under coffee crop submitted annually to high phosphate fertilization. The experiment was initiated in January 2001, in a very clayey typical dystrophic Red Latosol (LVd) (Oxisol), located at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, with the cultivar Rubi MG-1192 under annual different phosphorus doses application (0, 50, 100; 200 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), using triple superphosphate. The experimental design was in randomized blocks with three replications. They were also accompanied areas in properties with approximately 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ annual historic application; in a typic clayey Red Argisol (Ultisol) and in a sandy clay loam Yellow Red Argisol (Ultisol), both located in southern of Minas Gerais with no irrigation and in a sandy clay loam Yellow Red Latosol (Oxisol) under irrigation in western of Bahia. In 2009 and 2010 years, soil samples were collected at depths from 0 to 10 and 10 to 20 cm in which were determined phosphorus fractions and soil properties. Fractionation of soil inorganic P forms showed to be an important tool for understanding P dynamics in soil. With large P doses application there was inorganic P mobility, as it increased more significantly at 10-20 cm depth. All forms of soil inorganic P increased due to annual phosphate fertilization with the predominance of P-Al forms, which controlled soil P release. The fractions magnitude occurred in the following order P-Al > P-Fe > P-Ca. The annual P fertilization significantly affected soil P sorption, causing maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) decrease and P desorption increase with time.

Keywords: *Coffea arabica* L., inorganic soil phosphorus fractions, maximum phosphorus adsorption capacity.

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas difundidas no Brasil, com grande importância socioeconômica para o país, considerado o maior produtor do mundo e o segundo maior mercado consumidor do produto. Atualmente, possui uma área de aproximadamente 2,1 milhões de hectares produtivos, responsáveis por 43,5 milhões de sacas beneficiadas colhidas em 2011, ano em que participou com 8,6% das exportações do agronegócio brasileiro (CONAB, 2012). Entretanto, a cultura ainda possui uma baixa média nacional de produtividade, de 21,1 sacas de café beneficiado ha⁻¹ (safra de 2011), sendo o manejo inadequado da fertilidade do solo um dos principais motivos desse rendimento ruim (GUIMARÃES; REIS, 2010).

O fósforo é imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). Ele é constituinte de importantes compostos das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. O fósforo também é componente de nucleotídeos fundamentais para a planta armazenar e transferir energia em seus processos metabólicos (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEINGER, 2009).

Os cafeeiros foram considerados por muitos anos plantas que não respondiam a maiores adubações fosfatadas no solo em sua fase de produção uma vez que o nutriente é pouco exportado em relação aos demais macronutrientes (MALAVOLTA, 1986; GUIMARÃES; REIS, 2010). Entretanto, algumas pesquisas mostram que a cultura consegue responder a incrementos de P, principalmente nos solos oxidícos de baixa fertilidade, nas fases de implantação e também de manutenção da cultura e em anos de alta

produtividade (GUIMARÃES, 1986; MELLO et al., 2005; REIS et al., 2011b; DIAS, 2012).

É importante para a atividade cafeeira compreender-se a dinâmica das formas de P no solo quando são aplicadas maiores quantidades de fertilizantes fosfatados. Isso permitiria auxiliar o correto manejo do solo para aumentar a eficiência de utilização do nutriente pelas plantas. Sabe-se que, em solos oxidícos em sua condição natural, há maior predominância de formas de P ligadas a Fe, Al e Ca, nesta respectiva ordem de importância (RAIJ, 2004). Contudo, em solos sob cultivo, que recebem adubação fosfatada, as formas de P ligadas ao Al tendem a controlar a sua disponibilidade para as plantas (CARNEIRO, 2009; LACERDA, 2011).

As formas de P inorgânico no solo – P-Ca, P-Fe e P-Al possuem diferentes solubilidades e podem ter seu equilíbrio alterado pelo manejo do solo e da adubação fosfatada nos diferentes sistemas de produção. Assim, estudos de campo os quais possam caracterizar a variação desses compostos ao longo dos ciclos de cultivo em diferentes solos são essenciais para avaliar as principais formas disponíveis do nutriente, a resposta das culturas, o sistema de manejo e o residual dessa adubação no solo. Desta maneira, o fracionamento das formas inorgânicas de P analisado em conjunto com os teores de P-disponível torna-se uma ferramenta útil para a compreensão da dinâmica e da disponibilidade de P para as plantas, permitindo avaliar o desempenho do manejo da adubação fosfatada para os cafeeiros.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica das formas inorgânicas e a sorção de P no solo associando-as a atributos de solos cultivados com cafeeiros submetidos à adubação fosfatada anual.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura muito argilosa, localizado no município de Planaltina, DF, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa/CPAC. A área experimental está localizada nas coordenadas 15°35'42" Latitude Sul e 47°43'51" Longitude Oeste, à uma altitude de 1.009m. Segundo a classificação de Köppen, o clima do município é tropical Aw chuvoso, de inverno seco, com temperatura média anual de 23°C. O período seco varia de 5 a 6 meses (abril a setembro) e a precipitação média anual é de 1.400mm, concentrada no período de outubro a março.

Foi utilizada a cultivar Rubi MG-1192, no espaçamento de 2,8 x 0,5m, seguindo-se as recomendações de adubação de plantio conforme CFSEMG (1999). A partir da primeira florada, em 2002, iniciou-se a aplicação anual de doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na projeção da copa dos cafeeiros, utilizando como fonte o superfosfato triplo, aplicando-se 2/3 da dose em setembro, antes do retorno das irrigações (após período de estresse hídrico), e 1/3 entre o final de dezembro e início de janeiro. Foi mantida a mesma adubação de produção para os demais nutrientes, aplicando-se anualmente 500 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 500 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de FTE BR10 (Zn=7%; B=2,5%; Cu=1%; Fe=4%; Mn=4%; Mo=0,1%; Co=0,1%) para suprimento de micronutrientes. O N e o K foram parcelados em 4 aplicações de setembro a fevereiro e os tratamentos fitossanitários, quando necessários, foram iguais para todas as parcelas.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em que as parcelas foram constituídas de três linhas de plantio com 10 plantas cada, sendo as oito plantas da linha central consideradas úteis e ambas as linhas laterais bordaduras. A área foi irrigada por pivô central, num regime de

estresse hídrico moderado conforme GUERRA et al. (2006) para sincronização do desenvolvimento de gemas reprodutivas e uniformização da florada.

Em 2005, as plantas do experimento foram podadas, sofrendo um esqueletamento a 0,4m do ramo ortotrópico e um decote a 1,5m de altura. Nas parcelas experimentais, no ano de 2009, foram coletadas amostras de solo em duas profundidades, 0 a 10 e 10 a 20 cm, antes das adubações para o ano agrícola 2009/2010. Para cada profundidade foram retiradas amostras compostas em pontos diferentes, respeitando-se, assim, a independência das camadas. No ano de 2010, por ocasião da colheita, retiraram-se novamente amostras compostas nas parcelas, seguindo-se os mesmos procedimentos do ano anterior.

Também foram acompanhadas três lavouras em áreas com histórico de aplicação de aproximadamente 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 por três anos consecutivos. Duas delas de sequeiro, sendo uma sob um Argissolo Vermelho típico (PVD) textura argilosa, e uma sob um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura média, localizadas no Sul de Minas Gerais, município de Cabo Verde, nas propriedades Santo Antônio e Boa Vista, respectivamente. A outra lavoura em área, sob irrigação por pivô, num Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura média localizada no Oeste da Bahia, município de Luis Eduardo Magalhães, na propriedade Cafeeira Selo Verde. Nestas localidades também foram amostradas lavouras adjacentes com histórico de manejo convencional da adubação fosfatada (RAIJ et al., 1997; CFSEMG, 1999) e áreas de solo semelhante sob vegetação nativa. Foi delimitada uma área de amostragem dentro de todos os talhões das áreas de lavouras em estudo fazendo-se coletas sempre com quatro repetições.

No Sul de Minas, na área em lavoura sobre PVD, foram amostrados dois talhões sob doses elevadas de adubação fosfatada, Ipê e Poste, sendo que este último não recebeu P de 2008 para 2009. Também foi amostrada uma área em lavoura adjacente sob adubação convencional denominada testemunha. Já na

lavoura da área do PVA foram amostrados dois talhões, um utilizando doses elevadas de adubação fosfatada e outro sob adubação convencional denominados Boa Vista e Testemunha, respectivamente.

No Oeste da Bahia, em uma área em lavoura localizada num LVA, foram amostrados inicialmente três talhões, sendo dois utilizando doses elevadas de adubação fosfatada anual e um sob adubação convencional, denominados Selo Verde P3, Selo Verde P5 e Testemunha. Como a lavoura do talhão testemunha foi podada de 2009 para 2010, realizou-se coleta das amostras de solo apenas em 2009.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Cabo Verde onde as lavouras em áreas do Sul de Minas estão localizadas, apresenta clima tipo Cwb temperado chuvoso ou subtropical de altitude, com temperatura média anual de 18,2°C e precipitação média anual de 1.600 mm (ANTUNES, 1986). Já o município de Luis Eduardo Magalhães, local onde se encontra outra lavoura em área de acompanhamento e estudo, no Oeste da Bahia, apresenta clima tipo BSh quente e seco com chuvas de inverno, com temperatura média anual de aproximadamente 26°C e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm; o período chuvoso da região é bem definido ocorrendo de outubro a março e período seco de abril a setembro (CASTRO et al., 2010).

Todas as lavouras acompanhadas sob maior adubação fosfatada anual apresentavam maiores médias de produtividade que aquelas adjacentes, sendo assim, neste acompanhamento procurou-se ater ao estudo de fatores relacionados à química e fertilidade do solo os quais poderiam explicar essa maior produção e, portanto, não foi mensurada a produtividade dessas áreas.

Para a caracterização química de rotina dos diferentes tipos de solo (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H + Al, P, P-remanescente, carbono orgânico) (EMBRAPA, 2009), amostras compostas foram coletadas em área sob vegetação nativa adjacente, secas ao ar e passadas em peneira de malha 2mm. Os teores de

óxidos de fósforo (P_2O_5) foram obtidos pelo ataque sulfúrico por digestão ácida e a análise física granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2009). A capacidade máxima de adsorção de P (CMAF) foi determinada conforme SYERS et al. (1973).

A disponibilidade de P foi avaliada pelos extratores de Mehlich-1 (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e resina de troca iônica (EMBRAPA, 2009). Também foram determinadas frações de P segundo Chang e Jackson (1957). Nesse fracionamento, foram separadas as formas de P ligadas a Al (P-Al), extraídas com NH_4F $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,2; P ligado a Fe (P-Fe), extraído com $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e P ligado a Ca (P-Ca), extraído com H_2SO_4 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 1). Após cada extração, o solo residual foi centrifugado duas vezes com $NaCl$ saturado (360 g L^{-1} $NaCl$), descartando-se o sobrenadante. O P foi determinado por espectroscopia de absorção molecular (colorimetria) em todos os extratos (MURPHY; RILEY, 1962).

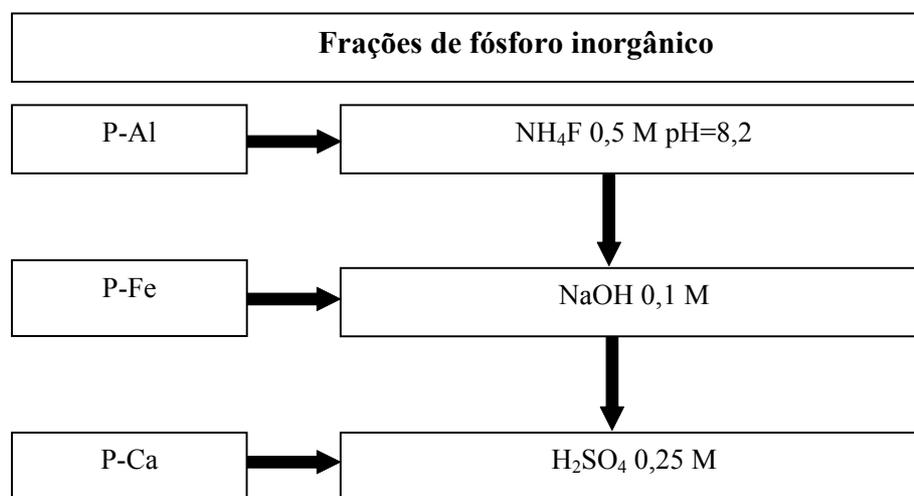


Figura 1 Esquema simplificado da extração de frações de fósforo inorgânico, conforme Chang & Jackson (1957)

Para a realização do estudo de sorção de P foram utilizadas amostras de solo da profundidade 0-10 cm, coletadas antes das adubações anuais nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010. Pesou-se 0,30 g de TFSA, adicionando-se soluções de P (0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0 e 46,5 mg L⁻¹) preparadas em NaCl 15 mmol L⁻¹ sendo o pH das mesmas ajustado para 5,5 por meio da adição de solução de HCl e NaOH 10 mmol L⁻¹. A relação solo:solução final foi de 1:100 e o tempo de contato foi de 72 horas, alternando-se 12 horas de agitação e 12 horas de repouso. Posteriormente, a suspensão foi submetida à centrifugação (2000 rpm) e o sobrenadante foi retirado para leitura utilizando-se solução sulfomolibdica (SYERS et al., 1973; RAJAN; FOX, 1975). A dessorção foi conduzida em solução de fundo de NaCl com a mesma força iônica e metodologia citada anteriormente. A quantidade de adsorbato por unidade de adsorvente (x/m) foi ajustada pelo modelo de Langmuir (1). A capacidade máxima de adsorção de P (CMAF) (b) foi calculada por meio da equação de Langmuir linearizada (2).

$$\frac{x}{m} = \frac{K_b C b}{1 + (K_b C)} \quad (1)$$

$$\frac{C}{\frac{x}{m}} = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{b} C \quad (2)$$

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média para avaliar a diferença entre os tratamentos. Também foram ajustadas equações de regressão para as diferentes formas de P e para a CMAF como variáveis dependentes da adubação fosfatada anual, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos solos

Foi realizada uma caracterização físico-química completa dos quatro tipos de solos nas profundidades estudadas neste trabalho (Tabela 1). Observa-se de uma maneira geral que os solos com maior teor de argila apresentavam naturalmente menores teores de P-remanescente e maior percentagem de formas de P ligadas a ferro (P-Fe). Esses resultados são coerentes e convergem com as observações de alguns trabalhos realizados em diferentes tipos de solos e ambientes (MOTTA et al., 2002; CARNEIRO, 2009; LACERDA, 2011; REIS et al., 2011a).

Também de uma maneira geral, não houve uma diferença expressiva da percentagem das formas de P inorgânico entre as profundidades avaliadas nos diferentes tipos de solo, exceto no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) textura média. Neste solo, na profundidade 0-10 cm, ocorreram maiores valores de P-Fe e equilíbrio entre P-Al e P-Ca; na profundidade 10-20 cm, houve equilíbrio entre P-Fe e P-Al, as quais foram maiores que P-Ca.

O Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura média foi o solo que naturalmente apresentou a maior participação de P-Ca entre os demais. Isso possivelmente ocorreu uma vez que os valores de pH e Ca deste solo apresentaram-se maiores que os demais, possibilitando o predomínio de tais formas (LINDSAY, 1979; GUIMARÃES; REIS, 2010).

Os solos argilosos apresentaram maior capacidade máxima de adsorção de fósforo uma vez que naturalmente possuem maior quantidade de sítios de adsorção do nutriente (RANNO et al., 2007) e também mostraram baixos teores de P remanescente em relação àqueles de textura média. Contudo os quatro solos

em sua condição natural mostraram-se pobres em P disponível pelos métodos de rotina, Mehlich-1 e Resina de troca iônica.

Os resultados das análises químicas dos quatro solos nos dois anos do estudo também podem ser observados nas tabelas 2, 3, 4, 5 e 6. Nota-se que o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) não tem recebido calagem conforme necessidade dos cafeeiros ($V \approx 60\%$) (Tabelas 2 e 3) (RAIJ et al., 1997; CFSEMG, 1999; CORRÊA et al., 2007). Os teores das bases trocáveis no solo bem como a saturação por bases ($V\%$) apresentaram-se baixos ou muito baixos para as plantas conseguirem sustentar altas produtividades. Os teores de Al trocável deste solo ($\approx 1,4 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$) também se apresentaram inadequados para o desenvolvimento ideal das plantas de cafeeiros (CFSEMG, 1999).

Com relação à área de lavoura em estudo localizada no Argissolo Vermelho Distrófico (PVd), observa-se maiores teores de K, em todos os talhões, e incrementos em Ca, Mg e pH bem como redução de Al trocável em 2010, característico dos efeitos da prática da calagem realizada nos diferentes talhões da área (Tabela 4). Os talhões que receberam maior adubação fosfatada anual, Poste e Ipê, também foram aqueles que apresentaram os maiores valores de saturação por bases, coerentemente adequadas à manutenção de boas produtividades (CFSEMG, 1999).

Na área de estudo do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), observou-se de uma maneira geral, baixos teores de Ca e Mg bem como baixos valores de pH, exceto o talhão testemunha em 2009, o qual recebeu calagem no ciclo de cultivo anterior à coleta das amostras (Tabela 5). Nessa área de estudo, houve uma queda muito acentuada de K trocável de um ano para o outro, nos talhões de maior adubação fosfatada amostrados, devido além da extração das plantas, ao processo de lixiviação deste nutriente neste tipo de solo com topografia plana, textura média e baixa CTC.

Na área de lavoura em estudo localizada sobre o Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) geralmente observa-se valores de pH baixos, teores de Ca e Mg também baixos e teores de Al inadequados nas amostras coletadas em 2009 mas, durante o ciclo de cultivo 2009/2010; ambas as áreas receberam a prática da calagem (Tabela 6). Contudo, os valores de saturação por bases dos talhões em 2010 ainda não se apresentaram dentro da faixa considerada adequada pela literatura, entre 50 e 60% (CFSEMG, 1999; CORRÊA et al., 2007).

Tabela 1 Atributos físico-químicos de amostras dos solos sob áreas nativas, próximas às áreas cultivadas

Atributos do solo	LVd		PVd		PVA		LVA	
	Profundidades (cm)							
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
pH (água)	4,9	4,8	4,8	5,0	5,4	5,2	4,7	4,9
K (mg dm ⁻³)	39	27	28	19	119	57	14	11
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,2	0,1	0,1	1,7	1,2	0,1	0,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,1	0,1	0,1	1,2	0,7	0,1	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,4	1,5	1,9	1,6	0,4	0,8	0,8	0,8
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	11,0	11,0	10,1	5,2	4,2	4,7	4,3	3,6
m (%)	64	80	85	86	11	29	78	78
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	40	34	25	25	20	14	1,4	1,1
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	2,0	1,2	1,1	1,2	1,0	1,1	1,3	1,2
P-resina (mg dm ⁻³)	5,9	4,0	6,8	7,2	10,2	8,5	2,7	5,8
P-remanescente (mg kg ⁻¹)	13,7	12,8	10,8	9,4	35,4	34,6	47,8	44,5
P-Al (%)	15,5	16,2	13,2	11,9	15,3	23,0	27,0	39,4
P-Fe (%)	73,0	72,6	67,9	68,7	59,2	51,9	49,1	39,6
P-Ca (%)	11,5	11,2	18,9	19,4	25,5	25,2	23,9	21,0
Areia (g kg ⁻¹)	180	180	240	240	490	510	760	740
Silte (g kg ⁻¹)	140	140	150	100	240	200	000	010
Argila (g kg ⁻¹)	680	680	610	660	270	290	240	250
CMAF (mg kg ⁻¹)	1185	1187	914	911	285	286	174	175
P ₂ O ₅ “total” (g kg ⁻¹)	0,5	0,4	1,5	1,4	0,1	0,1	0,1	0,1

m (%) = saturação por Al na CTC efetiva do solo; CMAF = Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo

Tabela 2 Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de Planaltina, DF, submetido a adubação fosfatada anual, em amostras coletadas em 2009

Atributos do solo	Tratamentos (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)									
	0		50		100		200		400	
	Profundidades (cm)									
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
pH (água)	5,0	5,0	5,2	5,0	5,1	4,9	4,8	4,8	4,9	4,9
K (mg dm ⁻³)	65,7	61,3	100,0	70,3	107,7	59,7	66,3	41,7	94,0	66,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,1	0,7	0,3	0,9	0,2	1,2	0,3	1,4	0,5
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1,5	1,4	1,6	1,0	1,5
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	11,5	11,9	11,9	10,4	10,6	10,2	13,8	12,3	12,3	11,1
T (cmol _c dm ⁻³)	12,5	12,3	13,1	11,0	12,1	10,7	15,4	12,9	14,3	11,9
V (%)	8,2	2,9	9,1	6,2	12,2	4,5	10,8	4,5	13,7	6,6
m (%)	61,3	82,0	55,0	67,0	46,7	75,7	47,0	74,0	36,3	66,3
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	32	26	34	27	33	24	34	26	31	26
P-remanescente (mg L ⁻¹)	10,2	7,2	11,0	7,7	12,8	9,0	18,8	9,5	20,9	9,7

Tabela 3 Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de Planaltina, DF, submetido a adubação fosfatada anual, em amostras coletadas em 2010

Atributos do solo	Tratamentos (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)									
	0		50		100		200		400	
	Profundidades (cm)									
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
pH (água)	4,9	4,8	4,9	4,9	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8
K (mg dm ⁻³)	92,0	85,8	107,1	71,8	84,2	79,0	76,4	70,7	87,4	98,3
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3	1,1	0,6	0,8	0,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,4	1,2	1,5	1,2	1,3
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	12,3	11,8	11,9	11,9	11,8	11,5	12,4	12,3	11,0	11,0
T (cmol _c dm ⁻³)	13,0	12,4	12,7	12,5	12,5	12,1	13,9	13,2	12,3	12,0
V (%)	5,4	4,4	6,7	4,5	5,5	5,2	11,2	6,8	10,2	8,5
m (%)	69,1	73,2	64,7	72,7	69,3	69,5	47,3	62,7	48,3	55,6
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	32	30	35	31	30	27	39	31	30	32
P-remanescente (mg L ⁻¹)	16,4	12,0	17,5	12,2	16,7	14,6	29,2	15,9	29,5	19,4

Tabela 4 Atributos químicos de um Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd) de Cabo Verde, MG, em talhões com distinto manejo da adubação fosfatada

Atributos do solo	Talhões											
	2009						2010					
	Testemunha		Poste		Ipê		Testemunha		Poste		Ipê	
	Profundidades (cm)											
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
pH (água)	5,1	5,0	5,5	5,2	5,3	4,9	5,3	5,0	5,9	5,6	5,5	5,5
K (mg dm ⁻³)	260,0	140,5	296,5	274,5	276,3	230,5	206,7	158,7	179,4	157,2	206,7	179,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,2	0,3	4,5	2,5	5,2	2,0	1,8	1,3	4,2	3,1	4,3	3,8
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,2	1,3	0,9	1,9	0,7	0,9	0,6	1,5	1,0	1,5	1,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,1	2,1	0,1	0,4	0,2	1,0	0,7	1,2	0,1	0,2	0,2	0,2
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,7	8,9	4,1	4,6	4,9	3,8	7,2	9,4	4,0	4,9	5,1	4,8
T (cmol _c dm ⁻³)	9,1	9,8	10,6	8,6	12,6	7,1	10,4	11,6	10,2	9,4	11,4	10,3
V (%)	27,2	12,8	62,2	47,0	62,6	47,0	31,4	19,4	60,0	47,4	55,6	53,3
m (%)	32,0	69,8	1,5	9,0	3,8	24,0	18,9	36,0	0,9	4,2	2,7	4,1
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	20	16	33	19	32	20	23	23	28	25	30	26
P-remanescente (mg L ⁻¹)	24,4	19,4	42,7	32,9	38,2	32,2	31,4	25,8	42,3	37,9	39,2	39,3

Tabela 5 Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Luis Eduardo Magalhães, BA, em talhões com distinto manejo da adubação fosfatada

Atributos do solo	Talhões											
	2009						2010					
	Testemunha		SV Pivô 3		SV Pivô 5		Testemunha		SV Pivô 3		SV Pivô 5	
	Profundidades (cm)											
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
pH (água)	6,2	5,5	5,0	4,4	5,4	4,6	-	-	4,5	4,5	4,4	4,2
K (mg dm ⁻³)	169,0	113,0	118,0	69,5	143,3	49,8	-	-	46,8	43,7	52,7	58,5
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,8	0,9	1,2	0,4	1,3	0,4	-	-	1,0	0,6	1,0	0,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,9	0,5	0,8	0,2	1,0	0,3	-	-	0,5	0,3	0,5	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,3	0,3	0,7	0,1	0,6	-	-	0,5	0,5	0,4	0,5
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,0	2,5	4,5	4,8	3,3	5,0	-	-	4,6	4,7	4,5	5,0
T (cmol _c dm ⁻³)	5,1	4,2	6,7	5,6	6,0	5,8	-	-	6,2	5,7	6,1	6,1
V (%)	60,7	39,8	32,8	14,8	44,8	14,4	-	-	25,5	18,3	25,5	16,9
m (%)	0,0	15,3	11,0	45,5	4,5	41,8	-	-	22,5	34,2	21,1	34,0
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	15	11	14	11	13	11	-	-	13	12	11	11
P-remanescente (mg L ⁻¹)	49,0	48,6	56,2	53,2	51,2	50,5	-	-	*	*	*	*

SV = Cafeeira Selo Verde. * Fora do limite de detecção

Tabela 6 Atributos químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) de Cabo Verde, MG, em talhões com distinto manejo da adubação fosfatada

Atributos do solo	Talhões							
	2009				2010			
	Testemunha		Boa Vista		Testemunha		Boa Vista	
	Profundidades (cm)							
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
pH (água)	4,9	4,8	5,1	5,1	5,4	5,3	5,0	4,7
K (mg dm ⁻³)	106,5	80,0	148,8	146,5	196,6	149,4	158,0	148,2
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,3	1,5	1,8	1,0	3,1	2,7	2,7	2,3
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,4	0,8	0,5	0,8	0,7	0,9	0,7
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,9	1,5	1,3	1,7	0,2	0,4	0,7	1,2
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	8,6	7,9	7,1	7,7	5,4	5,5	7,7	9,4
T (cmol _c dm ⁻³)	11,7	10,0	10,1	9,6	9,8	9,3	11,8	12,7
V (%)	26,6	20,5	29,6	21,1	45,6	41,6	35,2	26,9
m (%)	23,8	42,3	31,5	48,0	4,0	10,4	16,2	27,1
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	22	15	20	14	23	19	21	21
P-remanescente (mg L ⁻¹)	47,6	42,8	41,2	37,2	52,5	51,7	45,8	41,5

3.2 Formas de Fósforo no Solo: Experimento localizado em Planaltina-DF

Observou-se um comportamento semelhante quanto aos teores de P obtidos pelos extratores de rotina (Figura 2) e aqueles obtidos pelo fracionamento (Tabela 7), os quais apresentaram aumentos em função do acréscimo anual de fertilizante fosfatado aplicado no período avaliado. À medida que se aumentaram as doses de P no solo, nota-se que todas as frações inorgânicas do nutriente aumentaram, de modo mais expressivo o P-Al, seguido do P-Fe e, posteriormente, o P-Ca em ambas as profundidades avaliadas. Pode-se também observar um comportamento linear de incremento dos teores de P devido aos acréscimos anuais de fosfato no solo para os extratores Mehlich-1 e resina de troca iônica.

Os maiores teores de P-disponível foram obtidos na profundidade de 0 a 10 cm, nos dois anos avaliados, coerentemente com a baixa mobilidade do nutriente, uma vez que os fertilizantes são aplicados sobre o solo sob a projeção da copa das plantas, sem incorporação (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Contudo, os teores de P de 10 a 20 cm, também sofreram acréscimos em seus valores principalmente nas maiores doses aplicadas anualmente (Figura 2) indicando que os sítios de adsorção do nutriente na superfície do solo possivelmente estão em alto grau de saturação permitindo ao nutriente certa mobilidade no perfil do solo até esta profundidade (RIVAIE et al., 2008; COSTA et al., 2009; REIS et al., 2011a,b).

Neste contexto, os teores de P da profundidade 10-20 cm obtidos pelo fracionamento de Chang e Jackson (1957) apresentaram um incremento muito acentuado de 2009 para 2010 em todas as formas avaliadas (Tabela 7) mesmo após produtividade expressiva obtida pelos cafeeiros do ensaio na safra 2009 (Capítulo II). As formas de P ligadas ao Al foram aquelas que sofreram maior incremento seguidas daquelas ligadas à Fe e Ca, que sofreram um aumento

proporcional similar, mantido a sequência de importância P-Al > P-Fe > P-Ca corroborando resultados de outros estudos (CARNEIRO, 2009; LACERDA, 2011; REIS et al., 2011a).

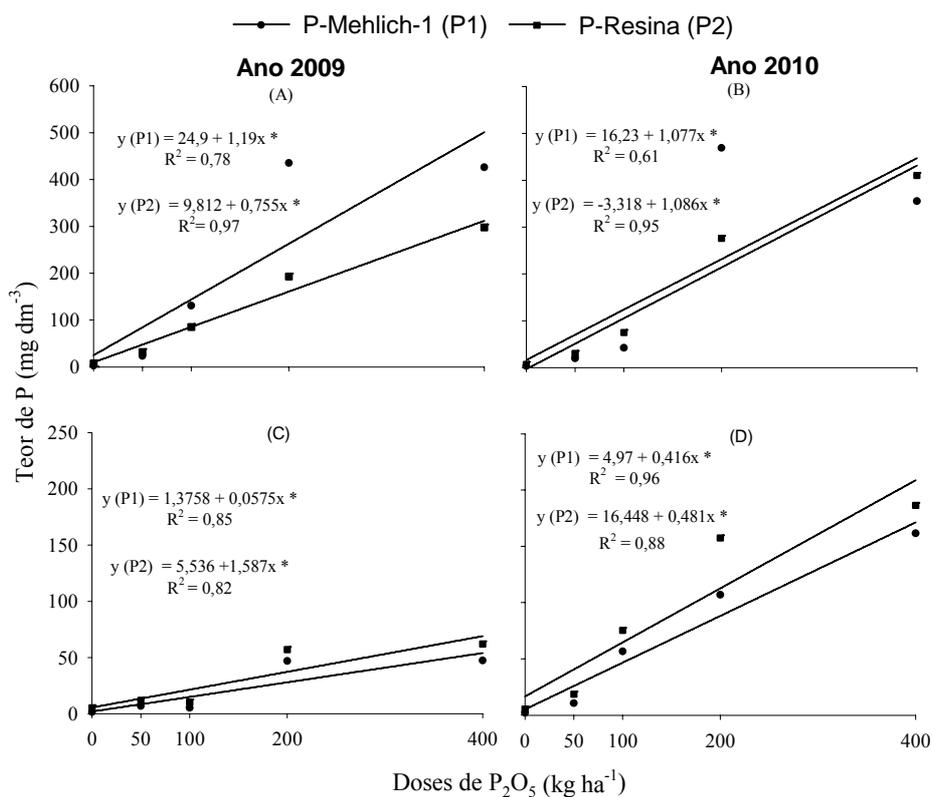


Figura 2 Teores de fósforo disponível num LVD de Planaltina pelos extratores Mehlich-1 e Resina de troca iônica, nos anos de 2009 e 2010, em função da adubação fosfatada anual (A e B = profundidade de 0-10 cm; C e D = profundidade de 10-20 cm)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%

Tabela 7 Teores de P-Al, P-Fe e P-Ca determinados nos anos de 2009 e 2010 em amostras de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de Planaltina, DF, submetido a adubação fosfatada anual

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Ano 2009		Ano 2010		Diferença entre 2010 e 2009*	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	P-Al (mg kg⁻¹)					
0	25,7	13,6	33,9	26,1	8,2 (32%) **	12,5 (92%)
50	168,4	47,0	149,6	113,1	-18,8 (-11%)	66,2 (141%)
100	357,7	60,5	214,3	214,6	-143,5 (-40%)	154,0 (255%)
200	637,0	121,1	1129,3	553,0	492,3 (77%)	431,9 (357%)
400	929,7	154,5	1206,1	568,7	276,4 (30%)	414,3 (268%)
	P-Fe (mg kg⁻¹)					
0	57,7	52,5	78,4	65,8	20,7 (36%)	13,2 (25%)
50	138,6	81,8	144,2	105,4	5,6 (4%)	23,6 (29%)
100	178,3	97,1	177,0	162,0	-1,4 (-1%)	64,9 (67%)
200	275,4	141,5	380,4	216,2	105,0 (38%)	74,7 (53%)
400	337,1	162,1	339,2	236,4	2,1 (1%)	74,3 (46%)
	P-Ca (mg kg⁻¹)					
0	17,0	12,5	18,1	13,2	1,2 (7%)	0,7 (5%)
50	23,1	17,3	27,0	24,6	4,0 (17%)	7,3 (42%)
100	40,1	16,7	27,7	30,7	-12,3 (-31%)	14,0 (84%)
200	75,9	24,8	98,0	42,1	22,1 (29%)	17,4 (70%)
400	79,4	26,9	83,0	40,1	3,6 (5%)	13,2 (49%)

* Os valores dessas colunas foram obtidos pela diferença entre os teores do ano 2010 e 2009

** % da diferença do ano de 2010 em relação ao ano de 2009

Analisando-se os resultados obtidos pelo fracionamento do P inorgânico, quando não ocorreu a adição de P no solo (dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅), observa-se que a maior parte do nutriente está complexada com Fe, prevalecendo a ordem P-Fe > P-Al > P-Ca, nas duas profundidades avaliadas no período do estudo (Tabela 7 e Figura 3). Esses resultados corroboram aqueles normalmente obtidos nos solos oxídicos brasileiros (SILVA et al., 2003; MOTTA et al., 2002; RAIJ, 2004), refletindo o estágio avançado de intemperismo em que estes se encontram (MACHADO; BRAUNER; VIANNA, 1993).

Observou-se, com relação aos valores relativos de P no solo, na profundidade de 0 a 10 cm, nos dois anos avaliados, que a proporção de P-Fe foi maior que a de P-Al até a dose estimada de 46,7 e 61,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente nos anos 2009 e 2010, quando elas se igualaram próximo a 45% de contribuição com o P inorgânico total (Figuras 3A e 3B). A partir daí, os compostos fosfatados de Al controlam a disponibilidade de P, uma vez que os teores relativos de P-Al aumentam em detrimento daqueles de P-Fe. Na profundidade de 10-20 cm houve comportamento semelhante, quando a proporção de P-Fe foi maior que a de P-Al até a dose estimada de 299,0 e 63,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente nos anos 2009 e 2010, quando elas se igualaram próximo a 46% de contribuição com o P inorgânico total (Figuras 3C e 3D). Esses resultados confirmam aqueles obtidos por Reis et al. (2011a) que encontraram pontos de equilíbrio entre as frações P-Al e P-Fe na profundidade de 0-10 cm e mostraram haver tendência de um ponto de equilíbrio também de 10-20 cm, num período anterior ao deste estudo.

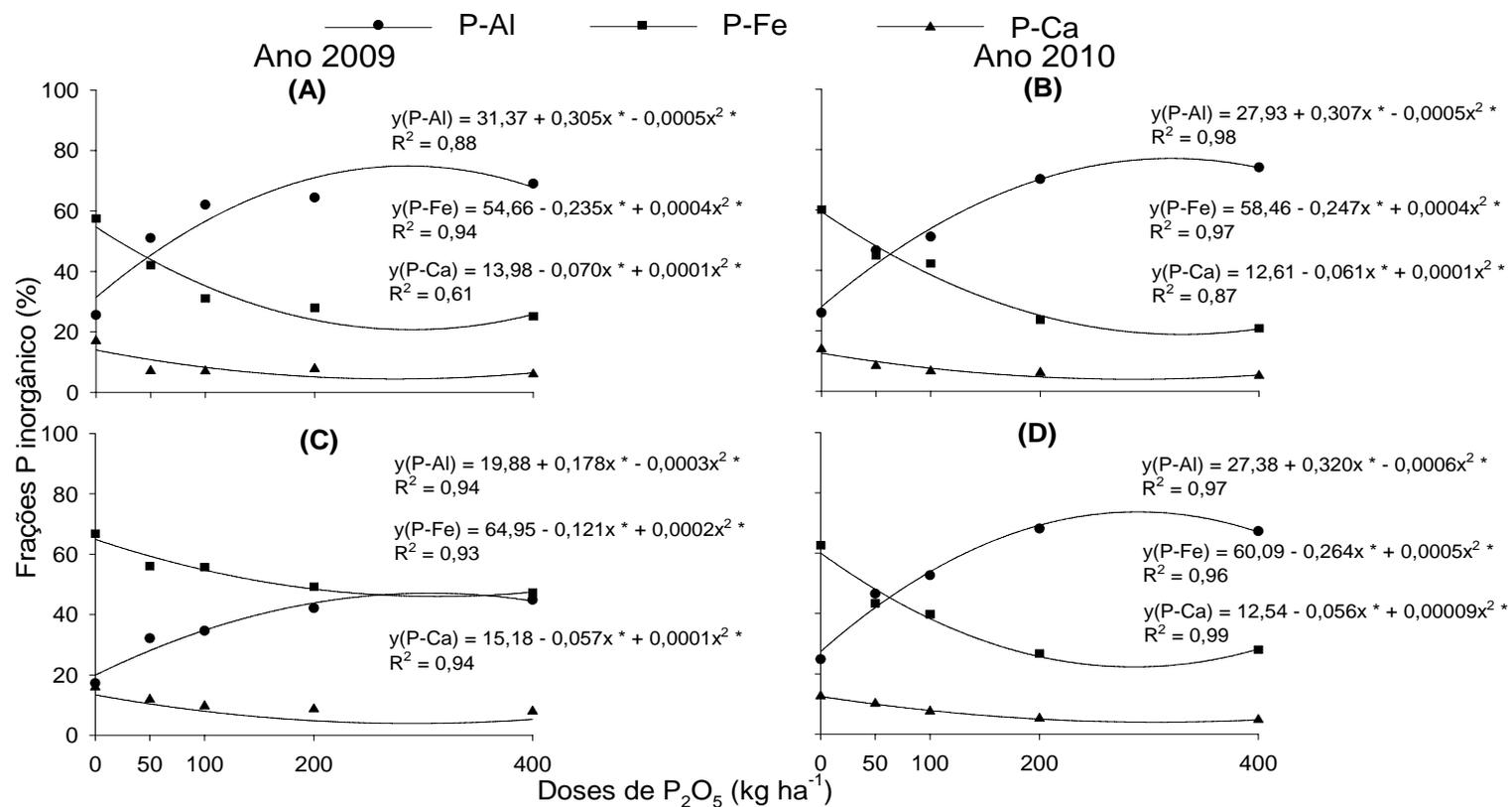


Figura 3 Frações de P ligado a Al, Fe e Ca relativas ao P inorgânico total do solo – Σ (P-Ca + P-Fe + P-Al), nos anos de 2009 e 2010, num LVd em função da adubação fosfatada anual (A e B = 0-10 cm; C e D = 10-20 cm)

* Significativo, pelo teste de t, a 5%.

O comportamento das formas de P da profundidade 10-20 cm respalda o que ocorreu na profundidade superficial, pois quando houve maior concentração do nutriente no solo (Tabela 7), o mesmo transformou-se prioritariamente nas formas ligadas ao Al e ao Fe e, posteriormente, ao Ca. Ao aumentar as quantidades de P aplicadas em diferentes tipos de solos, sistemas de cultivo e fontes essa tendência de conversão das formas de P em P-Al e P-Fe também foi observada por outros trabalhos recentes na literatura (CARNEIRO, 2009; LACERDA, 2011). De fato, as condições químicas do solo, como pH ácido, baixa concentração de Ca trocável e alta concentração de Al, tanto no complexo sortivo quanto na CTC efetiva, certamente contribuíram para que as formas de P-Al fossem favorecidas neste sistema (LINDSAY, 1979; GUIMARÃES; REIS, 2010).

As elevadas taxas de conversão do fósforo adicionado ao solo em formas de P-Al e P-Fe demonstram a importância da mineralogia oxidica na adsorção de P em solos ácidos (BARBOSA FILHO; KINJO; MURAOKA, 1987). Normalmente, nestes solos as formas de P-Fe aumentam com o tempo de contato entre o fosfato e os minerais do solo (NOVELINO, 1999). Contudo, durante o processo de reação do P adicionado ao solo com estes metais, há um estágio inicial amorfo de complexação, a partir do qual ocorre a cristalização dos compostos. Em meio ácido, o P-Al cristaliza-se numa velocidade inferior à do P-Fe e, desta maneira, permanece disponível para as plantas por maior tempo (JUO; ELLIS, 1968; REIS et al., 2011a). Neste contexto, ainda é necessário considerar que o solo vem recebendo adubações fosfatadas anuais por muitos anos consecutivos apesar das extrações de P pelos cafeeiros neste período de cultivo.

Em período anterior de estudo, houve depleção de P de um ano para o outro quando os maiores déficits ocorreram para as formas de P-Al atribuindo-se a essas o controle da dinâmica de P inorgânico no solo, embora P-Fe e P-Ca

também tenham diminuído (REIS et al., 2011a). No presente trabalho não houve depleção expressiva do nutriente em nenhuma das formas avaliadas pelo fracionamento de P no solo (Tabela 7). Nota-se, de uma maneira geral, que os teores de P-Fe e P-Ca da profundidade 0-10 cm praticamente mantiveram-se constantes de 2009 para 2010, enquanto os teores de P-Al sofreram incrementos, principalmente nas maiores doses de P aplicadas ao solo. Já na profundidade inferior, de 10-20 cm, todas as formas de P avaliadas no trabalho sofreram incrementos expressivos, com destaque para o P-Al.

Ao considerar um equilíbrio químico entre o P, como ortofosfato, e os metais Fe e Al disponíveis no solo, possivelmente estão sendo formadas as espécies minerais variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (LINDSAY, 1979), que em solos ácidos apresentam alta estabilidade química e baixa solubilidade (LINDSAY; VLEK; CHIEN, 1989; IULIANO; CIAVATTA; TOMMASO, 2007 e 2008). Reis et al. (2011a) propuseram um equilíbrio químico termodinâmico considerando algumas espécies minerais que poderiam ser formadas nesse sistema com maior aporte anual de fosfato através da fonte superfosfato triplo, e também todas as condições químicas e mineralógicas do solo em campo. Esses autores observaram a formação da variscita como sendo uma das formas controladoras da disponibilidade do P-Al nesse ambiente e que as formas de P-Fe as quais disponibilizam o nutriente para as plantas não são provenientes da strengita, mas de formas amorfas de P ligado a esse metal. Variscita em equilíbrio com gibbsita também foram encontradas como controladoras da disponibilidade de P em solos oxídicos do Cerrado colombiano sob condições de baixo pH e alto teor de Al trocável (WENZL et al., 2003).

É necessário ponderar que, por meio da correção adequada do solo, para valores de pH em água entre 6,0 e 6,5, certamente ocorreria maior solubilização das frações de P-Al e P-Fe e, portanto, um bom aproveitamento da adubação fosfatada uma vez que nessa faixa de pH há maior solubilidade dos compostos

fosfatados ligados a Ca, Fe e Al (LINDSAY; VLEK; CHIEN, 1989; MALAVOLTA, 2006; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; GUIMARÃES; REIS, 2010). O correto manejo da fertilidade do solo com relação à correção de pH e principalmente à adição de bases, imprescindíveis ao desenvolvimento dos cafeeiros, certamente permitiria melhores respostas das plantas, em doses intermediárias de P aplicadas anualmente ao solo, e proporcionaria um menor incremento relativo de produção em relação ao tratamento sem P (DIAS, 2012).

Esse tipo de observação deve estar sempre em evidência baseando-se na primeira lei da fertilidade do solo, ou Lei do Mínimo, a qual mostra que todos os nutrientes têm importância semelhante para o desenvolvimento das plantas, independentemente das quantidades em que são requeridos. Neste contexto, apesar das respostas expressivas das plantas de cafeeiros à adubação fosfatada neste trabalho (Capítulo II), os demais nutrientes também têm que estar em quantidades adequadas no solo.

3.3 Áreas de lavouras comerciais com histórico de alta adubação fosfatada anual

Houve diferenças significativas entre os teores de P de praticamente todas as formas do nutriente avaliadas nas áreas de lavouras em diferentes solos e localidades de estudo (Figuras 4, 5, 6 e 7). Com relação aos teores de P disponível obtidos pelos extratores de rotina Mehlich-1 e resina de troca iônica (Figura 4), os talhões sob maior adubação fosfatada nas três áreas de estudo apresentaram maiores valores que suas respectivas testemunhas sob adubação convencional. Tal comportamento repetiu-se em ambos os anos e profundidades avaliadas, exceto na área Boa Vista profundidade de 10-20 cm em 2009. Contudo, nos talhões testemunha das áreas nos solos PVA e LVA houve bons teores de P disponível pois essas áreas são de textura média, ou seja, possuem maior fator intensidade de P (NOVAIS; SMITH, 1999).

Com relação aos teores de P inorgânico avaliados, os talhões com doses elevadas de adubação fosfatada anual geralmente sobressaíram em seus teores relativos e absolutos de P-Al (Figuras 5, 6 e 7 e Tabelas 8, 9 e 10) quando comparados àqueles com adubação fosfatada na dose convencional, indicando que essa forma de P é aquela que está controlando a disponibilidade do nutriente para as plantas de café sob maior aporte de adubação fosfatada (REIS et al., 2011a). Os teores de P-Fe de uma maneira geral foram menores naqueles talhões de maior adubação fosfatada anual em relação aos respectivos talhões testemunha.

As formas de P-Ca foram, de maneira geral, aquelas que tiveram os maiores déficits de P nas três áreas quando analisada a diferença dos teores de 2010 para 2009, seguidas de P-Al e P-Fe. Esse comportamento pode ser atribuído à transformação de P-Ca em formas ligadas aos metais Fe e Al (LACERDA, 2011) bem como à absorção do nutriente pelos café nesse período produtivo. No LVA, a diminuição de P-Ca também pode ser associada à escassez de Ca e decréscimo do pH em 2010.

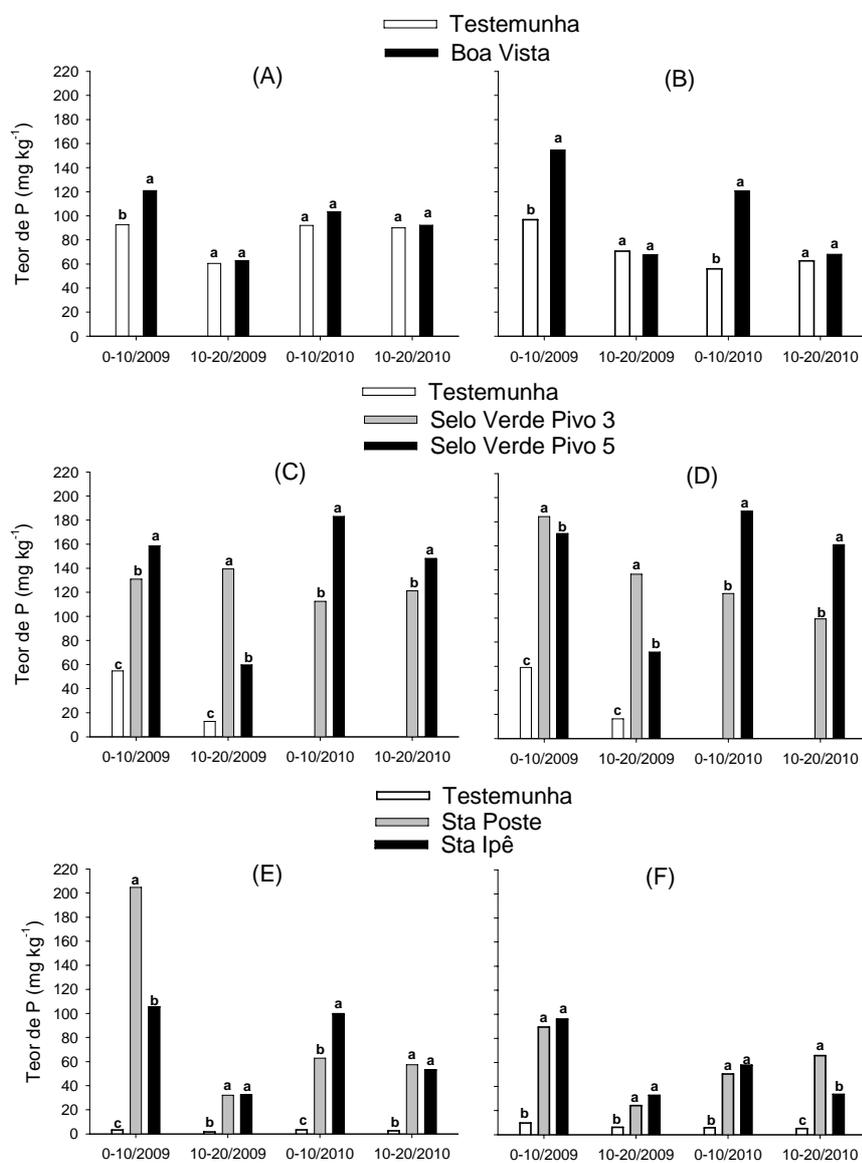


Figura 4 Teores de fósforo disponível no solo, em áreas comerciais sob estudo em diferentes profundidades, localidades e anos (A, C e E = P-Mehlich-1 em áreas sob PVA, PV, do sul de Minas e LVA, do oeste da Bahia, respectivamente; B, D e F = P-Resina em áreas sob PVA, PV, do Sul de Minas e LVA, do Oeste da Bahia, respectivamente)

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

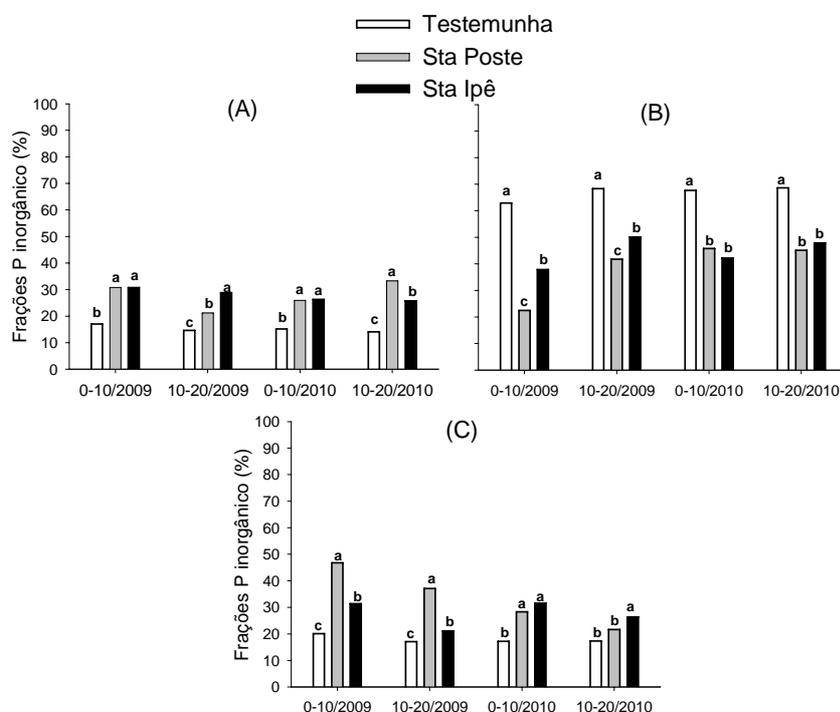


Figura 5 Frações de P ligado a Al (A), Fe (B) e Ca (C) relativas ao P inorgânico total do solo – Σ (P-Ca + P-Fe + P-Al), em 2009 e 2010, em áreas comerciais sob estudo num PV do Sul de Minas cultivado com cafeeiros em sequeiro

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

A maior participação relativa de P-Ca ocorreu no Argissolo Vermelho distrófico (Pvd) argiloso (Figura 5C), o qual apresentava maiores valores de pH e teores de Ca trocáveis no solo (Tabela 4). Possivelmente, como corretivos e fertilizantes são aplicados em superfície do solo sem incorporação, o calcário está elevando muito os valores de pH nos primeiros centímetros de solo e disponibilizando Ca no ambiente. Nessas condições é possível a formação de P-Ca que normalmente transforma-se em outras formas de P à medida que o solo

acidifica-se pelo manejo comum do ciclo de cultivo dos cafeeiros (GUIMARÃES; REIS, 2010).

Na área de estudo do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura média houve uma participação aproximadamente de 20% do P-Ca em relação ao P inorgânico total, principalmente no talhão testemunha (Figura 6C) o qual coerentemente apresentou maiores valores de pH e Ca trocável no complexo sortivo. As áreas de lavoura em estudo neste solo apresentaram um comportamento discrepante em relação aos demais pois no segundo ano de amostragem, as formas de P-Fe foram relativamente superiores àquelas de P-Al em ambos os talhões amostrados. Contudo, mesmo com os maiores valores de pH e conseqüentemente de P-Ca, as formas de P-Al e P-Fe continuaram a controlar a disponibilidade do nutriente no solo após maiores adubações fosfatadas. Nota-se também que as formas de P-Al tiveram um incremento expressivo em relação às demais pois neste solo, sob condições naturais, havia um predomínio das formas de P-Fe seguido de um equilíbrio entre P-Al e P-Ca (Tabela 1). Possivelmente, a diminuição de P-Al de 2009 para 2010 em parte foi conseqüência de uma alta produtividade em ambos os talhões, em ano de alta produção.

Na área de estudo do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) textura média há um predomínio das formas de P-Al, seguidas daquelas de P-Fe e posteriormente P-Ca, no ano de 2009, naqueles talhões com maior aporte de fertilizantes fosfatados. No ano de 2010, as formas de P-Al e P-Fe parecem controlar equitativamente a disponibilidade de P (Figura 7) semelhantemente ao comportamento original do solo (Tabela 1), uma vez que os valores de pH e também de Ca no complexo sortivo são considerados baixos ou muito baixos (Tabela 5) (CFSEMG, 1999).

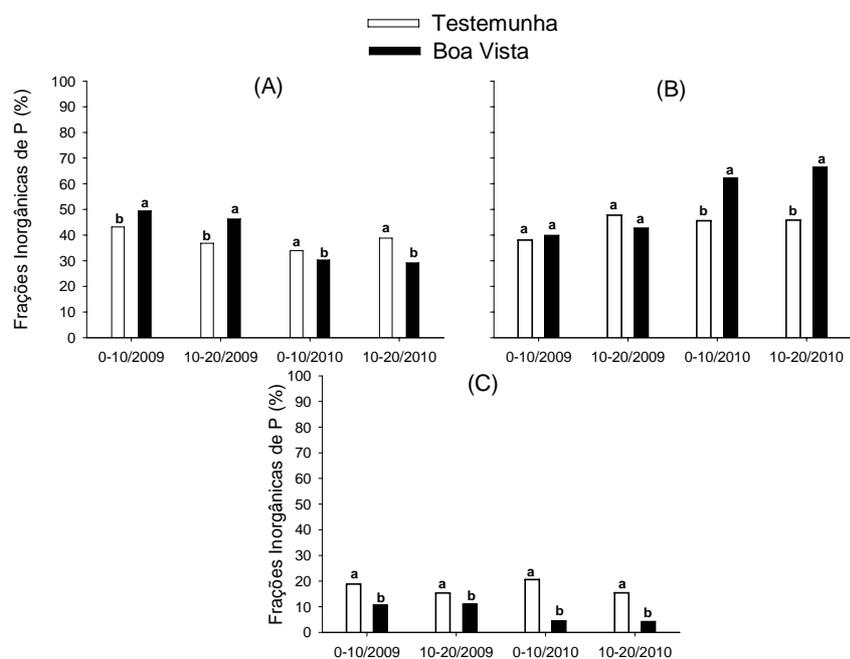


Figura 6 Frações de P ligado a Al (A), Fe (B) e Ca (C) relativas ao P inorgânico total do solo – Σ (P-Ca + P-Fe + P-Al), em 2009 e 2010, em áreas comerciais sob estudo, em 2009 e 2010 num PVA do Sul de Minas cultivado com cafeeiros em sequeiro

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

Tabela 8 Teores de P-Al, P-Fe e P-Ca determinados em áreas de lavouras comerciais sob estudo, nos anos de 2009 e 2010, num Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd), Sul de Minas Gerais

Talhões	Ano 2009		Ano 2010		Diferença entre 2010 e 2009*	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	P-Al (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	17,0	11,8	15,0	12,0	-2,03 (-12%)**	0,19 (2%)
Poste	198,4	50,0	86,5	104,9	-111,95 (-56%)	54,96 (110%)
Ipê	156,8	62,3	100,4	77,0	-56,38 (-36%)	14,66 (24%)
	P-Fe (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	62,4	55,2	64,6	58,4	2,21 (4%)	3,18 (6%)
Poste	144,6	99,6	141,9	146,8	-2,68 (-2%)	47,18 (47%)
Ipê	192,6	108,5	162,6	129,6	-30,01 (-16%)	21,07 (19%)
	P-Ca (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	19,9	13,8	15,2	14,7	-4,74 (-24%)	0,90 (7%)
Poste	301,1	88,5	90,6	66,9	-210,50 (-70%)	-21,63 (-24%)
Ipê	159,5	45,6	125,1	65,2	-34,41 (-22%)	19,58 (43%)

* Os valores dessas colunas foram obtidos pela diferença entre os teores do ano 2010 e 2009

** % da diferença do ano de 2010 em relação ao ano de 2009

Tabela 9 Teores de P-Al, P-Fe e P-Ca determinados em áreas de lavouras comerciais sob estudo, nos anos de 2009 e 2010, num Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Oeste da Bahia

Talhões	Ano 2009		Ano 2010		Diferença entre 2010 e 2009*	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	P-Al (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	79,8	25,4	-	-	-	-
Selo Verde Pivô 3	193,4	141,4	182,2	147,9	-11,24 (-6%)**	6,51 (5%)
Selo Verde Pivô 5	156,0	81,8	206,5	204,5	50,44 (32%)	122,65 (150%)
	P-Fe (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	106,6	26,1	-	-	-	-
Selo Verde Pivô 3	99,6	62,9	191,1	172,4	91,50 (92%)	109,47 (174%)
Selo Verde Pivô 5	84,7	50,5	196,3	206,0	111,60 (132%)	155,46 (308%)
	P-Ca (mg kg ⁻¹)					
Testemunha	16,0	5,1	-	-	-	-
Selo Verde Pivô 3	32,5	23,2	11,7	12,1	-20,82 (-64%)	-11,08 (-48%)
Selo Verde Pivô 5	35,1	21,3	13,1	12,2	-22,05 (-63%)	-9,04 (-43%)

* Os valores dessas colunas foram obtidos pela diferença entre os teores do ano 2010 e 2009

** % da diferença do ano de 2010 em relação ao ano de 2009

Tabela 10 Teores de P-Al, P-Fe e P-Ca determinados em áreas de lavouras comerciais sob estudo, nos anos de 2009 e 2010, num Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), Sul de Minas

Talhões	Ano 2009		Ano 2010		Diferença entre 2010 e 2009*	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	P-Al (mg kg⁻¹)					
Testemunha	168,4	97,0	105,9	127,3	-62,45 (-37%)**	30,27 (31%)
Boa Vista	207,0	113,6	176,4	136,9	-30,58 (-15%)	23,26 (20%)
	P-Fe (mg kg⁻¹)					
Testemunha	147,9	123,6	141,9	150,4	-5,94 (-4%)	26,76 (22%)
Boa Vista	167,0	104,3	379,9	311,7	212,92 (128%)	207,39 (199%)
	P-Ca (mg kg⁻¹)					
Testemunha	73,8	40,0	64,3	51,1	-9,52 (-13%)	11,02 (28%)
Boa Vista	44,6	26,8	26,1	20,1	-18,54 (-42%)	-6,73 (-45%)

* Os valores dessas colunas foram obtidos pela diferença entre os teores do ano 2010 e 2009

** % da diferença do ano de 2010 em relação ao ano de 2009

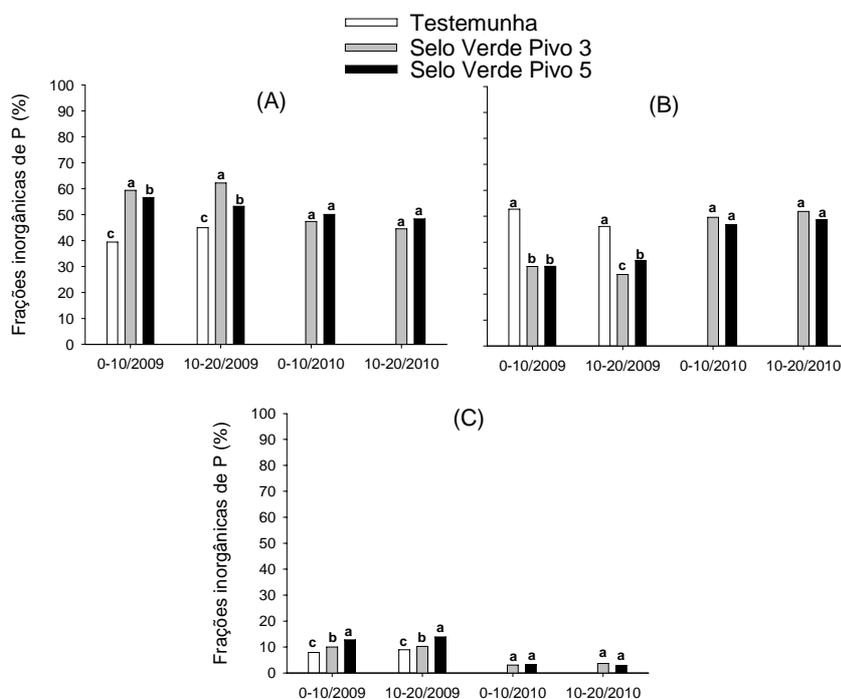


Figura 7 Frações de P ligado a Al (A), Fe (B) e Ca (C) relativas ao P inorgânico total do solo – Σ (P-Ca + P-Fe + P-Al), em 2009 e 2010, em áreas comerciais sob estudo num LVA do Oeste da Bahia cultivado com cafeeiros irrigados

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

3.4 Experimento de Sorção de P no solo

A necessidade deste ensaio surgiu de uma observação realizada em Reis (2009) para amostras coletadas no experimento de Planaltina, em 2007 e 2008, quando o P-remanescente tinha uma tendência em sofrer acréscimos devido à adubação fosfatada anual. Essa tendência continuou a ocorrer em 2009 e 2010 como pode ser observado nas tabelas 2 e 3. Assim, para o ensaio de sorção de P

no solo, optou-se por trabalhar com amostras dos quatro anos, da profundidade 0-10 cm, uma vez que esta sofre maior interferência em cultivos perenes com aplicação superficial de fertilizantes e corretivos.

Houve diferenças significativas entre as doses anuais de P e os anos avaliados, porém a interação doses x anos não foi significativa. Os tratamentos comportaram-se de maneira linear decrescente sendo a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) menor para as maiores doses fosfatadas aplicadas ao solo durante os quatro anos consecutivos (Figura 8). Os valores de CMAF também se mostraram diferentes entre os anos avaliados, diminuindo com o passar do tempo com adubações sucessivas (Figura 9).

Esses resultados contribuem convenientemente para explicar a maior disponibilidade do nutriente em todas as formas extraídas neste trabalho e reforçar a afirmativa de que os compostos ávidos por P estão sendo saturados neste sistema com maior aporte anual de fósforo (REIS et al., 2011a,b) pois os valores de P remanescente também aumentaram com o aumento das doses de P no solo (Tabelas 2 e 3).

É importante comentar que solos como este LVd do presente estudo com maiores teores de argila (700 g kg^{-1}) naturalmente apresentam alta CMAF, atributo que se correlaciona positivamente com teores de argila, matéria orgânica, goethita e gibbsita, para vários tipos de solos e ambientes (GODINHO et al., 1997; ROLIM NETO et al., 2004; RANNO et al., 2007). Contudo, os dados deste trabalho mostram que este atributo do solo também é dinâmico em função do manejo da adubação e do tempo de cultivo.

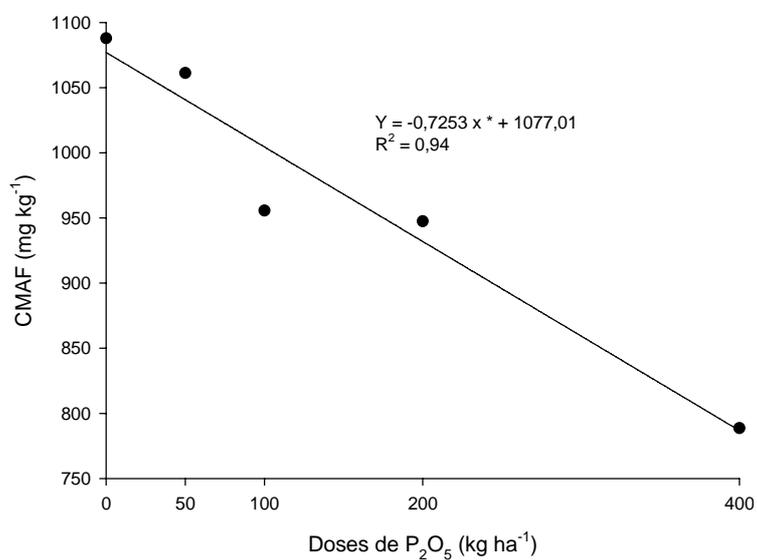


Figura 8 Capacidade Máxima de Adsorção de fósforo (CMAF) de um LVd em função da aplicação anual de doses de P_2O_5 por quatro anos consecutivos

* Significativo pelo teste de t, a 5% de probabilidade

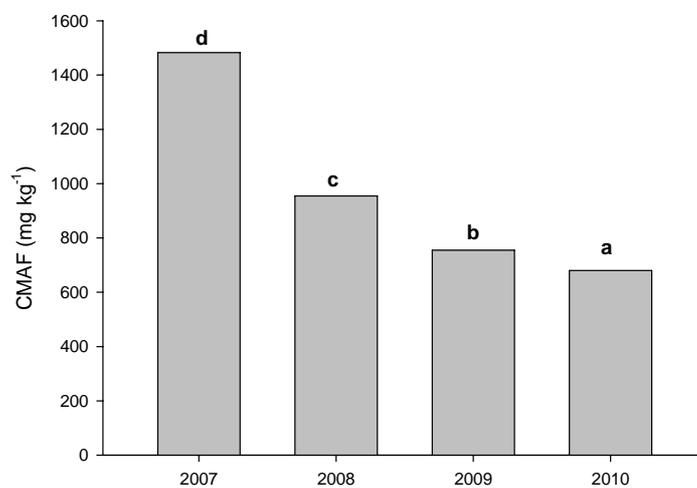


Figura 9 Médias da capacidade máxima de adsorção de fósforo de um LVd em função da aplicação anual de doses de P_2O_5 por quatro anos consecutivos

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

A respeito dos resultados de dessorção de fósforo das amostras de solo, houve interação significativa entre as doses de P e os anos avaliados, entre as doses de P no solo e as doses de P aplicadas na adsorção e entre os anos e as doses de P aplicadas na adsorção (Tabelas 11, 12 e 13).

Os valores de P dessorvido foram de maneira geral maiores para as doses de 200 kg ha⁻¹ e 400 kg ha⁻¹. Isso também pode ser verificado na Figura 10 em que as curvas de dessorção para ambos os tratamentos citados destacaram-se das demais demonstrando também maior capacidade em dessorver P para a solução do solo. Isso possivelmente auxilia na compreensão dos valores expressivos de P disponível obtidos para esses tratamentos. De fato, tais tratamentos foram os mais produtivos do ensaio no período avaliado (Capítulo II). Também chama-se atenção para o fato de que os tratamentos 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram valores de dessorção semelhantes, apesar da diferença nas quantidades de P aplicadas no solo.

Os tratamentos que obtiveram os maiores valores de CMAF também apresentaram menor dessorção do nutriente para a solução do solo. Tais resultados são semelhantes àqueles encontrados na literatura que mostram menor dessorção de P em solos com maior CMAF (GUILHERME et al., 2000). Maiores valores de pH do solo poderiam conferir menor CMAF e também maior dessorção do nutriente (SATO; COMERFORD, 2005; DE; DATTA, 2007; RANNO et al., 2007). Desta maneira, aplicando-se adequadamente a prática da calagem neste solo poderia-se ter um aproveitamento ainda melhor do nutriente para as plantas.

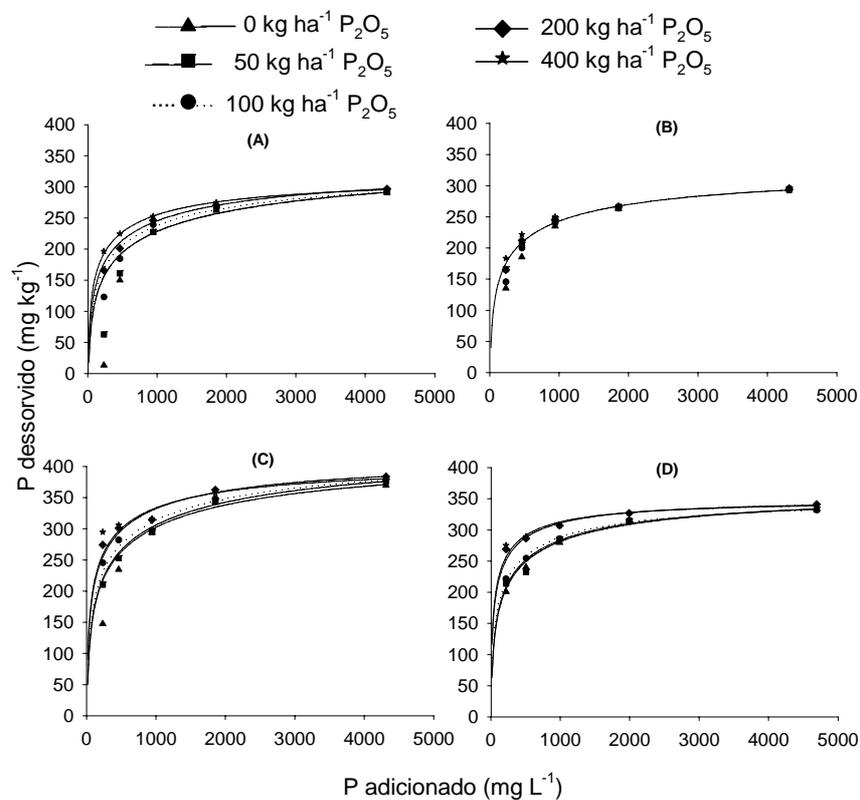


Figura 10 Curvas de desorção de fósforo em um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (LVd) cultivado com cafeeiros e submetido a adubação fosfatada anual. Amostras coletadas em: (A) 2007; (B) 2008; (C) 2009; (D) 2010

Esses resultados são importantes por mostrar que os sítios de adsorção do nutriente no solo estão sendo saturados à medida que aumenta-se a dose de fosfato anualmente aplicada, permitindo assim que a adubação fosfatada seja melhor aproveitada pelas plantas de cafeeiros. Dessa maneira, os resultados ajudam a explicar a maior disponibilidade de P para as plantas ao longo do ciclo de cultivo.

Tabela 11 Teores de P dessorvido (mg kg^{-1}) num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF, em função da aplicação anual de doses de fosfato.

Doses de P_2O_5 no solo (kg ha^{-1})	P dessorvido (mg kg^{-1})			
	2007	2008	2009	2010
0	81,4 b	91,7 a	110,0 c	115,5 b
50	84,8 b	99,2 a	120,8 c	118,3 b
100	91,3 b	96,2 a	133,6 b	123,4 b
200	104,9 a	101,3 a	162,4 a	166,8 a
400	116,1 a	108,5 a	163,4 a	169,4 a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 12 Teores de P dessorvido (mg kg^{-1}) num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF, em função da aplicação anual de fosfato para cada dose adicionada de P no ensaio de adsorção-dessorção de P

Doses de P_2O_5 no solo (kg ha^{-1})	P adicionado (mg kg^{-1})					
	0	250	500	1000	2000	4650
	P dessorvido (mg kg^{-1})					
0	0,00 a	13,75 c	37,18 c	93,43 c	174,81 b	278,66 b
50	0,00 a	22,71 c	43,19 c	101,45 c	180,98 b	286,16 b
100	0,00 a	28,52 c	57,98 b	104,24 b	185,39 b	290,70 b
200	0,00 a	53,43 b	84,69 a	132,54 a	215,14 a	313,42 a
400	0,00 a	70,00 a	98,12 a	139,46 a	216,45 a	316,09 a

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 13 Teores de P dessorvido (mg kg^{-1}) num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF, nos diferentes anos para cada dose adicionada de P no ensaio de adsorção-dessorção de P

Doses de P_2O_5 no solo (kg ha^{-1})	P adicionado (mg kg^{-1})					
	0	250	500	1000	2000	4650
	P dessorvido (mg kg^{-1})					
2007	0,00 a	16,11 b	37,69 b	94,48 c	162,57 b	263,35 c
2008	0,00 a	21,55 b	50,06 b	101,86 c	152,84 b	269,97 c
2009	0,00 a	49,83 a	78,34 a	112,36 b	228,38 a	353,23 a
2010	0,00 a	63,23 a	90,84 a	148,19 a	234,41 a	301,46 b

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

O fracionamento das formas inorgânicas de P no solo mostrou ser uma ferramenta importante para a compreensão da dinâmica do nutriente no solo.

Com a aplicação de maiores doses de P houve mobilidade do P inorgânico, pois o mesmo aumentou de maneira expressiva na profundidade de 10-20 cm.

Todas as formas de P inorgânico no solo aumentaram devido à adubação fosfatada anual, com predomínio das formas de P-Al, as quais controlam a disponibilidade do nutriente no solo. A magnitude das frações ocorreu na seguinte ordem $P\text{-Al} > P\text{-Fe} > P\text{-Ca}$.

A adubação fosfatada anual em maiores doses afetou significativamente a sorção de P no solo, ocasionando diminuição da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e aumento da dessorção de P com o tempo.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, F. Z.. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, Jan. 1986.
- BARBOSA FILHO, M. P.; KINJO, T.; MURAOKA, T.. Relações entre fósforo “extraível”, frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 147-155, Mai./Ago. 1987.
- CARNEIRO, L. F.. **Comportamento do fósforo frente à adubação fosfatada em Latossolos com diferentes históricos de uso**. 2009. 89p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- CASTRO, K. B. et al. Caracterização geomorfológica do município de Luis Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, Escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 32p.
- CFSEMG. Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 289-302.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L.. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v. 84, n. 1, p. 133-144, Aug. 1957.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Histórico de produção de café**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=132>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

CORRÊA, J.B. et al. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, p. 159-167, Jul./Dez. 2007.

COSTA, S.E.V.G.A. et al. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1237-1247, 2009.

DE, N.; DATTA, S. C. Relationship between phosphorus sorption and soil acidity as affected by bicarbonate and silicate ions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.679-694, 2007.

DIAS, K. G. L.. **Fontes e doses de fósforo para cafeeiros em produção:** dinâmica e disponibilidade de nutrientes. 2012. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FERREIRA, D. F.. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GODINHO, V.P.C. et al. Adsorção de fosfatos em três solos da região semi-árida do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 819-823, 1997.

GUERRA, A.F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In.: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa: UFV, 2006. p. 83-116.

GUILHERME, L. R. G. et al. Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 27-34, 2000.

GUIMARÃES, P. T. G.. **Respostas do cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuai) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais.** 1986. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org.). **Café Arábica do plantio à colheita.** Lavras: UR Epamig SM, 2010. p. 343-414.

IULIANO, M.; CIAVATTA, L.; TOMMASO, G.. On the Solubility Constant of Strengite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1137-1140, July/Aug. 2007.

IULIANO, M.; CIAVATTA, L.; TOMMASO, G.. The solubility constant of variscite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 2, p. 343-346, Mar./Apr. 2008.

JUO, A. S. R.; ELLIS, B. G.. Particle size distribution of aluminum, iron and calcium phosphates in soil profiles. **Soil Science**, Baltimore, v. 106, n. 5, p. 374-380, 1968.

LACERDA, J. J. J.. **Frações inorgânicas e disponibilidade de fósforo em Latossolos com diferentes mineralogia e histórico de uso, adubados com fosfato reativo.** 2011. 82p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

LINDSAY, W. L.. **Chemical equilibria in soils.** New York: Wiley-Interscience, 1979. 449 p.

LINDSAY, W.L.; VLEK, P.L.G.; CHIEN, S. H.. Phosphate Minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments.** 2 ed. Madison: SSSA, 1989. p. 1089-1131. (SSSA, Book Series, 1).

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T.. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 331-336, Set./Dez. 1993.

MALAVOLTA, E.. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136-274.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARSCHNER, H.. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887p.

MELO, B. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, Mar./Abr. 2005.

MOTTA, P. E. F. et al. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, Abr./Jun. 2002.

MURPHY, J.; RILEY, J. P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p.31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F. N.. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

NOVELINO, J. O.. **Disponibilidade de fósforo e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizados com fósforo, avaliada por diferentes métodos de extração**. 1999. 70p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S. (Ed.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/ Anda, 2004. p. 107-116.

RAJAN, S. S. S; FOX, R. L. Phosphate adsorption by soils: reactions in tropical acid soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 39, p. 846-851. 1975.

RANNO, S.K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 21-28, 2007.

REIS, T. H. P.. **Dinâmica e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com cafeeiro em produção**. 2009. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

REIS, T. H. P. et al. Dynamics of Forms of Inorganic Phosphorus in Soil under Coffee Plants as a Function of Successive Annual Additions of the Nutrient. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, p. 980-991, 2011a.

REIS, T.H.P. et al. Soil Phosphorus Dynamics and Availability and Irrigated Coffee Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 503-512, 2011b.

RIVAIE, A. A. et al. Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under *Pinus radiata* plantations in New Zealand. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, p. 75–88, 2008.

ROLIM NETO, F. C. et al. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

SATO, S.; COMERFORD, N.B.. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 685-694, 2005.

SILVA, M. A. et al. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, Out. 2003.

SYERS, J. K. et al. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. **Soil Science Society America Proceeding**, Madison, v. 37, n. 3, p. 358-363, May/June 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

WENZL, P. et al. Simulating Infertile Acid Soils with Nutrient Solutions: The Effects on *Brachiaria* Species. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 67, p. 1457-1469, Sept./Oct., 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação anual de maiores doses de adubos fosfatados pode ser uma tecnologia vantajosa para a cafeicultura por proporcionar incremento linear de produtividade com valor econômico, numa amplitude de até 33 sc ha⁻¹ entre a testemunha e a maior dose estudada, de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ através do superfosfato triplo.

Análises de solo realizadas por vários métodos constataram incremento do nutriente em formas disponíveis, e, também, que a maior parte do P aplicado permanece como reserva, em formas que ainda apresentam labilidade para os cultivos sucessivos. Contudo, a capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo diminuiu linearmente com o incremento das adubações fosfatadas ao longo dos anos, sugerindo que boa parte dos sítios de adsorção de P estão sendo saturados, e que o solo passa a competir menos com as plantas pelo nutriente.

Com maiores teores de P disponível no solo os cafeeiros conseguem absorver uma quantidade do nutriente suficiente para manter reservas de P inorgânico (Pi) nas folhas através do qual as plantas podem realizar de forma mais adequada seus processos metabólicos em períodos de estresse hídrico. Desta maneira, cafeeiros sob maior adubação fosfatada têm maior probabilidade de sucesso no florescimento e pegamento das flores, em função do atendimento da sua demanda energética em época mais crítica, quando certamente a absorção do P é restringida devido à menor umidade do solo.

Em síntese, com base nos resultados do presente trabalho, envolvendo sete safras avaliadas em oito anos de experimento, desde que o cafeeiro seja bem conduzido, com atenção adequada aos tratos fitossanitários e ao suprimento dos demais nutrientes, uma adubação fosfatada anual com maiores doses, parece ser adequada, por proporcionar maior vigor para as plantas, maior produção e consequentemente melhores perspectivas de lucro para o cafeicultor.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas

Tabela 1 Resumo das análises de variância para produtividade, em diferentes anos, de cafeeiros irrigados cultivados num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		2008	2009	2010	Média Geral
Tratamentos	4	2724,90*	269,67*	1126,07*	512,04*
Blocos	2	34,07 ^{NS}	11,40 ^{NS}	1530,94*	18,67*
Erro	8	182,65	25,67	143,67	3,41
Total	14				
CV (%)		16,3	11,7	12,0	3,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 2 Resumo das análises de variância para teores de fósforo na matéria seca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	0,09*	0,24*	0,03*	0,77*
Blocos	2	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,06 ^{NS}
Erro	8	0,02	0,03	0,01	0,05
Total	14				
CV (%)		9,1	7,6	5,2	13,8

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 3 Resumo das análises de variância para teores de fósforo total solúvel em ácido (Pts) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	16773,06*	41719,62*	19316,33*	50263,16*
Blocos	2	16,05 ^{NS}	159,08 ^{NS}	4687,29 ^{NS}	8020,54 ^{NS}
Erro	8	1199,27	1597,52	756,60	4792,82
Total	14				
CV (%)		8,4	7,0	5,4	12,1

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 4 Resumo das análises de variância para teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	9270,69*	26052,73*	7034,06*	31150,09*
Blocos	2	120,91 ^{NS}	554,26 ^{NS}	1669,51 ^{NS}	941,49 ^{NS}
Erro	8	229,05	394,01	358,07	399,60
Total	14				
CV (%)		7,7	6,8	8,7	7,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 5 Resumo das análises de variância para teores de fósforo orgânico solúvel em ácido (Po) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	829,82*	1079,72 ^{NS}	10378,36*	3625,46*
Blocos	2	163,40 ^{NS}	345,80 ^{NS}	1857,55 ^{NS}	906,62 ^{NS}
Erro	8	499,68	436,21	62,75	605,14
Total	14				
CV (%)		10,5	8,2	2,6	7,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 6 Resumo das análises de variância para a relação percentual Pi/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	141,07*	180,94*	138,64*	282,19*
Blocos	2	6,38 ^{NS}	9,14 ^{NS}	38,18 ^{NS}	22,74 ^{NS}
Erro	8	11,26	4,60	7,12	11,36
Total	14				
CV (%)		7,1	4,3	6,3	7,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 7 Resumo das análises de variância para a relação percentual Po/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	135,01*	373,92*	126,07*	244,33*
Blocos	2	4,02 ^{NS}	4,82 ^{NS}	0,38 ^{NS}	18,59 ^{NS}
Erro	8	14,06	23,39	8,27	33,73
Total	14				
CV (%)		7,3	11,4	4,8	10,0

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 8 Resumo das análises de variância para a relação Pi/Po na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	4	747,09*	2093,81*	736,12*	1617,38*
Blocos	2	3,13 ^{NS}	40,25 ^{NS}	71,08 ^{NS}	247,69 ^{NS}
Erro	8	77,14	175,25	43,48	64,27
Total	14				
CV (%)		9,1	11,7	8,9	9,8

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 9 Resumo das análises de variância para teores de fósforo na matéria seca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num Argissolo Vermelho distrófico (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	0,45*	0,20*	0,35*	0,51*
Blocos	3	0,07 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,05 ^{NS}
Erro	6	0,02	0,02	0,01	0,08
Total	11				
CV (%)		6,9	7,7	6,0	13,0

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 10 Resumo das análises de variância para teores de fósforo total solúvel em ácido (Pts) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	42032,85*	14305,61*	2217,37 ^{NS}	18372,43*
Blocos	3	599,38 ^{NS}	1048,96 ^{NS}	2152,30 ^{NS}	970,38 ^{NS}
Erro	6	2214,32	128,80	1793,70	359,07
Total	11				
CV (%)		7,6	2,6	10,8	3,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 11 Resumo das análises de variância para teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	53198,06*	8733,86*	6187,36*	26077,95*
Blocos	3	860,45 ^{NS}	492,96 ^{NS}	840,75 ^{NS}	1078,00 ^{NS}
Erro	6	1779,26	234,14	50,29	729,86
Total	11				
CV (%)		14,1	10,1	13,3	9,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 12 Resumo das análises de variância para teores de fósforo orgânico solúvel em ácido (Po) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	17250,50*	8406,03*	6753,45*	818,11*
Blocos	3	170,62 ^{NS}	147,37 ^{NS}	522,73 ^{NS}	1152,59 ^{NS}
Erro	6	989,90	98,38	1607,04	2265,61
Total	11				
CV (%)		9,9	3,6	18,8	16,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 13 Resumo das análises de variância para a relação percentual Pi/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	623,56*	265,14*	370,20*	290,69*
Blocos	3	8,66 ^{NS}	8,27 ^{NS}	13,38 ^{NS}	8,74 ^{NS}
Erro	6	22,82	8,83	36,73	15,63
Total	11				
CV (%)		10,0	8,5	13,2	7,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 14 Resumo das análises de variância para a relação percentual Po/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	623,56*	265,14*	370,20*	264,79*
Blocos	3	8,66 ^{NS}	8,27 ^{NS}	13,38 ^{NS}	13,81 ^{NS}
Erro	6	22,82	8,83	36,73	13,42
Total	11				
CV (%)		9,1	4,6	11,2	7,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 15 Resumo das análises de variância para a relação Pi/Po na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVd de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	0,95*	0,17*	0,52*	0,58*
Blocos	3	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	6	0,01	0,01	0,04	0,03
Total	11				
CV (%)		10,9	14,1	21,7	16,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 16 Resumo das análises de variância para teores de fósforo na matéria seca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	0,01 ^{NS}	0,37*	0,06 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Blocos	3	0,01 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	3	0,01	0,02	0,16	0,02
Total	7				
CV (%)		5,1	7,6	12,4	6,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 17 Resumo das análises de variância para teores de fósforo total solúvel em ácido (Pts) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	18470,42*	25368,78*	180510,36*	272026,88*
Blocos	3	2341,22 ^{NS}	8258,13 ^{NS}	151,88 ^{NS}	4086,45 ^{NS}
Erro	3	2042,52	2553,17	17,67	809,99
Total	7				
CV (%)		9,9	10,2	0,8	4,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 18 Resumo das análises de variância para teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	49675,52*	21463,85*	149796,01*	67179,45*
Blocos	3	2300,24 ^{NS}	10044,66 ^{NS}	330,36 ^{NS}	1093,06 ^{NS}
Erro	3	2012,05	885,85	632,81	501,35
Total	7				
CV (%)		20,9	13,2	8,4	7,4

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 19 Resumo das análises de variância para teores de fósforo orgânico solúvel em ácido (Po) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	7570,65*	164,71 ^{NS}	1433,80 ^{NS}	68820,50*
Blocos	3	2211,49 ^{NS}	1642,88 ^{NS}	790,84 ^{NS}	2454,94 ^{NS}
Erro	3	165,09	1932,42	735,12	910,61
Total	7				
CV (%)		5,2	16,4	11,1	9,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 20 Resumo das análises de variância para a relação percentual Pi/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	1190,72*	185,09*	924,50*	0,91 ^{NS}
Blocos	3	57,77 ^{NS}	4,50 ^{NS}	14,63 ^{NS}	15,47 ^{NS}
Erro	3	18,51	0,98	21,98	7,52
Total	7				
CV (%)		9,5	2,2	9,0	5,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 21 Resumo das análises de variância para a relação percentual Po/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	1190,72*	185,47*	924,50*	0,91 ^{NS}
Blocos	3	57,77 ^{NS}	14,74 ^{NS}	14,53 ^{NS}	15,47 ^{NS}
Erro	3	18,51	5,32	21,98	7,52
Total	7				
CV (%)		7,9	4,2	9,8	5,4

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 22 Resumo das análises de variância para a relação Pi/Po na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	1	1,75*	0,35*	2,11*	0,01*
Blocos	3	0,18 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Erro	3	0,12	0,01	0,09	0,01
Total	7				
CV (%)		35,1	12,6	24,7	12,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 23 Resumo das análises de variância para teores de fósforo na matéria seca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Luis Eduardo Magalhães (LEM), BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)**	0,06*	0,34*	0,07 ^{NS}	0,48*
Blocos	3 (3)	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	6 (3)	0,01	0,01	0,07	0,02
Total	11(7)				
CV (%)		5,7	5,4	14,9	6,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

** = Números entre parênteses indicam os graus de liberdade das análises de variância desse local em 2010, ano em que não houve coleta de material devido à poda da lavoura comercial

Tabela 24 Resumo das análises de variância para teores de fósforo total solúvel em ácido (Pts) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)	26614,96*	10723,76*	15673,35 ^{NS}	3321,13 ^{NS}
Blocos	3 (3)	6396,15 ^{NS}	1745,11 ^{NS}	4324,74 ^{NS}	404,43 ^{NS}
Erro	6 (3)	2544,09	585,28	10101,37	3534,74
Total	11(7)				
CV (%)		9,6	4,8	16,9	11,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 25 Resumo das análises de variância para teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)	27373,77*	19708,16*	12395,25 ^{NS}	6739,61 ^{NS}
Blocos	3 (3)	6066,23 ^{NS}	786,89 ^{NS}	10702,26 ^{NS}	98,96 ^{NS}
Erro	6 (3)	921,72	333,36	7906,20	1883,45
Total	11(7)				
CV (%)		11,0	7,7	29,1	18,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 26 Resumo das análises de variância para teores de fósforo orgânico solúvel em ácido (Po) na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros cultivados em área de lavoura comercial num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)	9,08 ^{NS}	3573,26*	192,081 ^{NS}	695,13 ^{NS}
Blocos	3 (3)	1962,56 ^{NS}	920,34 ^{NS}	1671,77 ^{NS}	538,50 ^{NS}
Erro	6 (3)	1506,79	606,91	1736,97	1770,15
Total	11(7)				
CV (%)		15,6	9,3	14,3	15,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 27 Resumo das análises de variância para a relação percentual Pi/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)	255,54*	336,07*	36,98 ^{NS}	128,80 ^{NS}
Blocos	3 (3)	64,37 ^{NS}	17,97 ^{NS}	140,44 ^{NS}	5,26 ^{NS}
Erro	6 (3)	14,87	11,67	55,92	39,31
Total	11(7)				
CV (%)		7,5	7,3	14,9	13,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 28 Resumo das análises de variância para a relação percentual Po/Pts na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2 (1)	255,54 ^{NS}	336,07*	36,98 ^{NS}	128,80 ^{NS}
Blocos	3 (3)	64,37 ^{NS}	17,97 ^{NS}	140,44 ^{NS}	5,26 ^{NS}
Erro	6 (3)	14,87	11,67	55,92	39,31
Total	11(7)				
CV (%)		8,0	6,4	15,1	11,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 29 Resumo das análises de variância para a relação Pi/Po na matéria fresca de folhas coletadas em diferentes épocas de cafeeiros irrigados cultivados num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		Julho/2009	Dezembro/2009	Julho/2010	Dezembro/2010
Tratamentos	2	0,45*	0,50*	0,16*	0,17 ^{NS}
Blocos	3	0,04 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	6	0,02	0,01	0,08	0,06
Total	11				
CV (%)		12,0	9,2	27,0	27,8

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 30 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores de rotina Mehlich-1 e Resina de troca iônica nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVD de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		2009		2010	
		Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
Tratamentos	4	83403,88*	32649,82*	115561,50*	97895,31*
Profundidades	1	248229,84*	65922,66*	91411,20*	37857,22*
Trat. x Prof.	4	54181,07*	13540,86*	40435,46*	14659,04*
Blocos	2	280,13 ^{NS}	18,69 ^{NS}	267,14 ^{NS}	26,60 ^{NS}
Erro	18	164,68	96,18	299,70	145,60
Total	29				
CV (%)		11,8	12,9	14,1	9,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 31 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaHCO₃ 0,1 M (P-lábil) e NaOH 0,1 M (P-moderadamente lábil) do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		P-lábil		P-moderadamente lábil	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	68308,28*	191084,62*	266037,01*	1263171,22*
Profundidades	1	119246,47*	95316,03*	424163,86*	580325,21*
Trat. x Prof.	4	29599,11*	26128,93*	88334,77*	121916,80*
Blocos	2	226,26 ^{NS}	467,12 ^{NS}	6834,844 ^{NS}	4203,51 ^{NS}
Erro	18	181,79	390,50	4070,14	4796,59
Total	29				
CV (%)		8,3	8,0	13,8	8,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 32 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaOH 0,5 M (P-pouco lábil) e P-biodisponível do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		P-pouco lábil		P-biodisponível	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	22296,79*	20836,33*	815920,73*	11361824,29*
Profundidades	1	168420,16*	27288,77*	1979568,66*	1462932,50*
Trat. x Prof.	4	3260,14*	4407,77*	198106,36*	1204120,24*
Blocos	2	142,92 ^{NS}	814,92 ^{NS}	4157,83 ^{NS}	35170,85 ^{NS}
Erro	18	291,27	236,80	4891,54	110902,47
Total	29				
CV (%)		10,4	14,9	8,9	6,6

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 33 Resumo das análises de variância para teores de P total no solo por Bowman (1989) e P-Al pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVD de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		P-total Bowman		P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	1136631,27*	2997993,59*	265432,30*	1010299,40*
Profundidades	1	4271866,15*	612640,88*	889533,54*	474562,91*
Trat. x Prof.	4	312317,53*	69182,66*	566110,36*	158806,65*
Blocos	2	1383,37 ^{NS}	34816,81 ^{NS}	1287,91 ^{NS}	176,71 ^{NS}
Erro	18	8960,45	7102,79	12425,38	353,40
Total	29				
CV (%)		8,1	5,1	10,5	4,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 34 Resumo das análises de variância para teores de P-Fe e P-Ca no solo disponíveis pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVD de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		P-Fe		P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	36088,43*	59810,70*	1838,12*	3414,93*
Profundidades	1	61336,41*	33362,00*	5645,78*	3187,44*
Trat. x Prof.	4	6577,34*	6451,29*	825,94*	1075,53*
Blocos	2	438,85 ^{NS}	6,78 ^{NS}	9,25*	4,87 ^{NS}
Erro	18	36,83	21,64	2,21	1,53
Total	29				
CV (%)		4,0	2,4	4,5	3,1

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 35 Resumo das análises de variância para teores de P-inorgânico total e %P-Al relativo ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		P-inorgânico total		%P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	556302,38*	1698340,44*	1182,60*	2068,04*
Profundidades	1	1602627,68*	861175,42*	3059,69*	22,22*
Trat. x Prof.	4	234108,03*	255101,38*	80,34*	14,65*
Blocos	2	1263,80 ^{NS}	180,36 ^{NS}	2,51 ^{NS}	0,27 ^{NS}
Erro	18	728,86	336,99	3,16	0,82
Total	29				
CV (%)		6,2	2,8	4,0	1,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 36 Resumo das análises de variância para %P-Fe e % P-Ca relativos ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVd de Planaltina, DF

FV	GL	QM			
		%P-Fe		%P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	4	643,01*	1402,32*	86,60*	67,44*
Profundidades	1	2512,59*	22,10*	26,90*	0,01 ^{NS}
Trat. x Prof.	4	61,63*	22,38*	6,91*	2,42*
Blocos	2	8,09 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,03 ^{NS}	0,13 ^{NS}
Erro	18	2,39	0,93	0,40	0,12
Total	29				
CV (%)		3,4	2,5	6,5	4,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 37 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores de rotina Mehlich-1 e Resina de troca iônica nas duas profundidades amostradas em dois anos num Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		2009		2010	
		Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
Tratamentos	2	27161,74*	7506,20*	11911,59*	6028,04*
Profundidades	1	40705,61*	11611,60*	1842,75*	61,44 ^{NS}
Trat. x Prof.	2	14777,02*	2466,93*	1274,60*	798,60*
Blocos	3	18,10 ^{NS}	36,66 ^{NS}	130,49 ^{NS}	3,19 ^{NS}
Erro	15	65,21	32,37	69,60	26,55
Total	23				
CV (%)		12,8	13,2	17,9	14,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 38 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaHCO₃ 0,1 M (P-lábil) e NaOH 0,1 M (P-moderadamente lábil) do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-lábil		P-moderadamente lábil	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	20101,75*	14557,13*	92493,68*	32176,71*
Profundidades	1	38355,21*	2671,47*	209759,77*	2895,43*
Trat. x Prof.	2	8342,34*	1025,16*	30899,31*	2013,00*
Blocos	3	80,98 ^{NS}	339,24 ^{NS}	699,39 ^{NS}	437,37 ^{NS}
Erro	15	68,05	131,39	264,63	466,17
Total	23				
CV (%)		10,2	11,0	5,2	6,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 39 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaOH 0,5 M (P-pouco lábil) e P-biodisponível do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-pouco lábil		P-biodisponível	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	9684,74*	10581,44*	288927,88*	149703,51*
Profundidades	1	18452,65*	2858,42*	633363,31*	5232,42*
Trat. x Prof.	2	8198,89*	1048,48*	117565,27*	738,22 ^{NS}
Blocos	3	345,92 ^{NS}	62,21 ^{NS}	1180,79 ^{NS}	237,25 ^{NS}
Erro	15	605,58	45,59	1059,40	313,94
Total	23				
CV (%)		15,5	6,8	5,9	3,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 40 Resumo das análises de variância para teores de P total no solo por Bowman (1989) e P-Al pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-total Bowman		P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	719874,71*	1232124,15*	28447,05*	16612,46*
Profundidades	1	1476299,37*	194828,64*	40972,91*	41,69 ^{NS}
Trat. x Prof.	2	182468,34*	49925,48*	10448,68*	876,19*
Blocos	3	4528,06 ^{NS}	16641,98 ^{NS}	99,96 ^{NS}	36,19 ^{NS}
Erro	15	10924,85	11923,46	65,10	23,01
Total	23				
CV (%)		9,2	9,3	9,8	7,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 41 Resumo das análises de variância para teores de P-Fe e P-Ca no solo disponíveis pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-Fe		P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	17645,99*	18696,96*	63338,40*	14362,46*
Profundidades	1	12375,59*	785,58*	73704,17*	4704,28*
Trat. x Prof.	2	2962,69*	761,36*	21323,20*	1795,38*
Blocos	3	104,99 ^{NS}	97,12 ^{NS}	20,59 ^{NS}	35,90 ^{NS}
Erro	15	25,12	34,70	69,53	30,25
Total	23				
CV (%)		4,5	5,0	8,0	8,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 42 Resumo das análises de variância para teores de P-inorgânico total e %P-Al relativo ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-inorgânico total		%P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	271631,93*	142424,86*	417,02*	487,73*
Profundidades	1	342396,26*	16531,20*	131,27*	22,02 ^{NS}
Trat. x Prof.	2	79324,06*	8769,24*	37,08*	44,35 ^{NS}
Blocos	3	534,52*	5183,60*	1,23 ^{NS}	19,12 ^{NS}
Erro	15	126,76	1013,44	3,10	22,02
Total	23				
CV (%)		3,8	13,1	7,4	20,1

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 43 Resumo das análises de variância para %P-Fe e % P-Ca relativos ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num (PVd) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		%P-Fe		%P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2	2311,96*	1399,66*	1133,49*	285,01*
Profundidades	1	914,39*	24,36 ^{NS}	352,82*	92,83*
Trat. x Prof.	2	96,85*	22,47 ^{NS}	32,98*	25,86 ^{NS}
Blocos	3	2,67 ^{NS}	22,26 ^{NS}	3,15 ^{NS}	14,04 ^{NS}
Erro	15	3,51	11,52	4,26	12,93
Total	23				
CV (%)		4,0	6,4	7,1	15,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 44 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores de rotina Mehlich-1 e Resina de troca iônica nas duas profundidades amostradas em dois anos num Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		2009		2010	
		Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
Tratamentos	1	931,78*	2986,62*	182,25*	4924,53*
Profundidades	1	8194,78*	12735,12*	170,30*	2109,11*
Trat. x Prof.	1	664,35*	3678,42*	87,42*	3507,60*
Blocos	3	2,40 ^{NS}	14,50 ^{NS}	27,33 ^{NS}	15,80 ^{NS}
Erro	9	114,27	268,34	81,09	76,85
Total	15				
CV (%)		12,7	16,8	9,5	11,4

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 45 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaHCO₃ 0,1 M (P-lábil) e NaOH 0,1 M (P-moderadamente lábil) do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-lábil		P-moderadamente lábil	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	1387,19*	28883,85*	5099,39*	2293,45*
Profundidades	1	20540,62*	80685,82*	105154,28*	8009,36*
Trat. x Prof.	1	1723,50*	12017,09*	7266,71*	2526,57*
Blocos	3	214,48 ^{NS}	861,73 ^{NS}	505,29 ^{NS}	383,39 ^{NS}
Erro	9	58,35	254,54	244,36	379,99
Total	15				
CV (%)		5,0	6,1	4,6	5,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 46 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaOH 0,5 M (P-pouco lábil) e P-biodisponível do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-pouco lábil		P-biodisponível	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	5493,03*	153,14 ^{NS}	35772,05*	56807,14*
Profundidades	1	2061,16*	702,52*	265822,74*	46099,31*
Trat. x Prof.	1	69,22 ^{NS}	15,21 ^{NS}	16831,17*	7411,92*
Blocos	3	19,67 ^{NS}	276,86 ^{NS}	619,03 ^{NS}	436,63 ^{NS}
Erro	9	46,24	285,57	270,08	284,11
Total	15				
CV (%)		8,0	4,9	2,9	2,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 47 Resumo das análises de variância para teores de P total no solo por Bowman (1989) e P-Al pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-total Bowman		P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	12446,19*	643404,52*	3046,49*	6410,00*
Profundidades	1	481354,97*	291556,80*	27111,27*	327,34 ^{NS}
Trat. x Prof.	1	20728,08*	746,93 ^{NS}	482,68 ^{NS}	3702,42*
Blocos	3	1250,55 ^{NS}	1017,44 ^{NS}	360,15 ^{NS}	4,72 ^{NS}
Erro	9	3714,68	2522,59	397,90	326,50
Total	15				
CV (%)		4,4	3,4	13,6	13,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 48 Resumo das análises de variância para teores de P-Fe e P-Ca no solo disponíveis pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		P-Fe		P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	0,06 ^{NS}	159398,57*	1743,06*	4790,02*
Profundidades	1	7557,69*	3572,75*	2587,25*	369,99 ^{NS}
Trat. x Prof.	1	1479,17*	5880,97*	232,87*	52,13 ^{NS}
Blocos	3	77,95 ^{NS}	84,01 ^{NS}	12,16 ^{NS}	73,61 ^{NS}
Erro	9	47,82	564,42	14,48	76,72
Total	15				
CV (%)		5,1	9,7	8,3	21,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 49 Resumo das análises de variância para teores de P-inorgânico total e %P-Al relativo ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		inorgânico total		%P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	174,31 ^{NS}	168177,91*	246,49*	176,36*
Profundidades	1	91480,54*	9428,41 ^{NS}	88,64*	14,25 ^{NS}
Trat. x Prof.	1	2041,01 ^{NS}	16980,70*	10,14 ^{NS}	35,58*
Blocos	3	289,79 ^{NS}	42,05 ^{NS}	22,20 ^{NS}	0,16 ^{NS}
Erro	9	438,58	1864,80	15,74	5,20
Total	15				
CV (%)		6,4	10,2	9,0	6,9

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 50 Resumo das análises de variância para %P-Fe e % P-Ca relativos ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num PVA de Cabo Verde, MG

FV	GL	QM			
		%P-Fe		%P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	1	9,89 ^{NS}	1634,38*	157,63*	736,99*
Profundidades	1	158,00*	2,36 ^{NS}	10,02*	28,22*
Trat. x Prof.	1	48,09 ^{NS}	1,12 ^{NS}	14,06*	24,03*
Blocos	3	16,98 ^{NS}	3,44 ^{NS}	1,94 ^{NS}	4,22 ^{NS}
Erro	9	14,50	5,33	1,21	4,16
Total	15				
CV (%)		9,0	4,1	7,9	18,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 51 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores de rotina Mehlich-1 e Resina de troca iônica nas duas profundidades amostradas em dois anos num Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Luis Eduardo Magalhães (LEM), BA

FV	GL	QM			
		2009		2010	
		Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
Tratamentos	2 (1)**	22173,85*	31360,63*	9467,29*	16919,51*
Profundidades	1	11655,63*	23807,70*	683,82*	2403,45*
Trat. x Prof.	2 (1)	5779,69*	1912,27*	1909,69*	43,89 ^{NS}
Blocos	3	1,21 ^{NS}	86,87 ^{NS}	126,97 ^{NS}	45,77 ^{NS}
Erro	15 (9)	14,14	82,51	44,75	193,11
Total	23 (15)				
CV (%)		4,1	8,5	4,7	9,8

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

** = Números entre parênteses indicam os graus de liberdade das análises de variância desse local em 2010, ano em que não houve coleta de material devido à poda da lavoura comercial

Tabela 52 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaHCO₃ 0,1 M (P-lábil) e NaOH 0,1 M (P-moderadamente lábil) do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		P-lábil		P-moderadamente lábil	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	17457,26*	305,55 ^{NS}	5740,38*	12871,47*
Profundidades	1	17347,82*	42714,56*	13719,08*	2287,95*
Trat. x Prof.	2 (1)	4141,55*	24479,73*	11993,26*	1623,08*
Blocos	3	74,40 ^{NS}	736,71 ^{NS}	570,42 ^{NS}	144,18 ^{NS}
Erro	15 (9)	102,46	362,26	329,88	378,38
Total	23 (15)				
CV (%)		5,8	6,2	8,8	7,7

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 53 Resumo das análises de variância para teores de P disponível no solo pelos extratores NaOH 0,5 M (P-pouco lábil) e P-biodisponível do fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		P-pouco lábil		P-biodisponível	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	9981,68*	385,24*	43807,00*	14338,60*
Profundidades	1	4109,74*	113,37*	96373,10*	12853,33*
Trat. x Prof.	2 (1)	440,32*	24,98 ^{NS}	27233,57*	12099,45*
Blocos	3	17,85 ^{NS}	19,88 ^{NS}	85,52 ^{NS}	925,16 ^{NS}
Erro	15 (9)	22,08	15,62	165,80	592,42
Total	23 (15)				
CV (%)		7,4	7,4	2,9	4,0

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 54 Resumo das análises de variância para teores de P total no solo por Bowman (1989) e P-Al pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		P-total Bowman		P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	172411,84*	469848,56*	265432,30*	1010299,40*
Profundidades	1	440025,63*	59636,08*	889533,54*	474562,91*
Trat. x Prof.	2 (1)	4351,86 ^{NS}	3973,41 ^{NS}	141527,59*	158806,65*
Blocos	3	2382,47 ^{NS}	5041,86 ^{NS}	643,95 ^{NS}	176,71 ^{NS}
Erro	15 (9)	2744,13	1750,32	690,30	353,40
Total	23 (15)				
CV (%)		5,0	2,9	10,5	4,5

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 55 Resumo das análises de variância para teores de P-Fe e P-Ca no solo disponíveis pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		P-Fe		P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	36088,43*	59810,70*	1838,12*	3414,93*
Profundidades	1	61336,41*	33362,01*	5645,78*	3187,44*
Trat. x Prof.	2 (1)	6577,34*	6451,29*	825,94*	1075,53*
Blocos	3	438,85 ^{NS}	6,78 ^{NS}	9,25*	4,87 ^{NS}
Erro	15 (9)	36,83	21,64	2,21	1,53
Total	23 (15)				
CV (%)		4,0	2,4	4,5	3,1

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 56 Resumo das análises de variância para teores de P-inorgânico total e %P-Al relativo ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		P-inorgânico total		%P-Al	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	556302,38*	1698340,44*	722,20*	43,56 ^{NS}
Profundidades	1	1602627,68*	861175,42*	16,78*	20,20 ^{NS}
Trat. x Prof.	2 (1)	234108,03*	255101,38*	41,54*	1,21 ^{NS}
Blocos	3	1263,80 ^{NS}	180,36 ^{NS}	3,09 ^{NS}	7,60 ^{NS}
Erro	15 (9)	728,86	336,99	2,73	12,21
Total	23 (15)				
CV (%)		6,2	2,8	3,1	7,3

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 57 Resumo das análises de variância para %P-Fe e % P-Ca relativos ao P-inorgânico total obtido pelo fracionamento sequencial de Chang e Jackson (1957) nas duas profundidades amostradas em dois anos num LVA de LEM, BA

FV	GL	QM			
		%P-Fe		%P-Ca	
		2009	2010	2009	2010
Tratamentos	2 (1)	969,85*	35,97 ^{NS}	48,99*	0,37 ^{NS}
Profundidades	1	37,23*	17,37 ^{NS}	4,02 ^{NS}	0,11 ^{NS}
Trat. x Prof.	2 (1)	40,00*	0,05 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,78 ^{NS}
Blocos	3	5,82 ^{NS}	10,25 ^{NS}	1,59 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Erro	15 (9)	4,27	12,50	1,09	0,12
Total	23 (15)				
CV (%)		5,6	7,2	9,9	11,1

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 58 Resumo das análises de variância para Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo (CMAF) no solo de amostras da profundidade de 0-10 cm em 4 anos num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF

FV	GL	QM
Tratamentos	4	167294,22*
Anos	3	1968006,25*
Trat. x Anos	12	10014,70 ^{NS}
Blocos	2	42022,10*
Erro	38	9685,63
Total	59	
CV (%)		10,2

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 59 Resumo das análises de variância para Dessorção de Fósforo no solo de amostras da profundidade de 0-10 cm em 4 anos num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de Planaltina, DF

FV	GL	QM
Tratamentos	4	22361,33*
Anos	3	50186,82*
Doses Sorção	5	734200,57*
Trat. x Anos	12	1948,98*
Trat. x Doses Sorção	20	1114,40*
Anos x Doses Sorção	15	5541,13*
Trat. x Anos x Doses Sorção	60	192,33 ^{NS}
Blocos	2	151,60 ^{NS}
Erro	238	345,13
Total	359	
CV (%)		15,8

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F