



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

JOSÉ ISRAEL PINHEIRO

**FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO
MELOEIRO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA**

FORTALEZA

2017

JOSÉ ISRAEL PINHEIRO

FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO MELOEIRO EM
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Guirado Artur.

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P72f Pinheiro, José Israel.
Formas de fósforo no solo e eficiência nutricional do meloeiro em função da adubação mineral e orgânica /
José Israel Pinheiro. – 2017.
88 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profª. Dra. Adriana Guirado Artur.
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.
1. Cucumis melo L. 2. Eficiência de utilização. 3. Formas lábeis. I. Título.

CDD 631.4

JOSÉ ISRAEL PINHEIRO

FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO MELOEIRO EM
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovada em: 21 / 09 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Adriana Guirado Artur (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. William Natale (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Julius Blum (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Raimundo Rolim Pinheiro e Maria Socorro Pinheiro por todo amor, esforço e força para que continuasse os estudos. A minha querida irmã Ana Ruty pelo carinho. Aos meus avós paternos e maternos, tios e tias, que sempre acreditaram em mim e depositaram força e incentivo a minha formação.

OFEREÇO

Ao meu primo e amigo José Leandro Pinheiro (in memoriam) pelo exemplo, caráter, simplicidade, inteligência e dedicação aos estudos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelo dom da vida, pelas conquistas e desafios que foram extremamente importantes para o meu engrandecimento, pela família, saúde, oportunidades e pelos dias de glórias concedidos nas conquistas, Muito obrigado.

Aos meus pais **Raimundo Rolim Pinheiro, Maria Socorro Pinheiro e minha irmã Ana Ruty Pinheiro**, por todo amor, carinho e dedicação, sem o incentivo, apoio e educação dada por vocês, eu não teria chegado até aqui.

À Prof^a. Dr^a. **Adriana Guirado Artur**, por toda atenção, disponibilidade, dedicação, estímulo, compreensão e excelente orientação.

Ao Dr. **Carlos Taniguchi**, pela orientação, pela paciência, apoio e pela confiança depositada na realização desse trabalho, sem suas intervenções não teria sido possível tal realização. Meus mais sinceros agradecimentos.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pela área experimental cedida, por todo recurso financeiro que foi investido no projeto e por todo o aparato laboratorial, sem isso, essa pesquisa não teria sido desenvolvida.

A CAPES, pelo apoio financeiro no projeto de pesquisa.

Aos professores **Rafael Otto e Antônio Carlos Azevedo** do Departamento de Ciência do Solo (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP) por todo o incentivo a pesquisa e aprendizado nas disciplinas durante a mobilidade acadêmica.

Ao Professor Dr. **Godofredo Cesar Vitti** da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, pessoa a qual admiro muito pelo que representa para a Fertilidade do Solo, fiquei muito feliz por ter tido a oportunidade de conhecê-lo, trocar uma ideia e cursar a disciplina Adubos e Adubação na ESALQ durante a mobilidade acadêmica.

Ao Doutorando **Marcos Rodrigues** do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ pelas instruções durante o processo de fracionamento do fósforo do solo, o acompanhamento das etapas de realização do fracionamento na ESALQ foi fundamental para que, aqui, eu pudesse lograr sucesso nas análises.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo - UFC, pelos ensinamentos transmitidos e por contribuírem de forma significativa na minha formação.

Aos participantes da banca examinadora, Prof. Dr. William Natale e Prof. Dr. Julius Blum, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos parceiros de orientação “irmãos de orientação”: Hermano Melo e Jaciane Rosa, num primeiro momento e Esraelda Araújo e Thais Martins, num segundo. Foi muito gratificante trabalhar com vocês.

Ao amigo Msc. Ricardo Miranda dos Santos pela grande ajuda no fracionamento do fósforo no laboratório de solos (Embrapa).

Aos colegas do Departamento de Ciência do Solo: Carlos Eduardo, Luis Felipe, Rafaela Batista, Márcio Godofredo, Eduardo Monteiro, Cilas, Gleiciane, Edlaine, Jaciane Rosa, Ademir Menezes, em especial aos componentes da salinha Pirambu: Alfredo Mendonça, Lucas de Sousa, Ricardo Miranda, Wilson Gomes, Gustavo Henrique, Marcos Pedrosa, Thiago Costa, Cleyton Saialy, Hermano Melo, Daniel Pontes, Kaio Gráculo. Foi muito gratificante o dia a dia com vocês durante esses 2 anos.

A todos os funcionários do Departamento de Ciências do Solo e da FUNCEME, que participaram direto ou indiretamente do trabalho, em especial a todos da Embrapa Agroindústria Tropical, destacando o **Dr. Carlos A. K. Taniguchi** (Pesquisador) e a **Vanderléia**, técnica do Laboratório de Solos, por toda a ajuda, colaboração e disponibilidade dos laboratórios e pelos conhecimentos compartilhados. Vocês foram fundamentais para o sucesso desse trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

“Se não houver frutos,
valeu a beleza das flores;
Se não houver flores,
valeu a sombra das folhas;
Se não houver folhas,
valeu a intenção da semente”.

Henfil, 1984.

RESUMO GERAL

O fósforo é um dos nutrientes mais aplicados na agricultura brasileira e a sua disponibilidade e as formas no solo são afetadas pela adubação. O meloeiro, por ser exigente em fósforo e somada a baixa fertilidade natural dos solos, justificam-se os estudos para aumentar a produtividade dos frutos. Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação mineral e/ou orgânica na eficiência de utilização de macronutrientes, acúmulo, partição, balanço parcial de fósforo (P) e na distribuição das frações do fósforo no solo durante o ciclo de crescimento do meloeiro híbrido Goldex F1. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo a aplicação dos fertilizantes como tratamentos principais (adubação mineral; esterco de bovinos; esterco de bovinos + adubação mineral; cama de frangos e cama de frangos + adubação mineral) e cinco épocas de coleta de solo (antes do plantio das mudas, início do florescimento, início da frutificação, crescimento de frutos e colheita dos frutos) nas subparcelas, com quatro repetições. Plantas inteiras foram colhidas a cada época de coleta de solo, separadas em parte aérea e raízes, e quando havia, em frutos imaturos e maduros, para a obtenção da matéria seca e análise química. Utilizou-se a técnica do fracionamento sequencial do fósforo para a determinação das formas orgânicas e inorgânicas no solo e, posteriormente, a separação destas em compartimentos de acordo com labilidade: P-Lábil; P-Moderadamente lábil e P-Não lábil. A partição do fósforo na parte aérea (folhas, caules e flores) e frutos (imaturos e maduros) para os tratamentos, mostrou que cerca de 80 % do P é destinado aos frutos. Não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para a eficiência de utilização dos macronutrientes. Os teores das formas mais lábeis de fósforo foram influenciados pela adubação, ocorrendo diminuição dessas frações ao longo do cultivo do meloeiro. As formas lábeis e moderadamente lábeis de P tiveram participação de cerca de 80 % do P-total do solo. As formas orgânicas de P tiveram importante contribuição na disponibilização e manutenção das formas lábeis de P no solo. A associação de adubos (mineral e orgânico) se configurou na melhor forma de adubação fosfatada para o meloeiro. A adubação e o tempo de cultivo do meloeiro alteram a distribuição e a proporção das formas de fósforo no solo.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L. Eficiência de utilização. Formas lábeis.

ABSTRACT GENERAL

The phosphorus is one of the most applied nutrients in Brazilian agriculture and its availability and forms in soil are affected by fertilization. Melon plants are demanding in phosphorus and associated to the low natural fertility of the soils, it is justified the studies to increase the productivity of the fruits. The objective of this study was to evaluate the effects of mineral and/or organic fertilization on the efficiency of macronutrient utilization, accumulation, partition, partial balance of phosphorus (P) and the distribution of phosphorus fractions in the soil during the growth cycle of Goldex F1 hybrid melon. The experiment was carried out at the Experimental Field of the Pacajus, belonging to Embrapa Tropical Agroindustry, on soil that classified as Ultisol. The experimental design was in randomized blocks in split-plot, the fertilizers application as main treatments (mineral fertilization, bovine manure, bovine manure + mineral fertilization, poultry litter and poultry litter + mineral fertilization) five soil sampling in the subplots (before seedlings planting, early flowering, early fructification, fruit growing and fruit harvest), with four replicates. Every sampling, plants were collected, separated in shoots and roots and then in immature and mature fruits, to obtain the dry matter and chemical analysis. The technique of sequential fractionation of phosphorus was used for the determination of the organic and inorganic forms and later, the separation of these in compartments according to lability: P-Labile; P-Moderately labile and P-non labile. The partition of the phosphorus in the shoots (leaves, stems and flowers) and fruits (immature and mature) showed that about 80% of the P is destined for the fruits. There was no significant difference between treatments for macronutrient use efficiency. The contents of the most labile forms of phosphorus were influenced by the fertilization and there was a decrease of these fractions throughout the cultivation of the melon. The labile and moderately labile forms of P had about 80 % of the soil Total-P. The organic forms of P had an important contribution in the availability and maintenance of labile forms of P in the soil. The association of fertilizers (mineral and organic) was configured in the best form of phosphate fertilization for melon. The fertilization and the time of cultivation of the melon alter the distribution and proportion of the forms of phosphorus in the soil.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L. Use efficiency. Labile forms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental.....	28
Figura 2 - Croqui da área experimental e distribuição das épocas de coleta de amostras de solo	29
Figura 3 - Partição do P (em %) na parte aérea, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de coleta de plantas de meloeiro Goldex F1	38
Figura 4 - Balanço parcial de P no meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	40
Figura 5 - Localização da área experimental.....	46
Figura 6 - Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos	48
Figura 7 - Croqui da área experimental e distribuição das épocas de coleta de amostras de solo	49
Figura 8 - Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley, Stewart e Chauan (1982) e modificado por Condrón e Goh (1989)	56
Figura 9 - Teores de fósforo extraídos com resina de troca aniônica (P-RTA) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	60
Figura 10 - Teores de fósforo orgânico solúvel em água (Po-Sol _{H2O} , 10a) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica.	62
Figura 11 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraído com bicarbonato de sódio (Po-Bic, 11a) (Pi-Bic, 11b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	62
Figura 12 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraídos com hidróxido de sódio I (Po-NaOH I, 12a) e Pi-NaOH I, 12b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	63
Figura 13 - Teores de fósforo inorgânico extraído com ácido clorídrico (Pi-HCl) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	64
Figura 14 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraídos com hidróxido de sódio II (Po-NaOH II, 14a) e (Pi-NaOH II, 14b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	65
Figura 15 - Teores de fósforo residual (P-Residual) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	66

- Figura 16** - Fósforo lábil (P-Lábil) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica 68
- Figura 17** - Fósforo moderadamente lábil (P-Moderadamente lábil, 16a) e fósforo não lábil (P-Não lábil, 16b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica 70
- Figura 18** - Fósforo total (P-Total) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica 72
- Figura 19** - Distribuição percentual do fósforo total (P-Total) entre formas orgânicas e inorgânicas em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do esterco de bovinos (EB) e da cama de frangos (CF) utilizados no experimento	30
Tabela 2 - Quantidades de P ₂ O ₅ aplicadas na forma de adubos minerais e orgânicos	31
Tabela 3 - Acúmulo na parte aérea e exportação de fósforo pelos frutos maduros de meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica.....	34
Tabela 4 - Acúmulo de fósforo na parte aérea (folhas, caule, flores, frutos imaturos e maduros) por plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de coleta das plantas	36
Tabela 5 - Eficiência de utilização dos macronutrientes pelo meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica	39
Tabela 6 - Análise química do solo da área experimental	47
Tabela 7 - Análise química do esterco de bovinos (EB) e da cama de frangos (CF), na base seca, utilizados no experimento	50
Tabela 8 - Resumo da composição dos tratamentos	51
Tabela 9 - Formas de fósforo ¹ no solo obtidas na extração sequencial (Metodologia de Hedley, Stewart e Chauan (1982)) ao longo do desenvolvimento de plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de amostragem de solo	59
Tabela 10 - Formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis de fósforo no solo ao longo do desenvolvimento de plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de amostragem de solo	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE MACRONUTRIENTES, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE FÓSFORO NO MELOEIRO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO	24
3	FORMAS DE FÓSFORO EM SOLO CULTIVADO COM MELOEIRO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA	42
4	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO GERAL

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma olerícola da família das Cucurbitáceae e constitui uma das culturas de maior importância no cenário nacional devido à grande representatividade no mercado de exportação de frutas. Dentre as frutas frescas comercializadas pelo Brasil no mercado externo, o melão liderou em termos de volume exportado (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC, 2015) e destacou-se como a segunda fruta em termos de receita cambial, atingindo o montante de R\$ 468,45 milhões. Em 2014, o melão respondeu por 25 % e 33 %, respectivamente, do valor e do volume exportados de frutas frescas brasileiras.

Atualmente, uma grande diversidade de genótipos e fenótipos de meloeiro tem sido cultivada em todo o mundo. Para facilitar a classificação desses grupos, a espécie *Cucumis melo* L. foi subdividida em seis variedades ou grupos botânicos: *cantaloupensis*, *inodorus*, *conomon*, *dudaim*, *flexuosus* e *momordica* (ROBINSON; DECKER-WALTERS, 1997).

Os principais tipos comerciais de melão cultivados no Brasil pertencem as variedades *Cucumis melo* var. *inodorus* Naud e *Cucumis melo* var. *cantalupensis* Naud, sendo o primeiro correspondente aos melões sem aroma, por isso a denominação inodoros, e o segundo, representado por melões que apresentam aroma, denominados de aromáticos (ARAGÃO, 2011). Os melões da variedade *inodorus* são bem aceitos no mercado brasileiro, principalmente por apresentarem resistência ao manuseio, ao transporte e a pragas e doenças (COSTA; SILVA, 2002).

Dentre os tipos mais apreciados de meloeiro está o híbrido Goldex F1, classificado como amarelo, com plantas vigorosas, alta produtividade, tolerante às raças 0 e 2 de *Fusarium* e ao oídio, alto teor de sólidos solúveis (12 a 13° Brix), ideal para a exportação e com ciclo variando de 64 a 70 dias (MENDES *et al.*, 2008).

O Nordeste brasileiro é a região de produção mais representativa; somente os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte responderam por 98,9 % das exportações de melão em 2013 (IPECE, 2013). No ano de 2014, a produção da região Nordeste do Brasil foi de 559.102 toneladas de melão, o que representou 94,76 % da produção nacional. Os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte são os maiores produtores, respondendo por 81,37 % da produção nacional, com 454.966 toneladas (IBGE, 2014).

O amplo cultivo na região Nordeste é atribuído aos fatores climáticos favoráveis, tais como: temperaturas que variam de 24 a 32°C, baixa umidade relativa do ar, alta incidência luminosa e baixos índices pluviométricos (~500 mm por ano) (ANGELOTTI; COSTA, 2010). Outro fator importante é a utilização de técnicas de cultivo, tais como a fertirrigação, alta densidade de plantio, cultivo em ambientes protegidos e o uso de equipamentos e máquinas modernas, que melhoram as condições naturais da região (SOUSA *et al.*, 1999; VIANA *et al.*, 2007). Aliado a isso, vale destacar que os estados do Rio Grande do Norte e Ceará estão livres do acesso da mosca das frutas (*Anastrepha grandis*) e a comercialização do melão produzido na região ocorre nos meses de setembro a janeiro, coincidindo com a entressafra mundial (SENAR, 2007).

Apesar de a região Nordeste apresentar boas condições para o cultivo do melão, os solos explorados (Cambissolos, Latossolos, Argissolos e Neossolos) nem sempre são capazes de suprir a demanda de nutrientes, sendo necessário calagem e adubação (CRISÓSTOMO *et al.*, 2002), visando a correção da acidez e o fornecimento de nutrientes. As recomendações propostas para o cultivo do meloeiro na região Nordeste sugerem que a calagem seja feita com o intuito de elevar a saturação por bases a 80 %; que a aplicação de potássio e de fósforo seja com base nos resultados da análise química do solo; e a dose de nitrogênio, de acordo com a produtividade esperada de frutos (CRISÓSTOMO *et al.*, 2002). Para a adubação orgânica, o mesmo autor recomenda a aplicação de 15 m³ ha⁻¹ (3 L m⁻¹ linear) de esterco de bovinos curtido ou 5 m³ ha⁻¹ (1 L m⁻¹ linear) de cama de frangos.

O meloeiro é uma das plantas mais exigentes em nutrientes para o seu desenvolvimento. O nitrogênio (N) e o potássio (K) são os mais exigidos pela cultura, sendo responsáveis por mais de 80 % do total de nutrientes exportados pela planta (SILVA *et al.*, 2000). O fósforo (P), apesar de exigido em menor proporção, desempenha papel importante no crescimento e reprodução, na maturação, formação de sementes (LÓPEZ-BUCIO *et al.*, 2002), na floração e frutificação das plantas, além de influenciar no teor de sólidos solúveis dos frutos, exercendo influencia direta na qualidade destes (BRITO *et al.*, 2000). Desempenha funções biológicas básicas como elemento estrutural em ácidos nucleicos (DNA), transportador de informações genéticas (RNA), fosfolipídios, no metabolismo energético (ATP e ADP), metabolismo de carboidratos, regulação fotossintética e como regulador de enzimas (MARSCHNER, 2012). Além disso, o P faz parte de processos metabólicos como a respiração, glicólise, síntese e estabilidade da membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N₂ (VANCE; UHDE-STONE;

ALLAN, 2003). Por fazer parte destes compostos, o P se torna essencial na divisão celular e na reprodução vegetal (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

A produção agrícola em condições tropicais e subtropicais é, na sua grande maioria, limitada pela baixa disponibilidade de fósforo nos solos (HINSINGUER, 2001). Estima-se que apenas de 10 a 20 % do P aplicado na forma de fertilizantes fosfatados seja aproveitado pelas culturas (CAMPOS *et al.*, 2005; VU *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2009) e que de 95 % a 75 % seja fixado ao solo (FALCÃO; SILVA, 2004), sendo necessária a aplicação de adubos fosfatados em quantidades elevadas.

Para otimizar o uso de adubos fosfatados pelas culturas, uma das maneiras é por meio da curva de acúmulo de P ao longo do ciclo de cultivo das plantas. Essas curvas, se utilizadas de forma detalhada, podem vir a fornecer informações tais como, a época de maior exigência em P, em quais órgãos da planta o nutriente se encontra em maior quantidade, o quanto é exportado na colheita, a quantidade de P exigida para a produção e o quanto será necessário repor ao solo para que não ocorra o esgotamento das reservas do nutriente (MARSCHNER, 1995).

Desse modo, o conhecimento sobre o acúmulo de P durante as fases de desenvolvimento de uma cultura constitui-se em ferramenta importante para auxiliar as recomendações de adubação e o manejo dos fertilizantes fosfatados (ECHER *et al.*, 2009), evitando que sejam feitas aplicações com doses inadequadas, tanto em quantidades inferiores, quanto em doses excessivas. Porém, vale ressaltar que a curva de acúmulo de nutrientes não reflete o que deve ser aplicado nas adubações, e sim o que a planta necessita, devendo ser considerada a eficiência de aproveitamento dos nutrientes pela cultura. Esse aproveitamento dos nutrientes é influenciado por fatores como as condições climáticas, o tipo de solo, o sistema de irrigação, o manejo cultural, entre outros fatores (GRANGEIRO; CECÍLIO FILHO, 2004).

Outro parâmetro a ser estudado no ciclo de cultivo do meloeiro é a eficiência de utilização de nutrientes, a qual é tida como um dos principais componentes que integram a eficiência nutricional das plantas quando tratada sob o ponto de vista do requerimento interno de nutrientes (BAILIAN *et al.*, 1991). É estudada por meio do cálculo da relação entre a produção de matéria seca da planta inteira e o conteúdo do nutriente na matéria seca (SWIADER *et al.*, 1994). A eficiência de utilização é abordada por Siddiqi e Glass (1981), como sendo o produto do quociente de uso pela biomassa produzida, correspondendo à razão entre o quadrado da produção (matéria seca) e a quantidade do nutriente contida na biomassa.

A eficiência de uso do fósforo pelas culturas também pode ser avaliada por meio do método do Balanço Parcial de Nutrientes (BPN) ou método do “equilíbrio”, expresso em porcentagem (Syers *et al.*, 2008). Esse método baseia-se na razão entre o P removido pela colheita (fósforo advindo do fertilizante aplicado e o das reservas do solo) e o P aplicado ao sistema solo via fertilizações. A premissa do método é de que, em determinadas condições de uso e manejo do solo, quando as entradas de P são iguais às remoções pela colheita, a soma do P imediatamente disponível na solução com o P prontamente extraível (P-lábil) permanece constante ou pouco alterada.

Se o balanço do fósforo for superior a 100 %, implica que mais P foi removido do que a quantidade aplicada e, conseqüentemente, as reservas de P no solo podem vir a ser esgotadas, acarretando num decréscimo da fertilidade natural do solo. Por outro lado, se o balanço for menor do que 50 %, significa que o adubo fosfatado que foi adicionado está sendo usado de forma ineficiente, ou seja, o P aplicado não afetou o potencial de rendimento produtivo da cultura, podendo acumular no solo. O balanço é considerado adequado quando a recuperação do P encontra-se na faixa de 50 a 70 %, podendo vir a ser ainda mais elevado (SYERS *et al.*, 2008; ROBERTS; JOHNSTON, 2015).

O P se apresenta na solução do solo em três principais formas aniônicas: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , cujos teores são muito baixos, geralmente menores do que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e variam em função do pH (NOVAIS; SMITH, 1999). A forma monovalente (H_2PO_4^-) é predominante na solução quando os valores de pH encontram-se abaixo de 6,0; já com valores de pH mais elevado, ocorre a presença do ânion divalente (HPO_4^{2-}), podendo ser absorvido em quantidades similares as de H_2PO_4^- pelas plantas (SCHACHTMAN *et al.*, 1998). O ânion fosfato na sua forma monovalente H_2PO_4^- prevalece nos solos de reação ácida (pH entre 4,0 e 6,0), o que é característico das regiões tropicais e subtropicais do globo (HAVLIN *et al.*, 2005). Em solos agrícolas, o teor do nutriente atinge valores entre $0,002$ a 2 mg L^{-1} (FARDEAU, 1996). Em virtude da baixa disponibilidade do ânion na solução do solo, a quantidade que se encontra disponível para as plantas é muito baixa, havendo a necessidade de difusão do P da fase sólida para a solução, de modo a suprir as exigências das culturas (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

Após ser absorvido pelas plantas, o ânion fosfato permanece na forma oxidada, comportando-se de modo diferente do nitrogênio (N) e do enxofre (S). No interior da planta o P continua na forma inorgânica (como íon livre), principalmente (H_2PO_4^-), podendo se ligar a

cadeias carbônicas como éster de fosfato (açúcar fosfatado) ou, ainda, se ligar a outro fosfato (ATP) (MARSCHNER, 2012).

O contato do P do solo com a raiz é efetuado essencialmente por difusão (ARAÚJO *et al.*, 2003), sendo influenciado por fatores, tais como: interação fósforo-coloide no solo, teor do nutriente, conteúdo volumétrico de água no solo e a distância a ser percorrida até as raízes (COSTA *et al.*, 2006). A baixa concentração de fósforo disponível na solução do solo faz com que as plantas desenvolvam mecanismos adaptativos para maior aproveitamento do nutriente. Algumas plantas possuem a capacidade de modificar o tamanho, a massa, a forma e o número de raízes do sistema radicular. Também é comum a ocorrência de associações não mutualísticas e não patogênicas com fungos e bactérias, liberando ácidos orgânicos que mudam as propriedades do solo rizosférico (WHITE *et al.*, 2013). Esses processos são considerados cruciais para a sobrevivência das plantas em situações adversas, como por exemplo, solos com baixa disponibilidade de P (NIU *et al.*, 2012).

As formas de P no solo vão desde as que integram a estrutura cristalina de minerais primários, até as formas orgânicas estáveis, passando por vários estágios (RODRIGUES *et al.*, 2016). O fósforo inorgânico (Pi) do solo que integra os minerais primários (apatita) é de difícil identificação, principalmente devido a quantidade deste em relação aos demais minerais; assim, só é possível identificá-los com o uso de difratometria de raio X (LINDSAY; VLEK; CHIEN, 1989). A forma inorgânica de P (Pi) apresenta alta reatividade química com a fase sólida do solo, formando ligações de alta energia, de modo a ficar adsorvido às argilas silicatadas e aos oxi-hidróxidos de ferro e alumínio ou à matéria orgânica e ou formar precipitados insolúveis (GATIBONI, 2013). A adsorção do fosforo é diretamente correlacionada com o teor da fração de argila do solo (BARBIERI *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2014), sendo influenciada pelo conteúdo e cristalinidade dos óxidos de ferro (hematita, goethita e maghemita) e hidróxidos de alumínio (gibbsita) (BROGGI *et al.*, 2010, YOON *et al.*, 2014; BORTOLUZZI *et al.*, 2015). A goethita, em virtude de sua maior área superficial, geralmente adsorve mais P do que a hematita, (TORRENT *et al.*, 1994; WANG *et al.*, 2013; BORTOLUZZI *et al.*, 2015).

Desse modo, a capacidade máxima de adsorção de P em alguns solos do Brasil apresenta alta correlação com a quantidade de goethita presente no solo (BARBIERI *et al.*, 2009). As formas de adsorção descritas acima são predominantes em solos com reação ácida ou moderadamente ácida, o que é o caso da maioria dos solos intemperizados das regiões tropicais. Já em solos com condições neutras ou alcalinas de pH, ocorre a predominância das

ligações entre o fósforo e o cálcio, formando os compostos mono, bi e tricálcico, com grau de energia de ligação crescente, respectivamente (ZAVASCHI, 2014).

A outra forma de ligação do fosfato é a precipitação em solução. Em solos com reação ácida, o ânion fosfato pode precipitar com o ferro (estregita), com o alumínio (variscita) ou com o manganês, enquanto em condições de neutralidade ou de alcalinidade, a precipitação ocorre com o cálcio. Essas formas de ligação do fósforo, juntamente com a adsorção a matéria orgânica, que se dá por pontes de cátions, constituem-se nas principais formas de indisponibilização dos íons fosfatos em solução (RAIJ, 2011), formando substâncias de composição definida e de baixa solubilidade (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Essas formas do P que se encontram precipitadas ou adsorvidas aos coloides (fixadas) podem voltar a dissolver-se, em função da mudança no uso da terra, variação das condições ambientais, modificação no pH ou pelo tipo e quantidade de minerais existentes na fração argila do solo (WRIGHT, 2009).

As formas de fósforo orgânico (Po), que são compostas tanto pelo P contido na biomassa microbiana quanto pelo P dos resíduos e da matéria orgânica do solo, representam de 20 a 80 % do P-total do solo (GATIBONI *et al.*, 2013). A parte contida na biomassa microbiana do solo corresponde a menos de 10 % do total orgânico, sendo o restante (cerca de 90 %) formado por grupamentos ésteres do ácido fosfórico, tais como o fosfomonoésteres, fosfodiésteres, polifosfatos orgânicos e ácidos fosfóricos anídricos, além de algumas formas desconhecidas (GATIBONI *et al.*, 2013; NASH *et al.*, 2014; STUTTER *et al.*, 2015).

Os principais grupamentos formados pelas ligações ésteres do ácido fosfórico são: fosfato de inositol (10 a 80 % do P-orgânico total), os fosfolipídios (0,5 a 7 %), os ácidos nucleicos (~ 3 %) e outros ésteres fosfato com participação menor do que 5 % (NOVAIS; SMYTH, 1999). Desse modo, em situações em que o manejo do solo favorece o acúmulo de matéria orgânica, o P orgânico pode desempenhar papel importante na disponibilização de P para as plantas.

Nos solos tropicais, com baixas concentrações naturais de P devido ao intemperismo, as reservas de P-orgânico e a decomposição da matéria orgânica são essenciais para a produtividade das plantas (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Assim, condições de manejo de adubação que favoreçam a acumulação de materiais orgânicos ao solo visando a manutenção do fornecimento de P, podem ser a chave para manter concentrações adequadas de P nesses solos em longo prazo, aumentando assim, o seu potencial produtivo (NESPER *et al.* (2015).

A adubação orgânica pode afetar diretamente o comportamento do P e a sua disponibilidade para as plantas e microrganismos. Dao (2004) verificou que, tanto a liberação direta do P contido no material orgânico, quanto a produção de ácidos orgânicos resultante do processo de mineralização pelos microrganismos, provoca aumento no acúmulo de P na camada superficial do solo. Estes últimos podem competir com os sítios de adsorção do P no solo, liberando parte do elemento que estava ligado à fase sólida (FIORUCCI *et al.*, 2002).

O fosfato que está presente na solução do solo em formas disponíveis e prontas para a absorção pelas plantas corresponde a menos de 1 % do P-total. Desse modo, para que a necessidade das plantas seja satisfeita, o P da solução deve ser repostado constantemente (FROSSARD *et al.*, 2000). As transformações do nutriente entre as formas orgânicas e inorgânicas envolvem um conjunto de propriedades do solo.

O P da solução é repostado por meio dos processos de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução e mineralização/imobilização que ocorrem no perfil do solo. A distinção entre estes processos é complicada pelo fato de resultarem tanto da ação dos exsudatos de raízes de plantas quanto da atuação dos microrganismos (RICHARDSON *et al.*, 2011). As taxas brutas de mineralização do P-orgânico variam de 0,1 a 2,5 mg de P kg⁻¹ de solo, sendo que em sistemas de pastagens e solos florestais foram observados valores maiores (BÜNEMANN, 2015). Há relatos de que o efeito da associação de fertilizantes minerais e orgânicos é variável, sendo muito dependente do manejo empregado e da taxa de aplicação (YANG *et al.*, 2010; PIZZEGHELLO *et al.*, 2014).

O estudo das formas de P no solo tem sido fundamental para se determinar quais frações estão relacionadas com a disponibilidade do nutriente, além de prever a dinâmica que o elemento apresenta frente aos sistemas de manejo empregados. A distribuição do P entre formas orgânicas e inorgânicas no solo são alteradas em função do uso do solo (WRIGHT, 2009; AGUIAR *et al.*, 2013; CREWS; BROOKES, 2014). A aplicação de adubos fosfatados no solo faz com que as formas de P (orgânicas e inorgânicas) sejam redistribuídas em função do grau de energia de ligação, acumulando-se mais nas formas inorgânicas (GATIBONI *et al.*, 2008; PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009).

A maior ou menor facilidade com que as formas fixadas do P têm em repor o íon fosfato para a solução do solo é chamada de labilidade. Assim, quando os compostos são capazes de repor o P rapidamente na solução do solo, a fração é denominada de lábil (P-lábil). Por outro lado, quando a solubilidade dos compostos precipitados ou fixados é baixa,

resultando em formas de menor disponibilidade, a fração é denominada de não lábil (P-não lábil) (NOVAIS *et al.*, 2007).

O equilíbrio entre o P da solução e o da fase sólida depende de três fatores: concentração dos íons fosfato na solução, quantidade de P na fase sólida e resistência do solo à dessorção desse P, sendo que o primeiro fator é o que se denomina fator intensidade (I), o segundo, fator quantidade (Q) e o terceiro, fator capacidade ou poder tampão (Q/I) (NOVAIS *et al.*, 2007). Os mesmos autores ainda comentaram que tanto as formas minerais quanto as orgânicas estão sujeitas a esses processos que governam o equilíbrio do P no solo.

A melhor maneira de entender a dinâmica do P no solo é por meio de separação das partes orgânicas e inorgânicas e, para isso, o método mais amplamente aplicado é o uso do fracionamento sequencial. Por esse método é feita a extração do P utilizando-se soluções extratoras que apresentem seletividade e capacidade crescente na dissolução dos compostos contendo P (GATIBONI *et al.*, 2013).

De acordo com Condon e Newman (2011), os esquemas de fracionamentos de P devem ser utilizados conforme a aptidão do solo e classificados em: formas inorgânicas de P para solos neutros e ácidos (CHANG; JACKSON, 1957); formas orgânicas de P e P microbiano (BOWMAN; COLE, 1978), e formas inorgânicas e orgânicas de P (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982). Dentre esses fracionamentos, o de Hedley; Stewart e Chauhan (1982) tem sido mais utilizado, por extrair formas orgânicas e inorgânicas, desde as mais lábeis até as mais recalitrantes. O método original proposto por Hedley, Stewart e Chauhan (1982) passou por diversas modificações, as principais foram às feitas por Condon e Goh (1989) e as de Cross e Schlesinger (1995). Após as modificações, as frações obtidas por esse fracionamento puderam ser correlacionadas com as formas do fósforo no solo. Assim, fósforo inorgânico extraído por resina (P-RTA), orgânico solúvel em água (Po-Sol._{H2O}) e o orgânico e inorgânico extraídos com bicarbonato de sódio (Po-Bic e Pi-Bic) são classificados como P-lábil. O P-moderadamente lábil corresponde ao P extraído com hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ (P-NaOH I) e o inorgânico extraído por HCl (P-HCl). O P-NaOH I extrai o P quimiosorvido aos óxidos de Fe e Al e formas orgânicas de labilidade moderada (Pi-NaOH I e Po-NaOH I), enquanto o HCl extrai o Pi ligado a fosfatos de cálcio (adsorvidos fortemente, porém considerado como moderadamente lábil). A forma não lábil de P compreende as frações extraídas com hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹ (P-NaOH II) e a fração não extraída por nenhum dos extratores anteriores, chamada de P-residual, é extraída por digestão do solo com H₂SO₄ (1:1). A segunda extração com NaOH, em maior concentração,

remove formas orgânicas e inorgânicas de P (Po-NaOH II e Pi-NaOH II) que estariam química ou fisicamente protegidas internamente aos agregados, enquanto a digestão residual extrai o P orgânico e inorgânico (Po e Pi) mais recalcitrante remanescente no solo.

Vale salientar que a entrada do P extraído com hidróxido de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P-NaOH II) na fração não lábil se deve a mudança na ordem de extração após a modificação feita por Condrón e Goh (1989). Isso ocorreu quando se observou que a extração com HCl intercalando as extrações com NaOH potencializava a segunda extração com o hidróxido, restando menos P residual ao solo (P não lábil). A substituição da ultrassonificação do solo, que era feita na sequência da extração com NaOH I por extração posterior ao HCl com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ possibilita a remoção de formas de P intra-agregados que não foram extraídos com HCl. Portanto, presumir que o P-NaOH II seria de labilidade moderada acarretaria em equívocos na interpretação da dinâmica do P no solo.

Na tentativa de quantificar as formas de fósforo, o fracionamento químico permite definir quais os reservatórios do elemento no solo que mais contribuem com o P disponível para as plantas, verificando as alterações a curto e longo prazo na distribuição das frações de P em função das mudanças de manejo do solo (FROSSARD *et al.*, 2000) e, assim, concluir sobre os efeitos do manejo na disponibilidade de P e ajustar as doses recomendadas para as culturas.

Diante do exposto acima, entende-se que as adubações mineral e/ou orgânica são estratégias para o suprimento da demanda do meloeiro em fósforo. Entretanto, diversos fatores devem ser considerados para o sucesso da prática: época, quantidade, fonte e modo de aplicação dos fertilizantes. Dessa maneira, é fundamental conhecer as transformações que ocorrem com o nutriente no solo e obter informações sobre a eficiência nutricional da planta para o aumento do aproveitamento da adubação.

Deste modo, partindo das hipóteses de que:

(1) a distribuição e proporção das formas de fósforo no solo são afetadas pela adubação mineral e orgânica;

(2) a associação de adubos minerais e orgânicos constitui-se na melhor estratégia para disponibilizar fósforo para o meloeiro e;

(3) a fonte de fósforo utilizada, orgânica e/ou mineral, interfere na eficiência de utilização de nutrientes pelo meloeiro.

objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de adubos minerais e/ou orgânicos no meloeiro híbrido Goldex F1, cultivado em Argissolo Vermelho-Amarelo, nos seguintes

aspectos: (1) nas formas de fósforo do solo; (2) na eficiência de utilização de macronutrientes pelo meloeiro e; (3) no acúmulo, partição do P e balanço parcial (entradas e saídas) de P pelo meloeiro.

2 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE MACRONUTRIENTES, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE FÓSFORO NO MELOEIRO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO

RESUMO

O meloeiro (*Cucumis melo L.*), por ter grande participação no mercado de exportações e grande aceitação pelos consumidores, é uma planta hortícola de importância econômica, principalmente para o nordeste brasileiro, cuja produtividade é elevada. Objetivou-se avaliar a eficiência de utilização de macronutrientes, o acúmulo, a partição e o balanço parcial de fósforo (P) em meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, sendo a aplicação dos fertilizantes como tratamentos principais (adubação mineral, esterco de bovinos, esterco de bovinos + adubação mineral, cama de frangos e cama de frangos + adubação mineral), as épocas de coleta de planta nas subparcelas (início do florescimento, início da frutificação, crescimento de frutos e colheita dos frutos) e quatro repetições. Em cada época, plantas inteiras foram coletadas, separadas em parte aérea e raízes, e quando havia, em frutos imaturos e maduros, para a obtenção da matéria seca e análise química. O acúmulo de fósforo no meloeiro foi linear durante o ciclo da cultura. A partição do fósforo na parte aérea (folhas, caules e flores) e frutos (imaturos e maduros) para os tratamentos, mostrou que cerca de 80 % do P é destinado aos frutos. Não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para a eficiência de utilização dos macronutrientes, sendo que a ordem decrescente de utilização pela planta foi $S > P > Mg > Ca > N > K$. Quanto ao balanço parcial de fósforo, apenas o tratamento cama de frangos está na faixa considerada adequada de recuperação do nutriente. A adubação mineral e/ou orgânica não interfere no acúmulo de nutrientes e na partição do fósforo pelo meloeiro híbrido Goldex F1.

Palavras-chave: *Cucumis melo L.* Adubos orgânicos. Recuperação do fósforo.

2 EFFICIENCY OF USE OF MACRONUTRIENTS, ACCUMULATION AND EXPORT OF PHOSPHORUS IN MELON DUE TO FERTILIZATION

ABSTRACT

The melon (*Cucumis melo L.*), for having great participation in the exportations market and great acceptance by consumers is configured in a horticultural plant of great economic importance, mainly to the Brazilian northeast, whose productivity is high. The aim of this study was to evaluate the efficiency of macronutrients utilization, accumulation, partition and the partial balance of phosphorus (P) in Goldex F1 hybrid melon, as affected by mineral and/or organic fertilization. The experiment was carried out at Experimental Field of the Pacajus, belonging to Embrapa Tropical Agroindustry, on soil that classified as Ultisol. The experimental design was in randomized blocks, in split-plot, being the application of fertilizers as main treatments (mineral fertilization, bovine manure, bovine manure + mineral fertilization, poultry litter and poultry litter + mineral fertilization) and plant sampling in the subplots (early flowering, early fructification, fruit growth and fruit harvest) and four replications. Every sampling, plants were collected, separated in shoots and roots and then in immature and mature fruits, to obtain the dry matter and chemical analysis. The accumulation of phosphorus in the melon was linear during of the crop cycle. The partition of the phosphorus in the shoots (sheets, stems and flowers) and fruits (immatures and matures) for the treatments, showed that about 80% of the P is destined for the fruits. There was no significant difference between treatments for the macronutrient utilization efficiency, being that the order of decreasing utilization of the plant was $S > P > Mg > Ca > N > K$. For the partial balance of phosphorus, only the poultry litter was found in the considered adequate range of nutrient recovery. Mineral and/or organic fertilization does not interfere in nutrients accumulation and phosphorus partition by Goldex F1 hybrid melon.

Key words: *Cucumis melo L.* Organic fertilizers. Phosphorus recovery.

INTRODUÇÃO

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma olerícola da família das Cucurbitaceae e o fruto é apreciado no mundo todo. Na região Nordeste do Brasil, principalmente os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, destacam-se como os maiores produtores e exportadores do fruto (IBGE, 2015).

Apesar da região Nordeste apresentar condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do meloeiro, nem sempre os solos suprem a demanda nutricional da cultura. Sabendo-se que meloeiro é uma cultura de ciclo curto, com alta taxa de crescimento da planta e de exigência de nutrientes e somada a baixa fertilidade natural dos solos, justificam-se as práticas de calagem e a utilização de elevadas doses de fertilizantes para a viabilidade do cultivo (CRISÓSTOMO *et al.*, 2002).

Em solos de regiões tropicais, a disponibilidade de fósforo é, muitas vezes, fator limitante a produtividade das culturas. Com isso, a aplicação de fertilizantes fosfatados é elevada. No ano de 2014 foram consumidos 5.187.500 toneladas de P_2O_5 (IPNI, 2014). Para racionalizar a utilização dos fertilizantes, conseguir maior rentabilidade e menor impacto ambiental, é importante o conhecimento da cultura, da quantidade dos nutrientes absorvidos durante seu ciclo e a sua relação com as fases fenológicas, ou ainda, de acordo com Fageria (2000) e Rozane *et al.* (2007), a utilização de plantas com maior eficiência nutricional.

O conhecimento da eficiência nutricional de um determinado genótipo permite a adoção de regimes diferenciados de adubação nessa cultura e o plantio em solos com fertilidade variada (PINTO *et al.*, 2011). A eficiência de utilização de nutrientes é um dos principais índices empregados para diferenciar, caracterizar e classificar espécies quanto ao comportamento nutricional (FONTES *et al.*, 2013). Para Martinez *et al.* (1993), a eficiência de utilização é dependente do transporte raiz-parte aérea e da exigência metabólica da planta, sendo obtida, conforme Siddiqi e Glass (1981), como resultado do quociente entre a biomassa total da planta e a concentração do nutriente.

Outro recurso utilizado para mensurar a eficiência de uso de nutriente pelas culturas é o método do Balanço Parcial de Nutrientes (BPN) ou método do “equilíbrio” (SYERS *et al.* 2008). Por esse método, em determinadas condições de uso e manejo do solo, as entradas de P são iguais às remoções pela colheita, a soma do P imediatamente disponível na solução + o P prontamente disponível e extraível (P-lábil) permanecem constantes. De acordo com Syers *et al.* (2008); Roberts e Johnston (2015), o balanço de P é considerado

adequado quando a recuperação do P encontra-se na faixa de 50 a 70 %, podendo ser ainda mais elevado.

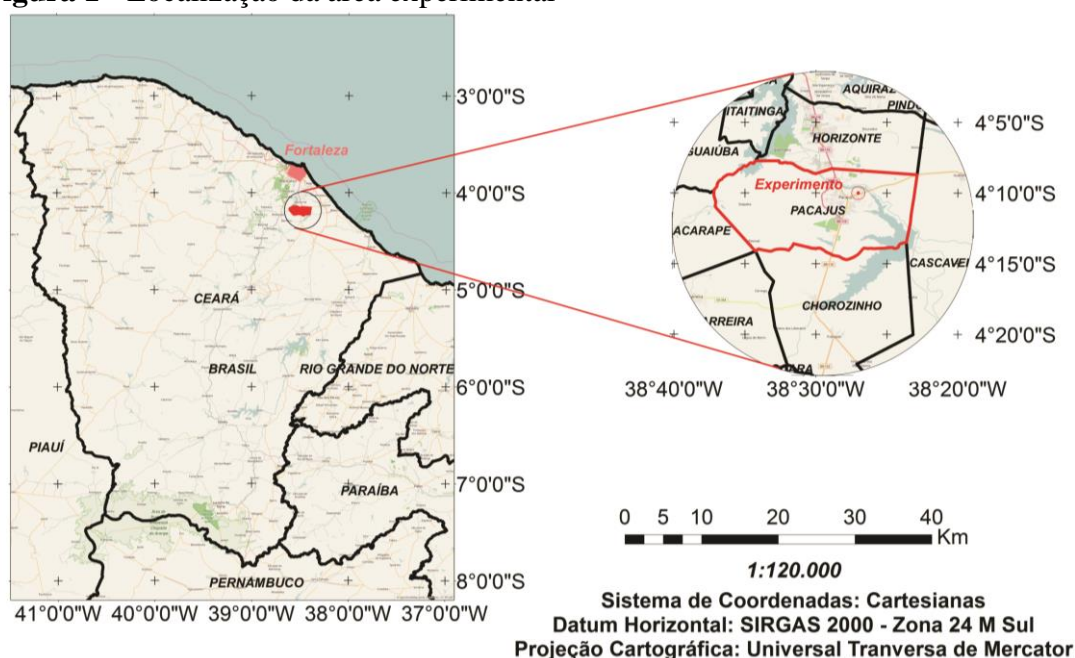
Somam-se a isso as particularidades de uma determinada cultura, como o padrão de acúmulo de biomassa e de nutrientes, que são fundamentais para a definição das quantidades e épocas de aplicação dos adubos, além das quantidades mínimas que devem ser restituídas ao solo para a manutenção da fertilidade (MAUAD *et al.*, 2015).

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência de utilização de macronutrientes, o acúmulo, a partição e o balanço parcial de fósforo (P) em meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Pacajus – CE (FIGURA 1), em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA; OLIVEIRA; AQUINO, 2002). O clima da região é do tipo Aw (clima quente com temperatura do mês mais frio superior a 18 °C, verão chuvoso e inverno seco) pela classificação de Köppen (EMBRAPA, 2001) e pluviosidade média anual de 954,3 mm (FUNCEME, 2015). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm para a caracterização da área, conforme metodologias descritas em Silva *et al.* (2009).

Figura 1 - Localização da área experimental



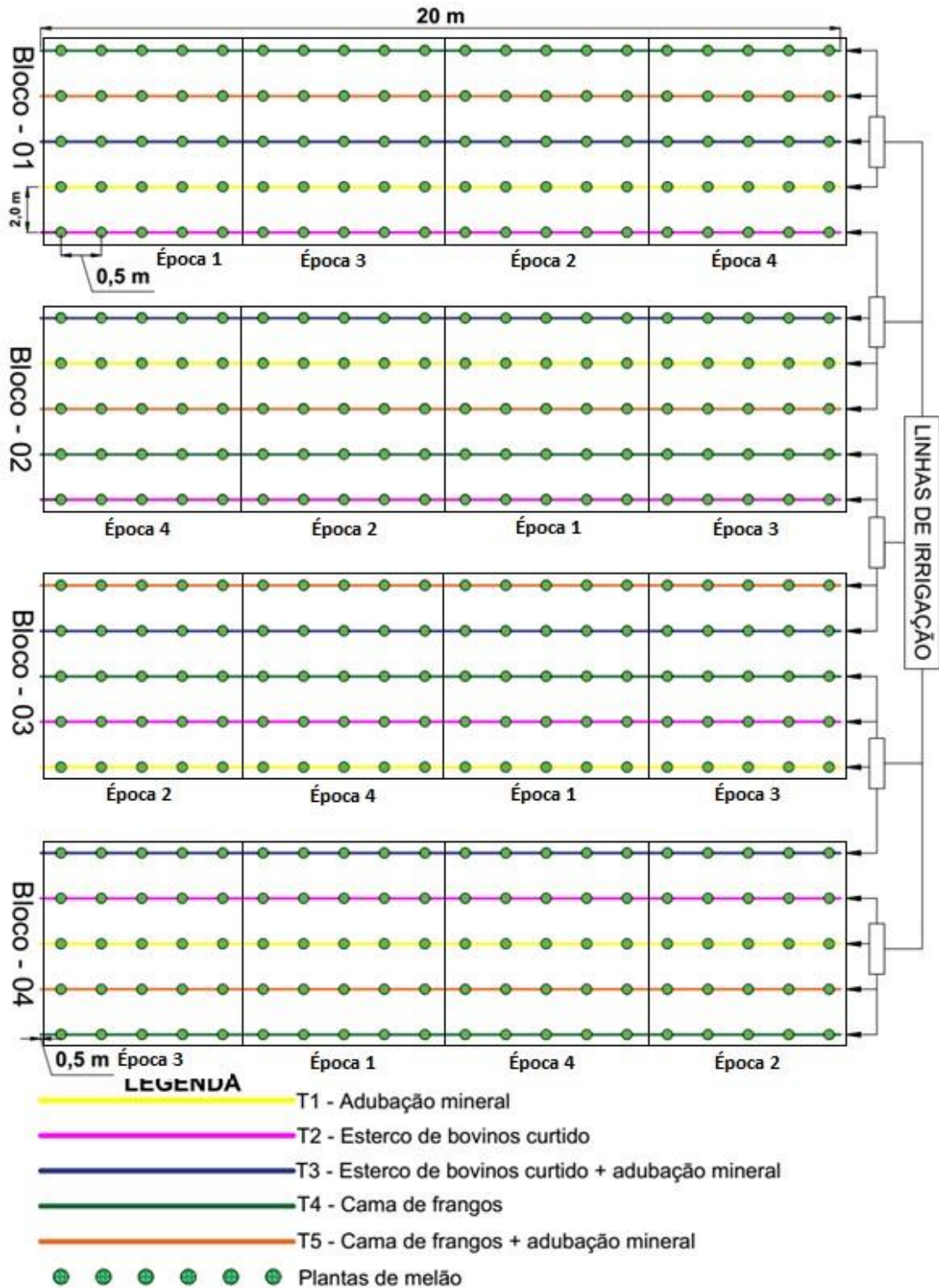
Fonte: Autor

A caracterização química do solo da área experimental apresentou os seguintes resultados: $\text{pH}_{(\text{água})} = 6,8$; $\text{P} = 29 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mehlich 1); $\text{K} = 1,4$; $\text{Ca} = 22$; $\text{Mg} = 13$; $\text{Na} = 2,8$; $\text{Al} = 0,0$; $\text{H} + \text{Al} = 9$; $\text{SB} = 39$ e $\text{CTC} = 48$ em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{V} \% = 82$. Os valores de micronutrientes em mg dm^{-3} foram: $\text{Zn} = 0,4$; $\text{Cu} = 0,1$; $\text{Fe} = 8$ e $\text{Mn} = 8$.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo as adubações como tratamentos principais (T_1 - Adubação mineral; T_2 - Esterco de bovinos curtido; T_3 - Esterco de bovinos curtido + adubação mineral; T_4 - Cama de frangos; T_5 - Cama de frangos + adubação mineral), quatro épocas de coleta das plantas (21, 30, 39, e 63 dias após o transplântio (DAT), que corresponderam ao início do florescimento,

início da frutificação, crescimento de frutos e colheita dos frutos, respectivamente) nas subparcelas e quatro repetições (FIGURA 2).

Figura 2 - Croqui da área experimental e distribuição das épocas de coleta de amostras de solo



A unidade experimental foi composta por uma linha de 20 m de comprimento com espaçamento de plantio de 2,0 x 0,5 m entre linhas e plantas, respectivamente, totalizando 40 plantas.

A adubação orgânica foi aplicada nas doses equivalentes a 15 m³ ha⁻¹ (3 L por m linear) e 5 m³ ha⁻¹ (1 L por m linear), na forma de esterco de bovinos curtido e de cama de frangos, respectivamente, conforme recomendação de Crisóstomo *et al.* (2002). A caracterização dos adubos seguiu metodologias descritas em Brasil (2007) e Carmo *et al.* (2000) (TABELA 1). Os adubos orgânicos a base de esterco de bovinos e cama de frangos apresentavam densidades de 750 g L⁻¹ e 533 g L⁻¹, respectivamente.

Tabela 1 - Análise química do esterco de bovinos (EB) e da cama de frangos (CF) utilizados no experimento

	C-org	N-total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----									----- mg kg ⁻¹ -----			
EB	155,9	12,6	0,8	1,5	3,8	13,5	9,9	6,9	2,2	39	7.859	93	661
CF	342,0	31,6	4,4	0,6	7,2	13,7	25,9	3,2	2,8	19	1.255	142	173

A adubação mineral nitrogenada foi baseada na produtividade esperada de 20 a 30 t ha⁻¹ de frutos de meloeiro e a fosfatada e potássica com base nos resultados da análise de solo. A calagem não foi necessária pois a saturação por bases encontrava-se próximo aos 80% recomendados por Crisóstomo *et al.* (2002).

O experimento foi conduzido do dia 13 de julho a 21 de setembro de 2015. Nesse período, observou-se precipitação de 7,2 mm no dia 17 de julho de 2015 (FUNCEME, 2015). O solo da área experimental foi preparado por meio de aração e gradagem, sendo em seguida erguidos canteiros de 0,2 m de altura e 0,5 m de largura. A adubação fosfatada mineral foi feita no momento do preparo dos canteiros com o adubo sendo distribuído em linha e incorporado ao solo erguido no canteiro, enquanto que a nitrogenada e potássica foram feitas diariamente por meio de fertirrigação. Os adubos utilizados foram superfosfato simples, o cloreto de potássio e a ureia. A aplicação dos adubos orgânicos (cama de frangos e esterco de bovinos) foi feita no momento do preparo dos canteiros e incorporados ao solo por meio de enxada, com 15 dias de antecedência do transplante das mudas. As quantidades de P₂O₅ aplicadas na forma de adubos minerais e orgânicos estão apresentadas na TABELA 2.

Tabela 2 - Quantidades de P₂O₅ aplicadas na forma de adubos minerais e orgânicos

Adubação ¹	SS ²	AO	Total
----- P ₂ O ₅ em kg ha ⁻¹ -----			
AM	160	—	160
EB	—	98	98
EB + AM	160	98	258
CF	—	44	44
CF + AM	160	44	204

¹ Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

² Adubos: SS (superfosfato simples); AO (adubação orgânica).

O sistema utilizado para a irrigação da área foi o de gotejamento, utilizando-se fita gotejadora com ½ polegada e vazão de 1,5 L por hora. Para controle da irrigação foi considerada a estimativa da evapotranspiração e o coeficiente de cultivo para a cultura do melão (MIRANDA; SOUSA; RIBEIRO, 1999).

Após as adubações, os canteiros foram cobertos com lona plástica e, posteriormente, feitas aberturas na região que compreende os gotejadores para o transplântio das mudas.

As mudas de híbridos de meloeiro Goldex F1 foram produzidas em bandejas de polietileno preenchidas com substrato comercial, sendo transplantadas quando apresentavam duas folhas definitivas.

Nos canteiros que receberam adubação mineral, a fertirrigação foi iniciada após o transplântio e durou dos 7 até os 60 dias (DAT), enquanto nos canteiros que receberam exclusivamente adubos orgânicos foram irrigados apenas com água. A irrigação e a fertirrigação foram controladas por meio de abertura e fechamento de registro localizado no início de cada linha de irrigação.

Em cada época de coleta foram colhidas a parte aérea de plantas e, posteriormente, separadas em parte aérea (folhas, caule, flores) e quando havia, em frutos imaturos e maduros. Na sequência, as partes das plantas foram lavadas com solução de ácido clorídrico a 3% (v:v) e água deionizada. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel, levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante e, finalmente, pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey®.

Os teores de P foram determinados nas plantas coletadas nas quatro amostragens, com o propósito de quantificar o acúmulo e a partição do elemento ao longo do ciclo da cultura. Nas plantas da quarta amostragem (época da colheita dos frutos) foram feitas as

determinações dos teores de macronutrientes na parte aérea, frutos imaturos, frutos maduros. As determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S no tecido vegetal foram realizadas conforme procedimentos descritos em Silva *et al.* (2009).

O acúmulo de P foi calculado multiplicando o teor de P obtido em cada parte da planta analisada pela respectiva produção de matéria seca. A soma do P acumulado em todas as partes da parte aérea constituiu o acúmulo total (mg planta⁻¹). A exportação de P, expressa em mg planta⁻¹, foi calculada multiplicando o teor de P nos frutos maduros pela produção de matéria seca.

Para o cálculo da eficiência de utilização dos macronutrientes no meloeiro foram utilizadas a seguinte fórmula, representada pela Equação 1:

Eficiência de utilização do nutriente (EU), em grama (g) de matéria seca ao quadrado por mg do nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS, 1981):

$$EU = \frac{(\text{g de massa seca total})^2}{(\text{mg do nutriente na planta})} \quad (01)$$

O Balanço Parcial de Nutrientes (BPN) para fósforo foi calculado, considerando a razão entre o P removido pela colheita (que pode ser tanto advindo dos fertilizantes aplicados, quanto do P nativo do solo) e o P aplicado na forma de fertilizantes (Equação 2). O BPN ou método do “equilíbrio” do P (SYERS, 2008) foi estabelecido para verificação do comportamento dos fertilizantes fosfatados no solo e para prever a recuperação do P na área de cultivo, conforme o tipo de adubo aplicado.

$$BPN = \frac{(\text{P removido pela colheita})}{(\text{P aplicado na forma de fertilizante})} \times 100 \quad (02)$$

Os resultados referentes às eficiências de utilização dos macronutrientes e o balanço parcial de fósforo foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas por meio de teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. O acúmulo do P ao longo do ciclo da cultura foi ajustado por meio de modelos de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acúmulo de P no meloeiro híbrido Goldex F1

Apesar da quantidade de P_2O_5 aplicada ter variado de 44 a 258 kg ha⁻¹ (TABELA 2), correspondentes aos tratamentos cama de frangos (CM) e esterco de bovinos + adubação mineral (EB + AM), respectivamente, o acúmulo do nutriente na parte aérea do meloeiro híbrido Goldex F1 não foi influenciado pelas adubações (TABELA 3). A falta de resposta à aplicação do P pode estar relacionada à baixa exigência do meloeiro pelo nutriente quando comparado a outros nutrientes, sendo frequentemente relatado nos trabalhos de outros autores. Kano *et al.* (2010) em experimento com meloeiro rendilhado híbrido Bônus nº 2 (*Cucumis melo* L. var *reticulatus* Naud.) obtiveram valores acumulados de P ao final do ciclo de 708 mg planta⁻¹, sendo este o nutriente menos acumulado. O P também foi o nutriente menos acumulado no trabalho de Silva Júnior *et al.* (2006) com meloeiro “pele de sapo”, com acumulação de 1.400 mg planta⁻¹, superando apenas o acúmulo de Mg. Lima (2001), em experimento com híbridos de meloeiro, também verificou que o P e o Mg foram os que apresentaram menor acúmulo pelas plantas do meloeiro.

Melo (2011), trabalhando com meloeiro rendilhado pertencente à variedade *cantalupensis* (melão aromático), cultivado em substrato (areia e casca de amendoim), encontrou acúmulo de 910 mg planta⁻¹ de P no período da colheita, sendo o quarto nutriente mais acumulado, superado pelo N, K e Ca. Aguiar Neto *et al.* (2014), trabalhando com dois híbridos de meloeiro dos grupos amarelo e pele de sapo (Iracema e Gran Prix, respectivamente), cultivados em Baraúna – RN, encontraram acúmulo de P de 3.119 e 3.890 mg planta⁻¹ para ambos os híbridos no final do ciclo, respectivamente, com a seguinte sequência de acúmulo dos macronutrientes: K > N > P > Ca > Mg. No presente trabalho o P foi um dos macronutrientes menos acumulado, sendo superior apenas ao S.

De fato, a baixa exigência do meloeiro em P e, principalmente, o fato de as adubações fosfatadas serem, na maioria dos casos, superestimadas em relação à necessidade das plantas, visto que parte do nutriente adicionado pode se tornar indisponível, pode ser uma das principais causas da falta de resposta do meloeiro as adubações.

A produção de matéria seca de parte aérea (folhas, flores, caule e frutos maduros e imaturos) e a produtividade de frutos também não foram influenciadas pelas adubações (SOUZA, 2016), em avaliações desses parâmetros para o meloeiro híbrido Goldex F1 no mesmo experimento, indicando que a aplicação tanto do esterco de bovinos quanto da cama

de frangos foi eficiente em fornecer P para o meloeiro. Frequentemente relaciona-se a adubação orgânica apenas ao fornecimento de N, mas como observada na composição química do esterco de bovinos e da cama de frangos (TABELA 1), as contribuições de P e de K são consideráveis.

Tabela 3 - Acúmulo na parte aérea e exportação de fósforo pelos frutos maduros de meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica

Adubação ¹	Acúmulo de P na parte aérea ²	Exportação de P pelos frutos ³
	----- mg planta ⁻¹ -----	
AM	1.799	1.053
EB	1.780	833
EB + AM	1.581	977
CF	1.477	666
CF + AM	1.825	982

	Teste F ⁴	
Blocos	2,718 ^{ns}	2,053 ^{ns}
Adubação	1,349 ^{ns}	2,536 ^{ns}
C. V. (%)	15,72	21,44

¹ Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

² Acúmulo de P na parte aérea (folhas, caule, flores, frutos imaturos e maduros) de plantas de meloeiro híbrido Goldex F1.

³ Exportação de P pelos frutos maduros de meloeiro híbrido Goldex F1.

⁴ ns, ** e *: Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Em relação à exportação de P pelos frutos maduros, os valores variaram de 666 a 1.053 mg planta⁻¹, nos tratamentos com cama de frangos (CF) e adubação mineral (AM), respectivamente; no entanto, estes não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Melo (2011), trabalhando com meloeiro rendilhado “Fantasy” fertirrigado, encontrou exportação de cerca de 530 mg fruto⁻¹, valores inferiores aos encontrados neste trabalho. Aguiar Neto *et al.* (2014), trabalhando com híbridos dos grupos amarelos e pele de sapo (Iracema e Grand Prix), encontraram valores de 1.460 e 1.620 mg planta⁻¹, respectivamente. Esses valores foram maiores que os encontrados no presente trabalho.

No que se refere ao percentual de P acumulado ao longo do ciclo fenológico do meloeiro híbrido Goldex F1, este foi baixo na fase inicial do desenvolvimento (aos 21 DAT), representando apenas 5 % do total acumulado pela planta (TABELA 4). Na fase seguinte, observou-se incremento no acúmulo do nutriente, visto que nessa fase tem-se um rápido crescimento foliar e início da frutificação. Na fase de frutificação (39 DAT, terceira coleta), esse valor chegou a 52 % do total acumulado, sendo o restante acumulado até o final da frutificação. Esse aumento é atribuído à formação e desenvolvimento dos frutos, que são os principais drenos de nutrientes em todo o ciclo da cultura.

De acordo com Haag *et al.* (1981), a absorção de nutrientes é diferente durante a fase de desenvolvimento da planta, intensificando-se com o florescimento, a formação e o crescimento dos frutos. No trabalho de Kano *et al.* (2010) com meloeiro rendilhado híbrido Bônus nº 2 (*Cucumis melo* L. var *reticulatus* Naud.), a porcentagem de acúmulo de fósforo aos 15, 20, 52 e 72 DAT foi de 0,8; 4, 56 e 87 %, respectivamente, sendo esses valores menores que os encontrados no presente trabalho.

Os teores de nutrientes nos órgãos das plantas variam conforme as atividades fisiológicas (MINAMI; HAAG, 2003). Até o desenvolvimento dos frutos, as folhas e hastes são os órgãos com maior concentração de nutrientes, depois os frutos passam a ter maior acúmulo de nutrientes, o que conforme Grangeiro *et al.* (2005) e Vidigal; Pacheco e Facion (2007) evidencia serem o dreno preferencial de nutrientes e outros fotoassimilados.

Tabela 4 - Acúmulo de fósforo na parte aérea (folhas, caule, flores, frutos imaturos e maduros) por plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de coleta das plantas

Dias após transplantio (DAT) ¹	AM ²		EB		EB + AM		CF		CF + AM	
	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%
21	55	3,1	70	3,9	94	5,9	85	5,8	101	5,6
30	312	17,4	345	19,4	405	25,6	431	29,2	410	22,5
39	935	52,0	758	42,6	1.007	63,7	815	55,2	993	54,4
63	1.799	100	1.780	100	1.582	100	1.477	100	1.825	100

¹ Épocas: 21 dias após o transplantio (DAT): início do florescimento; 30 DAT: início da frutificação; 39 DAT: crescimento dos frutos e 63 DAT: colheita dos frutos.

² Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB +AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

Partição do P na planta

A partição do fósforo entre parte aérea (folhas + caule + flores), frutos imaturos e maduros seguiu uma distribuição padrão e semelhante entre os tratamentos avaliados (FIGURA 3). Na primeira coleta, feita 21 DAT, 100 % do P estava presente na parte aérea integrando as folhas e caules, uma vez que, não havia formação de partes reprodutivas. Após a primeira coleta teve início a fase reprodutiva, com a emissão das primeiras flores. Nessa fase observa-se o deslocamento do P das folhas e hastes para os primórdios reprodutivos em formação.

Na segunda coleta, aos 30 DAT, verificou-se o direcionamento mais intenso do P das folhas e hastes para o principal dreno, os frutos. Nesta fase, o tratamento com adubação mineral (AM) apresentou concentração de P superior a 90 % nas folhas, caules e flores, enquanto o tratamento com cama de frangos (CF) 32,7 % do P já estava direcionado para a composição dos frutos imaturos.

Aos 39 DAT mais de 60 % do P em todos os tratamentos já integrava o principal dreno (frutos imaturos) e no caso das plantas que receberam a cama de frangos (CF) esse valor chegou a 75 %.

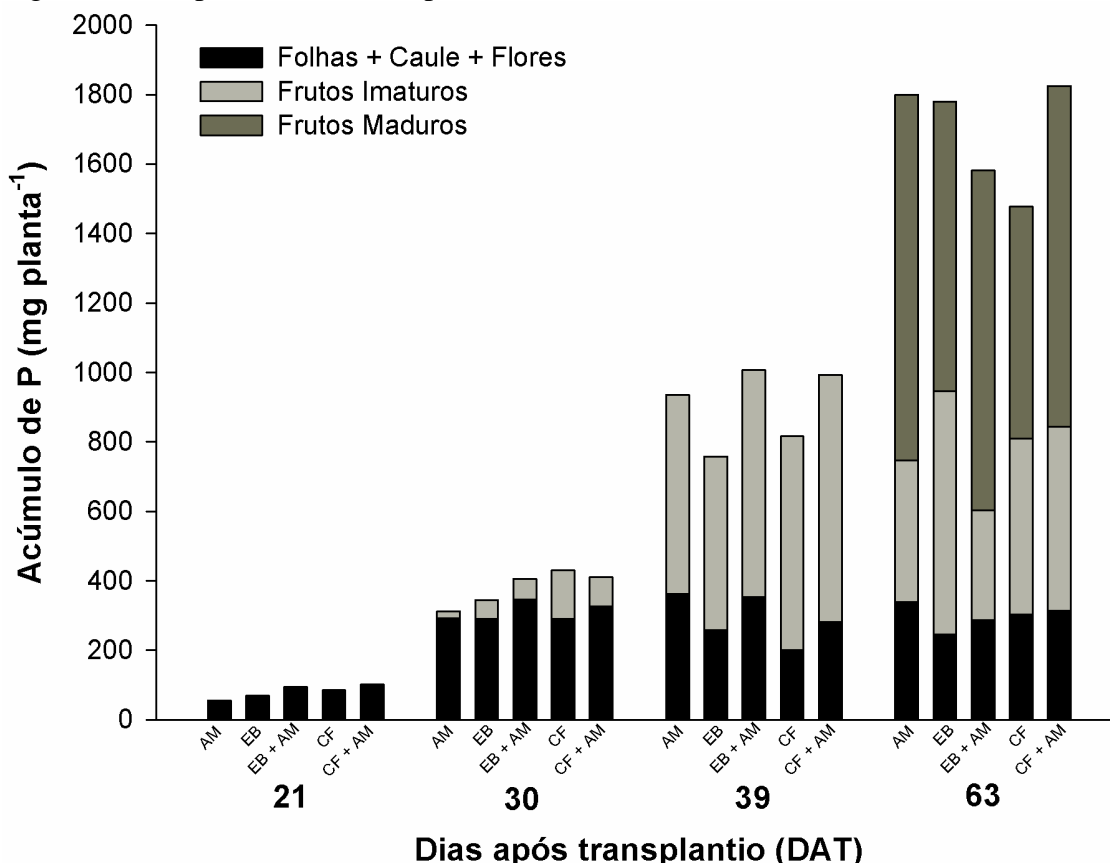
Ao final do ciclo (63 DAT) observa-se que do total do P acumulado na parte aérea, a maior parte estava na composição dos frutos imaturos e maduros, sendo superior a 80 % em quase todos os tratamentos, o que comprova que estes se comportam como o dreno principal da planta.

Os resultados encontrados convergem com os de Oliveira *et al.* (2016) para o meloeiro híbrido Goldex do grupo amarelo fertirrigado. Os autores, ao final do ciclo, encontraram uma distribuição percentual do P acumulado na parte aérea (folhas e caules) de 32 %, sendo o restante, 68 % na composição de frutos e sementes. Outros autores também verificaram para a abóbora (*Cucurbita spp.*) e para o meloeiro, que os frutos são os principais órgãos de acumulação de P (CARMO *et al.*, 2011; AGUIAR NETO *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Esse acúmulo de P, principalmente nos frutos, está relacionado com a fácil mobilidade via floema que o nutriente apresenta. De acordo com Marschner (2012), os nutrientes móveis se direcionam com facilidade para os frutos. Outro fato, seria a maior demanda metabólica dos frutos por esse nutriente (DUARTE; PEIL, 2010). O fósforo é

importante na fase de floração e frutificação das plantas, atuando na qualidade dos frutos (GOMES, 1974).

Figura 3 - Partição do P (em mg planta^{-1}) na parte aérea, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de coleta de plantas de meloeiro Goldex F1



Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

Épocas: 21 dias após o transplantio (DAT): início do florescimento; 30 DAT: início da frutificação; 39 DAT: crescimento dos frutos e 63 DAT: colheita dos frutos.

Eficiência de utilização de macronutrientes no meloeiro híbrido Goldex F1

O meloeiro híbrido Goldex F1 não apresentou diferença significativa quanto à eficiência de utilização dos macronutrientes para os tratamentos avaliados. A ordem decrescente de eficiência de utilização dos nutrientes pela planta foi $S > P > Mg > Ca > N > K$ (TABELA 5). Sousa (2013), trabalhando com o híbrido Goldex F1 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Mossoró – RN, obteve a seguinte ordem de eficiência de utilização para os macronutrientes: $Mg > P > Ca > N > K$ com valores de $682625,48 > 110427,2 > 52230,13 > 17733,55 > 10280,60$ em $\text{g massa seca total}^2 / \text{mg do nutriente na planta}$, respectivamente. Com exceção do P, o meloeiro Goldex (inodoro) ainda apresentou índices de eficiência de utilização superiores a outras duas cultivares de melões aromáticos, o Cariben Gold e o McLaren, respectivamente. A inversão entre P e Mg nos trabalhos se dá em virtude

das fontes de adubos utilizadas e das quantidades aplicadas nos diferentes experimentos, além disso, está relacionada a capacidade da própria planta de utilizar os nutrientes e assimilando-os da melhor forma e convertendo em biomassa.

A aplicação de adubos proporcionou a disponibilização dos nutrientes em quantidades suficientes ao atendimento da demanda nutricional das plantas de meloeiro híbrido Goldex F1, e fez com que as mesmas apresentassem capacidade similar de redistribuir e utilizar esses nutrientes no processo de crescimento.

Tabela 5 - Eficiência de utilização dos macronutrientes pelo meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica

Adubação ¹	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g massa seca total ² / mg do nutriente na planta -----						
AM	30,61a ²	125,19a	15,14a	42,09a	66,03a	450,65a
EB	34,42a	146,71a	16,80a	50,03a	68,15a	477,26a
EB + AM	28,17a	119,70a	15,25a	34,53a	65,58a	419,59a
CF	31,12a	148,30a	16,99a	33,04a	71,63a	445,94a
CF + AM	26,69a	115,35a	15,34a	40,89a	64,07a	393,92a
Teste F ³						
Adubação	0,946 ^{ns}	0,848 ^{ns}	0,437 ^{ns}	1,002 ^{ns}	0,167 ^{ns}	0,504 ^{ns}
Blocos	0,444 ^{ns}	0,142 ^{ns}	0,561 ^{ns}	0,440 ^{ns}	0,405 ^{ns}	1,507 ^{ns}
C. V. (%)	19,04	23,28	16,52	31,83	20,05	21,48

¹ Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

² Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

³ ns, ** e *: Não significativo; significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

A eficiência de utilização varia conforme a disponibilidade do nutriente no substrato, sendo que, à medida que aumenta a disponibilidade do nutriente no substrato, a eficiência de utilização diminui (SILVA; FURTINI NETO; VALE, 1996). De modo geral, os nutrientes mais absorvidos pelas plantas tendem a apresentar menores índices de eficiência de utilização. A explicação é que, nessa condição, o incremento na produção de biomassa pelas plantas não acompanha a absorção e o acúmulo de nutrientes nos tecidos, ocorrendo assim, diminuição na utilização interna do nutriente para a produção de biomassa (SIDDIQI; GLASS, 1981).

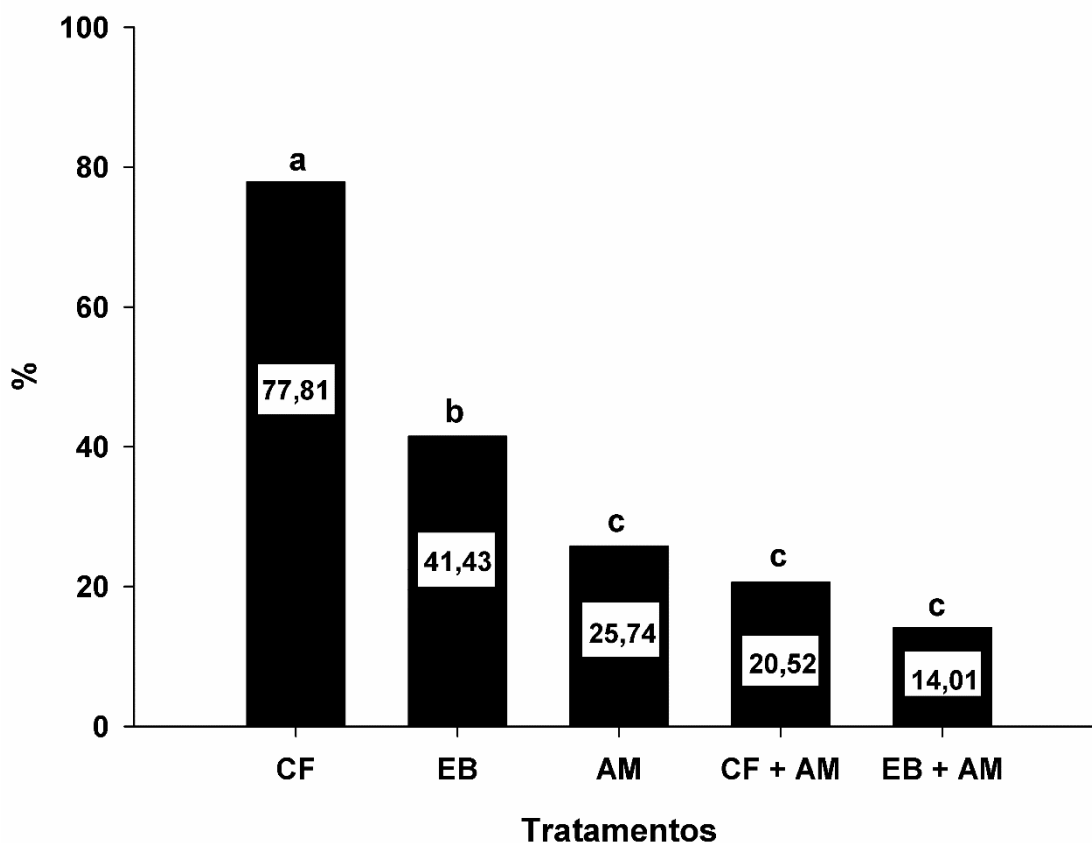
As variações responsáveis por promover alterações na eficiência de utilização dos nutrientes estão relacionadas a não obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo, planta e nutrientes. Também estão relacionadas a fatores como a limitação de um ou mais nutrientes disponíveis, assim como ao desequilíbrio nas relações hídricas entre solo, planta e atmosfera (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002).

Balanço parcial de P no meloeiro híbrido Goldex F1

O Balanço Parcial de Fósforo (BPP) apresentou valores percentuais de 77,81; 41,43; 25,74; 20,52 e 14,01 % para os tratamentos com cama de frangos, esterco de bovinos, adubação mineral, cama de frangos + adubação mineral e esterco de bovinos + adubação mineral, respectivamente (FIGURA 4).

Como esse índice é expresso pela razão entre o P removido pela colheita (advindo da aplicação de fertilizantes + reservas do solo) e o aplicado como fertilizantes, a utilização de adubos orgânicos (cama de frangos e esterco de bovinos) resultou em maiores valores de BPP.

Figura 4 - Balanço parcial de P no meloeiro híbrido Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

Dentre os valores do BPP encontrados, apenas o tratamento cama de frangos (77,81 %), está na faixa considerada adequada (SYERS, 2008). Isso indica que a entrada de P como fertilizante é semelhante à remoção pela colheita, sendo que, assim, as reservas de P imediatamente disponível na solução + o P prontamente extraível (P-lábil) permanecem

pouco alterados. Para os casos em que os valores do BPP não ultrapassaram os 50 %, estes representam ineficiência de utilização do P, ou seja, a cultura apresenta baixo rendimento em relação à quantidade de P aplicada. Nesse caso, parte do P aplicado que não está sendo aproveitado pela cultura pode estar acumulado no solo, podendo ser depois aproveitado em outro cultivo.

Os valores de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ aplicados na forma de adubos orgânicos (esterco de bovinos e cama de frangos) foi menor (TABELA 2), e os valores de BPP maiores, explicando a maior eficiência na utilização do adubo fosfatado pela cultura nesses tratamentos.

Roberts e Johnston (2015), comparando dois solos com teores de P de 4 e 33 $mg\ kg^{-1}$ com cultivo em rotação batata/cevada e três doses de adubação: 55; 110 e 165 $kg\ ha^{-1}$ de P, obtiveram valores de BPP de 85, 52 e 39 %, respectivamente, no solo com 4 $mg\ kg^{-1}$ de P. Já para o solo com 33 $mg\ kg^{-1}$ de P, os valores de BPP foram de 140; 72 e 50 % para as doses de 55; 110 e 165 $kg\ ha^{-1}$ de P, respectivamente. Esses valores comprovam que, à medida que se aplica doses elevadas de P, o balanço tende a diminuir, ou seja, parte considerável do P passa a ser utilizada de forma inadequada. O que se observa, também, é que solos que naturalmente contém valores mais altos de P em solução, como é o caso do solo com 33 $mg\ kg^{-1}$, os valores de BPP são maiores. No entanto, quando esses valores ultrapassam 100 %, significa que a quantidade absorvida é superior a aplicada, o que requer atenção, pois assim, parte das reservas do P do solo podem ser consumidas (SYERS *et al.*, 2008).

3 FORMAS DE FÓSFORO EM SOLO CULTIVADO COM MELOEIRO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA

RESUMO

A forma de adubação empregada e o tempo de cultivo influenciam e modificam as formas de P no solo e essa dinâmica determina a disponibilidade do fósforo às plantas. Diante disso, objetivou-se verificar como a adubação orgânica e/ou mineral afeta a distribuição das frações de fósforo no solo durante o ciclo de crescimento do meloeiro híbrido Goldex F1. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo a aplicação dos fertilizantes como tratamentos principais (adubação mineral; esterco de bovinos; esterco de bovinos + adubação mineral; cama de frangos e cama de frangos + adubação mineral) e cinco épocas de coleta de solo na subparcelas (antes do plantio das mudas, início do florescimento, início da frutificação, crescimento de frutos e colheita dos frutos), com quatro repetições. A cada época de amostragem de solo foram coletadas amostras nas subparcelas na profundidade de 0 a 20 cm. Utilizou-se a técnica do fracionamento sequencial de fósforo para a determinação das formas orgânicas e inorgânicas e, posteriormente, a separação destas em compartimentos de acordo com a labilidade: P-Lábil; P-Moderadamente lábil e P-Não lábil. Os teores das formas mais lábeis de fósforo foram influenciados pelos adubos minerais e/ou orgânicos, mas houve diminuição dessas frações ao longo do cultivo do meloeiro. As formas lábeis e moderadamente lábeis de P tiveram participação de cerca de 80 % do P-Total do solo. As formas orgânicas de P tiveram importante contribuição na disponibilização e manutenção das formas lábeis de P no solo, proporcionando melhores condições para o elemento ser absorvido pelas plantas. A associação de adubos (mineral e orgânico) se configurou na melhor forma de adubação fosfatada para o meloeiro. Conclui-se que a adubação e o tempo de cultivo do meloeiro alteram a distribuição e a proporção das formas de fósforo no solo e, a associação dos adubos constitui-se como a melhor estratégia para aumento do fósforo nas formas mais lábeis.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L. Fertilizantes. Labilidade. Associação de adubos.

3 FORMS OF PHOSPHORUS IN SOIL IN THE FUNCTION OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION IN MELON CULTIVATION

ABSTRACT

The form of fertilization employed and the time of cultivation influence and modify the forms of P in the soil and this dynamics determines the availability of the phosphorus to the plants. The objective of this study was to verify how organic and/or mineral fertilization affects the distribution of phosphorus fractions in the soil during the growth cycle of Goldex F1 hybrid melon. The experiment was carried out at the Experimental Field of Pacajus, belonging to Embrapa Agroindustry Tropical, in soil classified as Ultisol. The experimental design was in randomized blocks in split-plot, the fertilizer application as main treatments (mineral fertilization, bovine manure, bovine manure + mineral fertilization, litter of chickens and litter of chickens + mineral fertilization) and five soil sampling in the subplots (before seedlings planting, early flowering, early fructification, fruit growing and fruit harvest), with four replicates. At each soil sampling, samples were collected in the subplots at depths of 0 to 20 cm. The technique of sequential fractionation of phosphorus was used for the determination of the organic and inorganic forms and later, the separation of these in compartments according to lability: Labile-P; Moderately labile-P and Non labile-P. The concentrations of the most labile forms of phosphorus were influenced by mineral and/or organic fertilizers, but these fractions decreased during the cultivation of the melon. The labile and moderately labile forms of P have about 80% of the Total-P. The organic forms of P had an important contribution in the availability and maintenance of labile forms of P in the soil, providing better conditions for the element to be absorbed by the plants. The association of fertilizers (mineral and organic) was configured the best form of phosphate fertilization for melon. It is concluded that the fertilization and the time of cultivation of the melon alter the distribution and proportion of the forms of phosphorus in the soil and the association of the fertilizers is the best strategy to increase the phosphorus in the most labile forms.

Keywords: *Cucumis melo* L. Fertilizers. Lability. Association of fertilizers.

INTRODUÇÃO

As regiões tropicais e subtropicais do globo são caracterizadas pelo elevado grau de evolução dos solos, o que contribui para a baixa disponibilidade de fósforo para a absorção pelas plantas, limitando a produtividade dos cultivos agrícolas.

Esses teores baixos são justificados pelo fato do fósforo encontrar-se no solo em formas orgânicas e inorgânicas estáveis. Em condições de solos com reação ácida, o íon fosfato liga-se a oxi-hidróxidos de Fe, Al e Mn, enquanto em solos com reação alcalina liga-se ao cálcio. Do mesmo modo, o P forma compostos orgânicos estáveis por meio de ligações ésteres do ácido fosfórico, ficando assim indisponíveis para as plantas (GATIBONI, 2013). Devido a essas reações que o fósforo estabelece com a fase sólida do solo, apenas uma pequena parte (10 a 20 %) da quantidade do adubo fosfatado solúvel aplicado ao solo é aproveitada pela planta que está sendo cultivada, sendo o restante, (80 a 90 %) fixado à fase sólida do solo (MALAVOLTA, 1981; VU *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2009). Tal fato pode implicar em necessidade maior de aplicação de fertilizantes para se atingir produtividades elevadas.

O papel do P orgânico na melhoria da fertilidade do solo é, de certo modo, ignorado pelos métodos atuais de análise de solos, explicando muitas vezes a falta de respostas para o desempenho das culturas frente a aplicações desses insumos (DODD; SHARPLEY, 2015). Em resíduos orgânicos, como o esterco de bovinos e cama de frangos, foram encontrados valores de P variando de 7 a 14 g kg⁻¹, respectivamente (Li *et al.*, 2014). Pagliari e Laboski (2012) encontraram valores de variando de 7,4 a 21,2 g P kg⁻¹ para esterco de bovinos e cama de frangos, respectivamente, podendo ser importante fonte e boa estratégia de liberação de P para a nutrição das plantas, contribuindo para reduzir a aplicação de adubos minerais. Para isso, é necessário o conhecimento mais detalhado da dinâmica do fósforo no solo.

A quantificação das formas de P orgânico e inorgânico, sua distribuição e a solubilidade no solo, em função do manejo, podem contribuir para o ajuste das quantidades de adubos a serem aplicados para as culturas.

Na tentativa de quantificar as formas de fósforo, o fracionamento químico permite definir quais os reservatórios do elemento no solo que mais contribuem com o P disponível para as plantas, verificar as alterações na distribuição das frações de P em função das mudanças no manejo do solo e, assim, avaliar os efeitos do manejo sobre a disponibilidade de

P e ajustar as doses recomendadas para as culturas, tornando as adubações mais eficientes e ambientalmente seguras.

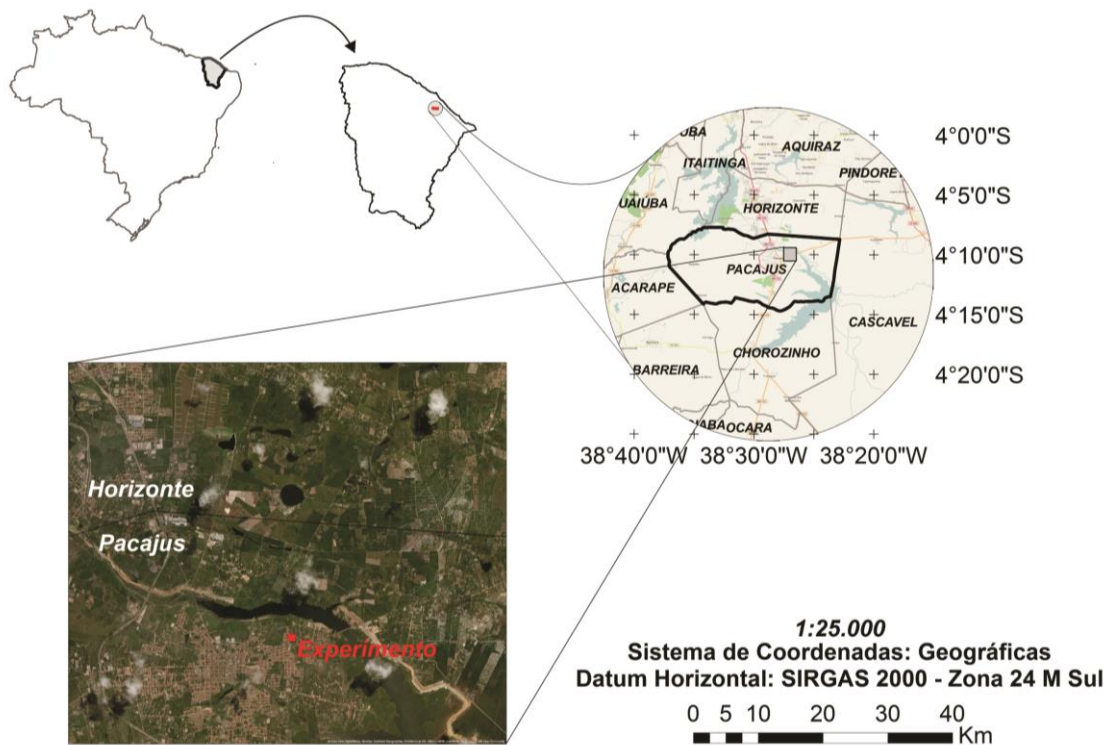
Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da aplicação de adubos minerais e/ou orgânicos nas formas de fósforo do solo ao longo do desenvolvimento do meloeiro híbrido Goldex F1, em Argissolo Vermelho-Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente a Embrapa Agroindústria Tropical, localizado a 53,0 km da capital Fortaleza (FIGURA 1). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA; OLIVEIRA; AQUINO, 2002). O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima quente com temperatura do mês mais frio superior a 18°C, verão chuvoso e inverno seco) e a pluviosidade média anual é de 954,3 mm (FUNCEME, 2015).

Figura 5 - Localização da área experimental



Fonte: Autor

Análise química do solo da área experimental

Antes da instalação do experimento, amostra composta de solo da profundidade de 0 a 20 cm foi coletada para a caracterização da área e analisada conforme metodologias descritas por Silva *et al.* (2009) (TABELA 6).

Tabela 6 - Análise química do solo da área experimental

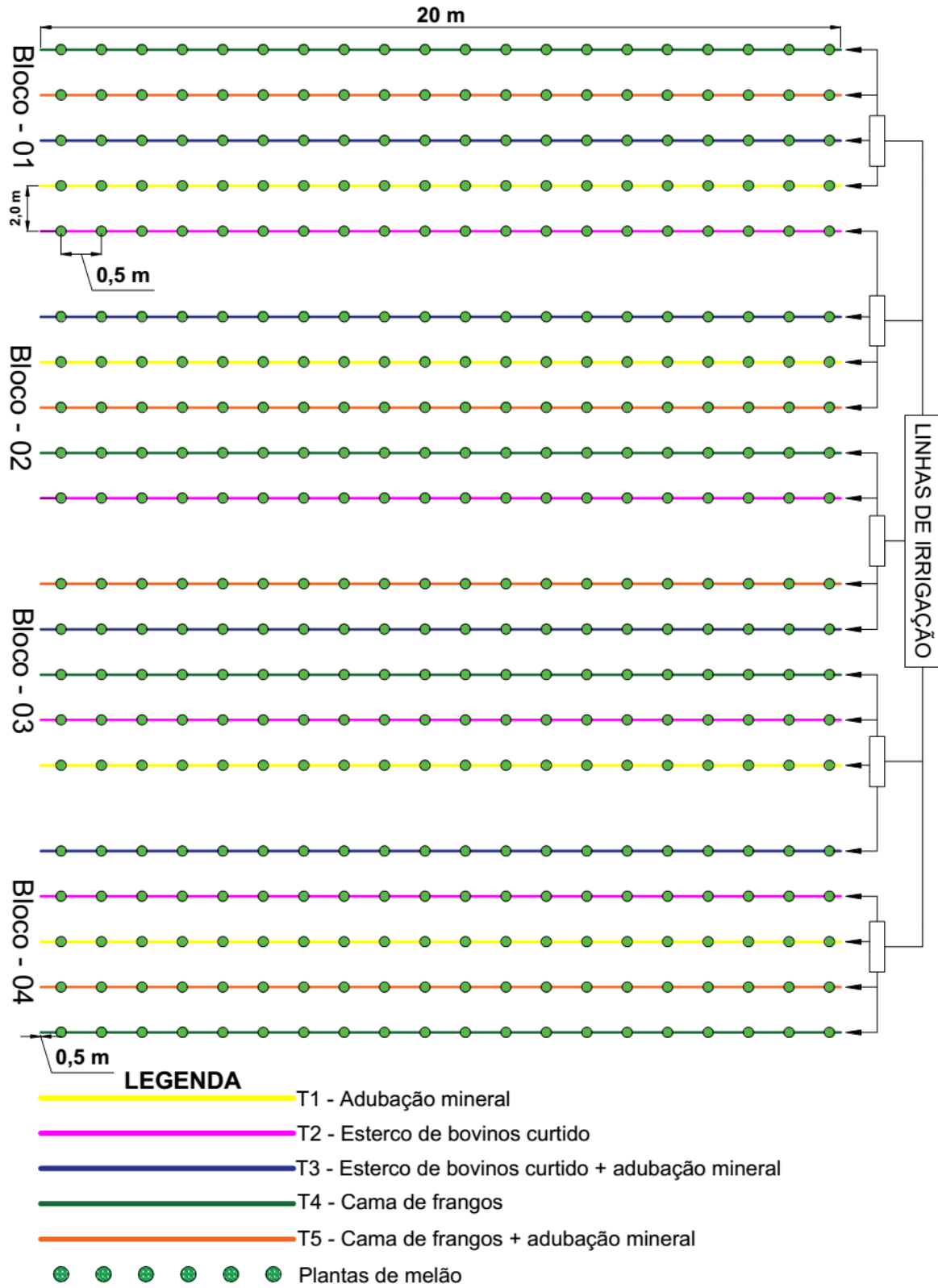
P	MO	pH _{H2O}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	m	Cu	Zn	Mn	Fe	
mg dm ⁻³	g kg ⁻¹		----- mmol _c dm ⁻³ -----									-- % --		----- mg dm ⁻³ -----			
29	8	6,2	1,4	22	13	2,8	9	0	39	48	82	0	0,1	0,4	8	8	

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo a aplicação dos fertilizantes como tratamentos principais e as épocas de coleta de solo avaliadas nas subparcelas, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram: T₁ - Adubação mineral; T₂ - Esterco de bovinos curtido; T₃ - Esterco de bovinos curtido + adubação mineral; T₄ - Cama de frangos; T₅ - Cama de frangos + adubação mineral. As amostras de solos foram coletadas em cinco épocas: E₁ - Antes do plantio das mudas de meloeiro; E₂ - No início do florescimento; E₃ - No início da frutificação; E₄ - Na frutificação plena; E₅ - Após a colheita dos frutos, que corresponderam ao dia do transplântio; 21; 30; 39 e 63 dias após o transplântio das mudas de meloeiro, respectivamente.

Cada unidade experimental foi composta por uma linha de 20 m de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre plantas e 2 m entre linhas, totalizando 40 plantas. As parcelas foram subdivididas em cinco partes, representando as épocas de coleta de solo (FIGURAS 6 e 7).

Figura 6 - Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos



Manejo da adubação

O resultado da análise de solo da área experimental serviu de parâmetro para a recomendação de adubação mineral fosfatada e potássica, enquanto que a adubação nitrogenada foi feita em função da produtividade esperada de frutos do meloeiro de 20 a 30 t ha⁻¹ (CRISÓSTOMO *et al.*, 2002). Não foi realizada calagem na área em virtude do valor da saturação de bases já estar próximo aos 80 %, conforme recomendação de Crisóstomo *et al.* (2002).

Para a adubação orgânica foram utilizadas as doses recomendadas por Crisóstomo *et al.* (2002), equivalentes a 15 m³ ha⁻¹ (3 L por m linear) e 5 m³ ha⁻¹ (1 L por m linear), na forma de esterco de bovinos curtido e de cama de frangos, respectivamente. Antes da aplicação, os adubos orgânicos foram caracterizados de acordo com as metodologias descritas em Brasil (2007) e Carmo *et al.* (2000) (TABELA 7).

Tabela 7 - Análise química do esterco de bovinos (EB) e da cama de frangos (CF), na base seca, utilizados no experimento

	C-org	N-total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----									----- mg kg ⁻¹ -----			
EB	155,9	12,6	0,8	1,5	3,8	13,5	9,9	6,9	2,2	39	7.859	93	661
CF	342,0	31,6	4,4	0,6	7,2	13,7	25,9	3,2	2,8	19	1.255	142	173

Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido do dia 13 de julho a 21 de setembro de 2015. Nesse período, observou-se precipitação de 7,2 mm no dia 17 de julho de 2015 (FUNCEME, 2015). A área experimental foi preparada por meio de aração e gradagem e, em seguida, os canteiros foram levantados (0,2 m de altura e 0,5 m de largura). Nos tratamentos T₁, T₃ e T₅, que receberam adubos minerais, a adubação fosfatada foi feita no momento do preparo dos canteiros, enquanto que o nitrogênio e o potássio foram fornecidos diariamente por meio de fertirrigação.

A recomendação de Crisóstomo *et al.* (2002) foi a adotada para o parcelamento das adubações de cobertura ao longo do desenvolvimento do meloeiro. As fontes de nutrientes utilizadas foram superfosfato simples, o cloreto de potássio e a ureia. Nos tratamentos com adubos orgânicos (T₂; T₃; T₄ e T₅), o esterco de bovinos e a cama de frangos foram aplicados no momento do preparo dos canteiros e incorporados ao solo por meio de enxada. Os adubos

foram aplicados com 15 dias de antecedência do transplântio das mudas. O resumo da composição dos tratamentos encontra-se na Tabela 8.

A irrigação foi realizada pelo sistema de gotejamento utilizando-se fita gotejadora com ½ polegada e vazão de 1,5 L por hora. Para controle da irrigação foi considerada a estimativa da evapotranspiração e o coeficiente de cultivo para a cultura do melão (MIRANDA; SOUSA; RIBEIRO, 1999).

Após a adubação mineral fosfatada e orgânica, os canteiros foram cobertos com lona de plástico e, em seguida, o sistema de irrigação foi ligado. Posteriormente, na região que compreende os gotejadores, foi feita abertura na lona para o transplântio das mudas de meloeiro.

Tabela 8 - Resumo da composição dos tratamentos

Tratamentos	Orgânico ⁽¹⁾	Adubo (kg ha ⁻¹)		
	m ³ ha ⁻¹	N ⁽²⁾	P ₂ O ₅ ⁽³⁾	K ₂ O ⁽⁴⁾
T ₁ Adubação mineral	-	100	160	250
T ₂ Esterco de bovinos curtido	15	-	-	-
T ₃ Esterco de bovinos curtido + adubação mineral	15	100	160	250
T ₄ Cama de frangos	5	-	-	-
T ₅ Cama de frangos + adubação mineral	5	100	160	250

⁽¹⁾ Adubo orgânico (esterco de bovinos curtido ou cama de frangos, de acordo com o tratamento), aplicado no preparo do canteiro;

⁽²⁾ Adubo nitrogenado, (ureia) aplicado em cobertura via fertirrigação;

⁽³⁾ Adubo fosfatado, (superfosfato simples) aplicado no preparo do canteiro;

⁽⁴⁾ Adubo potássico, (cloreto de potássio) aplicado em cobertura via fertirrigação.

A produção de mudas de meloeiro híbrido Goldex F1 foi feita em bandejas de polietileno preenchidas com substrato comercial. As mudas foram transplantadas para o canteiro quando apresentaram duas folhas definitivas. Em seguida, a irrigação foi iniciada e, nos tratamentos que receberam adubação mineral (T₁; T₃ e T₅) a fertirrigação foi feita dos 7 até os 60 dias após o transplântio das mudas (DAT). Os canteiros que receberam exclusivamente adubos orgânicos (T₂ e T₄) foram irrigados apenas com água. A irrigação e a fertirrigação foram controladas por meio de abertura e fechamento de registro localizado no início de cada linha de irrigação.

Amostragem

Em cada coleta, amostras de solos foram coletadas nas subparcelas, na região próxima aos gotejadores. Foram coletadas 10 amostras simples para a formação de uma amostra composta, na profundidade de 0 a 20 cm. As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para secagem, destorroamento, homogeneização, passagem em peneira de 2 mm de abertura de malha e análise química.

Fracionamento do fósforo

O fracionamento do P do solo foi realizado de acordo com a metodologia de Hedley, Stewart e Chauhan (1982), seguindo as modificações de Tiessen; Stewart e Cole (1984) e Condon e Goh (1989). Não foi feita a determinação do P na biomassa microbiana e a dispersão do solo por ultrassom foi substituída pelo uso de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. O esquema de fracionamento, da primeira à última fração, está disposto em forma de fluxograma (FIGURA 8).

Pi extraído por resina trocadora de ânions (P-RTA) e Po solúvel em água (Po-Sol.H2O)

Para tubo de falcon de 50 mL foi transferido 1 g de solo e foram adicionados 20 mL de água desionizada e uma lâmina de resina trocadora de ânions (RTA, AMI-7001, Membranes International[®]) com 2,0 cm x 2,5 cm (saturada com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,5). Os tubos foram agitados por 16 horas em agitador vertical (agitador de Wagner) e, em seguida, a lâmina de resina foi retirada, lavada com água e colocada em frasco com 30 mL de solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, pelo período de 90 minutos. Decorrido esse tempo para a extração do Pi-RTA (extrato A), as amostras foram agitadas novamente por 30 minutos.

Para a obtenção do Po-Sol.H₂O, a suspensão solo-água foi centrifugada a 3.000 rpm por 15 minutos e, em seguida, o sobrenadante transferido para balão volumétrico de 25 mL. Na sequência, 5 mL de uma solução de lavagem (NaCl 0,5 mol L⁻¹) foi acrescentada ao tubo contendo o solo e novamente centrifugado, a 3.000 rpm por 5 minutos, sendo esse volume acrescentado ao sobrenadante inicial e o volume completado com água desionizada (extrato B). Esse processo de lavagem foi repetido para cada uma das frações. Uma alíquota de 10 mL do extrato B foi transferida para tubo de digestão, ao qual foram adicionados 0,25 g de persulfato de potássio (K₂S₂O₈) e 3 mL de solução de H₂SO₄ 2,5 mol L⁻¹, segundo método de Bowman (1989), modificado por Thien e Myers (1992). O sedimento foi utilizado na

extração seguinte (sedimento A). O Pi-RTA e Po-Sol.H₂O foram determinados seguindo a metodologia de Murphy e Riley (1962).

Formas inorgânicas e orgânicas extraídas por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (Pi-Bic e Po-Bic)

Para a determinação do Pi-Bic e do Po-Bic nos tubos de centrífuga contendo o sedimento A foram adicionados 20 mL de solução de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,5 e, em seguida, agitados por 16 horas e centrifugados a 3.000 rpm por 15 minutos e 5 minutos com a solução de lavagem, conforme descrito na fração anterior. O sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água desionizada (extrato C). A determinação do Pi-Bic foi feita em 5 mL do extrato C. Alíquota de 10 mL foi transferida para tubos de digestão e foram adicionados 0,25 g de persulfato de potássio (K₂S₂O₈) e 3 mL de solução de H₂SO₄ 2,5 mol L⁻¹ de acordo com a metodologia descrita em Bowman (1989) e modificado por Thien e Myers (1992). Posteriormente, os tubos foram colocados em bloco digestor a 150°C e mantidos por 30 minutos para a eliminação do excesso de H₂O₂. O Po-Bic foi obtido pela diferença entre o Pt-Bic e o Pi-Bic. O sedimento resultante (sedimento B) foi utilizado na extração seguinte.

Formas inorgânicas e orgânicas extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi-NaOH I e Po-NaOH I)

Em tubo de centrífuga contendo o sedimento B foram adicionados 20 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e, em seguida, agitado por 16 horas e centrifugado a 3.000 rpm por 15 minutos e 5 minutos com a solução de lavagem. O sobrenadante foi transferido para o balão de 25 mL e o volume completado com água desionizada (extrato D). Na sequência, foram transferidos 10 mL do extrato D para tubos de centrífuga de 50 mL, feita acidificação com solução de HCl 8 mol L⁻¹ até pH 1,0 a 1,5 e a suspensão centrifugada para a precipitação dos ácidos húmicos (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009) (extrato E). Desse extrato foram transferidos 5 mL para copo de plástico e determinado o Pi-NaOH I. No extrato D foi feita a digestão utilizando persulfato de potássio a 150°C por 30 minutos e, no extrato digerido, determinado o P total extraído com NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pt-NaOH I). Pela diferença entre o Pt-NaOH I e Pi-NaOH I foi obtido o Po-NaOH I. O sedimento resultante (sedimento C) foi utilizado na extração seguinte.

Forma inorgânica extraída por HCl 1,0 mol L⁻¹ (Pi - HCl)

Em tubo de centrífuga contendo o sedimento C foram adicionados 20 mL da solução HCl 1,0 mol L⁻¹; em seguida, a mistura foi agitada por 16 horas e centrifugada a 3.000 rpm por 15 minutos e 5 minutos com a solução de lavagem. O sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água desionizada (extrato F). O Pi-HCl foi determinado em 5 mL desse extrato. Dessa fração foi obtido o sedimento D, utilizado na extração seguinte.

Formas inorgânicas e orgânicas extraídas por NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi-NaOH II e Po-NaOH II)

Ao tubo com sedimento D foram adicionados 20 mL da solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹; em seguida, a mistura foi agitada por 16 horas e centrifugada a 3.000 rpm por 15 minutos e 5 minutos com a solução de lavagem. O sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água desionizada, obtendo-se o extrato G. Em seguida, foram transferidos 5 mL do extrato G para copo de plástico descartável de 50 mL e determinado o Pi-NaOH II. Em alíquota de 10 mL do extrato G foi feita a digestão com persulfato de potássio a 150°C por 30 minutos e, em seguida, a determinação do P total extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pt-NaOH II). O Po-NaOH II foi calculado pela diferença entre o Pt-NaOH II e o Pi-NAOH II. O sedimento resultante (sedimento E) foi utilizado extração seguinte.

Fósforo residual (P-Residual)

Para a determinação do P-Residual no sedimento E foi empregado o método de P-Total em extrato sulfúrico (DONAGEMA, 2011). Em tubos de digestão foram adicionados 0,5 g do sedimento E (depois de seco em estufa) e 10 mL de solução de ácido sulfúrico (1:1); em seguida, os tubos foram submetidos a digestão por cerca de 5 h atingindo cerca de 400°C; após a digestão foram adicionados 5 gotas do indicador p-nitrofenol e feita a correção do pH com NaOH 5 mol L⁻¹ até a viragem de incolor para amarelo. Após a correção do pH o material foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água desionizada,. Uma alíquota de 5 mL desse extrato foi transferida para copos descartáveis e feita a determinação do P-Residual.

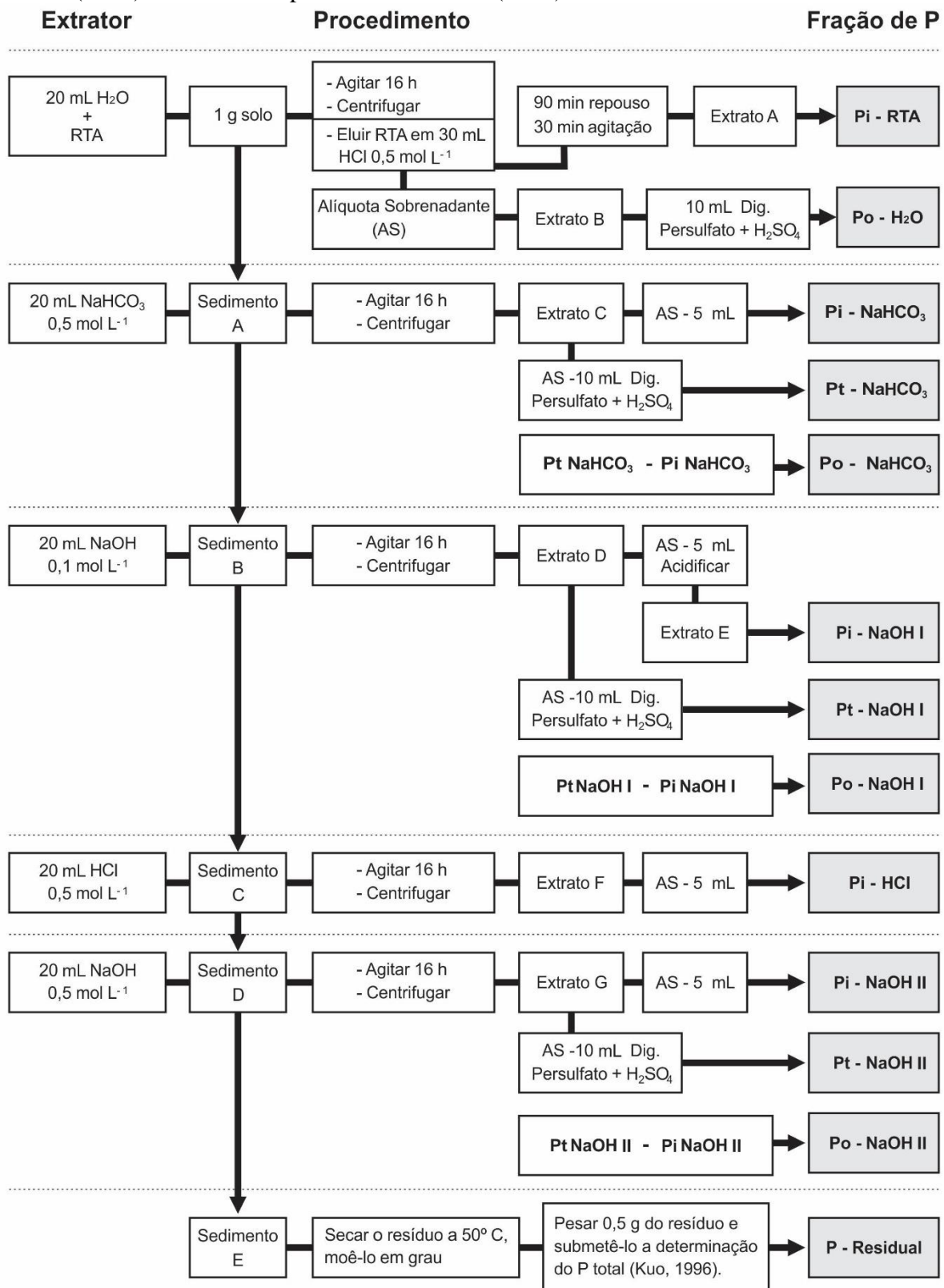
Determinação de P nos extratos

A determinação de P nos extratos foi feita conforme método de Murphy e Riley (1962). Foram utilizadas alíquotas de 5 mL dos extratos resultantes de cada uma das extrações (Extratos A, B, C). Os extratos foram transferidos para copos descartáveis, feita a correção do pH por meio da utilização de 5 gotas de p-nitrofenol (indicador), solução de NaOH 5,0 mol L⁻¹ e solução de HCl 8 mol L⁻¹ nos extratos ácidos e alcalinos, respectivamente, até a viragem do indicador de incolor para amarelo. Em seguida foram adicionados 10 mL de água desionizada e 1 mL de solução de H₂SO₄ 2,5 mol L⁻¹, contendo 15,35 g L⁻¹ de molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O), 0,3511 g L⁻¹ de tartarato de antimônio e potássio (C₈H₄K₂O₁₂Sb₂.3H₂O) e 5,28 g L⁻¹ de ácido ascórbico (C₆H₈O₆). Após 20 minutos de reação foi feita a leitura em espectrofotômetro a 880 nm.

Agrupamento das formas conforme a labilidade

De acordo com as modificações feitas por Condrón e Goh (1989) e o estudo de Cross e Schlesinger (1995), as frações obtidas no fracionamento de Hedley, Stewart e Chauhan (1982) foram agrupadas segundo a labilidade em: P-Lábil (P-RTA, Po-Sol._{H₂O}, Po-Bic e Pi-Bic), P-Moderadamente lábil (Pi-HCl, Pi-NaOH I e Po-NaOH I), P-Não lábil (Pi-NaOH II e Po-NaOH II) e P-Residual (Pi e Po recalcitrantes).

Figura 8 - Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley, Stewart e Chauan (1982) e modificado por Condrón e Goh (1989)



Fonte: Adaptado de Hedley, Stewart e Chauan (1982)

Análise estatística

Os resultados do fracionamento de P do solo, da distribuição entre os compartimentos de labilidade foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas por meio do teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. As formas de P no solo ao longo do desenvolvimento do meloeiro foram comparadas por meio de ajustes aos modelos de regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Formas de fósforo no solo

As formas de fósforo no solo obtidas no fracionamento, com extração feita conforme metodologia de Hedley, Stewart e Chauan (1982) e modificado por Condrón e Goh (1989), distribuem-se entre orgânicas e inorgânicas, sendo 10 formas extraídas (TABELA 9). As formas de P no solo inicial e a compartimentalização de acordo com a labilidade ajudam na verificação da contribuição que os adubos usados como tratamentos tiveram no fornecimento de P para o solo. O fósforo extraído com resina de troca aniônica (P-RTA), que representa o fósforo disponível na solução do solo, foi à única que apresentou interação entre as adubações e as épocas de coleta de amostras do solo. Para as demais formas de P extraídas, os efeitos da adubação e das épocas de coleta ocorreram de forma isolada.

O fósforo extraído com resina de troca aniônica (P-RTA) apresentou diminuição ao longo das épocas de coleta, ajustando-se ao modelo de regressão linear negativo. Os efeitos foram ainda mais pronunciados para o tratamento isolado com adubação mineral e para os associados (adubação mineral e orgânica). Nestes últimos, os valores de P passaram de cerca de 115 mg kg^{-1} para 35 mg kg^{-1} , enquanto nos tratamentos com adubação orgânica a diminuição foi menos acentuada, passando de valores em torno de 60 mg kg^{-1} à 26 mg kg^{-1} (FIGURA 9).

A situação acima pode ser explicada de duas maneiras: primeiro pelo fato de que a quantidade de P aplicada nas adubações orgânicas ser menor do que para as formas mineral e associadas (mineral + orgânica) (TABELA 2, Capítulo 1). Segundo, pelo fato do P-RTA ser uma forma prontamente disponível, em que os adubos acidulados tendem a disponibilizar maiores quantidade logo após serem aplicados ao solo. Resultado semelhante foi verificado por Lopes (2014), trabalhando com fracionamento de P em composto orgânico derivado de subprodutos da indústria sucroenergética.

Quanto à tendência de diminuição dessa forma de P (P-RTA) ao longo das épocas de coleta no desenvolvimento do meloeiro, isso se deve a fatores que contribuem para a retirada do P da solução. Um dos fatores é a absorção pelas plantas e, o outro, os fenômenos de adsorção aos sítios de ligação do P nas superfícies das argilas, estabelecendo ligações com graus de energia cada vez mais fortes com o passar do tempo, contribuindo para a diminuição do fósforo da solução.

Tabela 9 - Formas de fósforo¹ no solo obtidas na extração sequencial (Metodologia de Hedley, Stewart e Chauan (1982)) ao longo do desenvolvimento de plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de amostragem de solo

	P-RTA	Po-Sol _{H₂O}	Pt-Bic	Pi-Bic	Po-Bic	Pt-NaOH I	Pi-NaOH I	Po-NaOH I	P-HCl	Pt-NaOH II	Pi-NaOH II	Po-NaOH II	P-Residual	
----- mg kg ⁻¹ -----														
Solo Inicial	23,74	0,57	5,91	3,66	2,26	28,11	14,00	14,11	56,20	17,17	4,51	12,66	33,96	
Adubação ²	AM	71,04ab	0,98a	27,90ab	18,62ab	9,28a	44,22ab	27,13ab	17,09a	71,92bc	22,99a	6,18a	16,80a	37,02a
	EB	52,41bc	1,07a	21,13b	14,70bc	6,42a	38,38b	20,25b	18,12a	70,84bc	33,03a	6,10a	26,93a	39,29a
	EB + AM	79,61a	0,94a	30,72ab	20,16a	10,55a	46,68a	28,86a	17,82a	86,46ab	34,54a	6,42a	28,11a	38,47a
	CF	35,91c	0,78a	31,85ab	13,67c	18,18a	38,11b	20,61b	17,50a	63,05c	25,76a	5,68a	20,07a	34,69a
	CF + AM	68,32ab	1,00a	35,38a	22,45a	12,92a	50,44a	26,64ab	23,80a	100,34a	26,92a	6,56a	20,36a	41,40a
Época ³	I	89,13	1,21	24,41	13,65	10,75	54,70	37,52	17,17	83,69	26,50	6,56	19,93	31,98
	II	67,22	1,41	33,13	13,16	19,96	44,59	33,43	11,16	79,52	29,07	5,81	23,25	31,50
	III	64,37	0,70	33,12	24,10	9,01	37,11	17,93	19,18	80,63	29,89	6,20	23,68	39,95
	IV	55,55	0,42	27,94	19,69	8,24	40,54	18,80	21,74	87,91	25,03	6,41	18,62	45,68
	V	31,02	1,03	28,37	18,98	9,39	40,89	15,81	25,08	60,86	32,74	5,96	26,78	41,74
----- F ¹ -----														
Blocos	0,870 ^{ns}	0,153 ^{ns}	0,523 ^{ns}	2,653 ^{ns}	0,740 ^{ns}	1,697 ^{ns}	3,450 ^{ns}	1,571 ^{ns}	17,814 ^{**}	0,220 ^{ns}	0,693 ^{ns}	0,316 ^{ns}	1,318 ^{ns}	
Adubação (A)	8,778 ^{**}	0,445 ^{ns}	3,006 ^{ns}	13,402 ^{**}	1,906 ^{ns}	9,058 ^{**}	4,895 [*]	2,626 ^{ns}	9,532 ^{**}	3,317 [*]	0,893 ^{ns}	3,062 ^{ns}	1,888 ^{ns}	
Época (E)	49,895 ^{**}	6,164 ^{**}	2,008 ^{ns}	17,267 ^{**}	3,504 [*]	10,056 ^{**}	19,485 ^{**}	7,775 ^{**}	5,079 ^{**}	1,453 ^{ns}	0,805 ^{ns}	1,650 ^{ns}	11,073 ^{**}	
A x E	2,927 ^{**}	0,382 ^{ns}	1,336 ^{ns}	1,210 ^{ns}	1,495 ^{ns}	0,636 ^{ns}	0,401 ^{ns}	1,005 ^{ns}	0,632 ^{ns}	1,189 ^{ns}	0,893 ^{ns}	1,210 ^{ns}	1,012 ^{ns}	
C. V. (%) Adubação	42,59	74,59	46,87	25,15	124,89	18,21	32,60	40,73	27,38	42,26	25,76	55,19	21,41	
C. V. (%) Época	21,66	74,77	40,11	27,41	100,68	21,89	41,03	44,41	26,26	38,93	25,00	50,20	21,93	

¹ Formas de fósforo no solo: P-RTA (P-resina trocadora de ânions); Po-Sol._{H₂O} (Po-solúvel em água); Pt-Bic (Pt-bicarbonato de sódio); Pi-Bic (Pi-bicarbonato de sódio); Po-Bic (Po-bicarbonato de sódio); Pt-NaOH I (Pt-hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹); Pi-NaOH I (Pi-hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹); Po-NaOH I (Po-hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹); P-HCl (P-ácido clorídrico 0,5 mol L⁻¹); Pt-NaOH II (Pt-hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹); Pi-NaOH II (Pi-hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹); Po-NaOH II (Po-hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹) e P-Residual.

² Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

³ Época: I (momento do plantio); II (início do florescimento, 21 dias após o transplante, DAT); III (início da frutificação, 30 DAT); IV (crescimento dos frutos, 39 DAT) e V (colheita dos frutos, 63 DAT).

⁴ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

⁵ ns, ** e *: Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

O percentual de P-RTA (solução) com a adição dos tratamentos é de 208%, 126%, 243%, 52% e 195%, para adubação mineral, esterco de bovinos, esterco de bovinos + adubação mineral, cama de frangos e cama de frangos + adubação mineral, respectivamente, o que mostra que a contribuição é superior a 50% em todos os tratamentos e chega a ser superior a 200% nos tratamentos com adubação mineral isolada e na associação de adubo mineral e esterco de bovinos (TABELA 9).

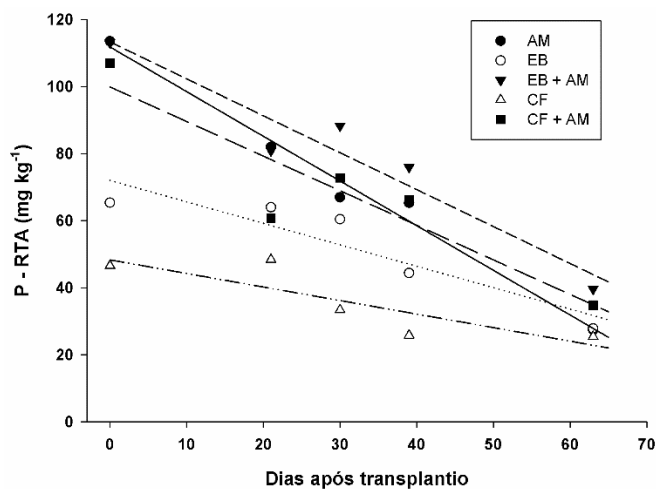
A redistribuição do P aplicado entre as formas menor labilidade também é evidente, no caso do P ligado a cálcio, representado pelo P-HCl, o aumento é superior a 25% em todos os tratamentos, com exceção do tratamento com cama de frangos (isolado), que apresentou aumento de 12,5% em relação ao valor inicial (TABELA 9).

Os valores de P-Lábil, P-Moderadamente Lábil e P-Não Lábil no solo inicial (TABELA 10), quando comparados com os valores desses compartimentos quando dá adição dos cinco tratamentos experimentais, torna evidente que ocorre uma redistribuição do P entre os três compartimentos de uma forma relativamente rápida, sendo observado o incremento significativo em todas as formas de labilidade.

Quanto ao fósforo lábil, o aumento percentual pela adição dos tratamentos variou de 126 a 246%, sendo os valores mais elevados nos tratamentos com adubação mineral (isolada) e nos tratamentos com associação dos adubos. Para o fósforo moderadamente lábil o aumento percentual foi menor, mas ainda ocorreu contribuição variando de 20 a 78%, comportamento semelhante ao que ocorreu para as formas não lábeis. Quanto ao fósforo total, o aumento percentual para os tratamentos com adubos orgânicos foi de 39 e 55% para cama de frangos e esterco de bovinos, respectivamente, enquanto para as formas mineral, mineral + esterco de bovinos e mineral + cama de frangos o aumento proporcionado foi de 67, 92 e 95%, respectivamente (TABELA 10).

As frações de fósforo orgânico (Po) apresentaram coeficientes de variação (CV) elevados, o que pode ser atribuído a forma de obtenção dessas frações, que se dá por diferença entre o fósforo total (Pt) e fósforo inorgânico (Pi). Dessa maneira, os valores podem estar superestimados em função dos erros metodológicos e do erro atrelado ao fósforo total (Pt) e ao fósforo inorgânico (Pi) da fração que está sendo determinada. Esse acúmulo de erros que, de certo modo, é inevitável, contribui para valores elevados do coeficiente de variação, podendo também ser verificado por outros autores como Leite (2015) e Telles (2017) para frações orgânicas quando utilizaram essa mesma metodologia.

Figura 9 - Teores de fósforo extraídos com resina de troca aniônica (P-RTA) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



$$\text{AM} \quad \text{P-RTA} = - 1,333 \text{ D} + 111,860 \quad (\text{R}^2 = 0,98^{**})$$

$$\text{EB} \quad \text{P-RTA} = - 0,640 \text{ D} + 72,012 \quad (\text{R}^2 = 0,85^{**})$$

$$\text{EB + AM} \quad \text{P-RTA} = - 1,102 \text{ D} + 113,340 \quad (\text{R}^2 = 0,92^{**})$$

$$\text{CF} \quad \text{P-RTA} = - 0,404 \text{ D} + 48,283 \quad (\text{R}^2 = 0,71^{**})$$

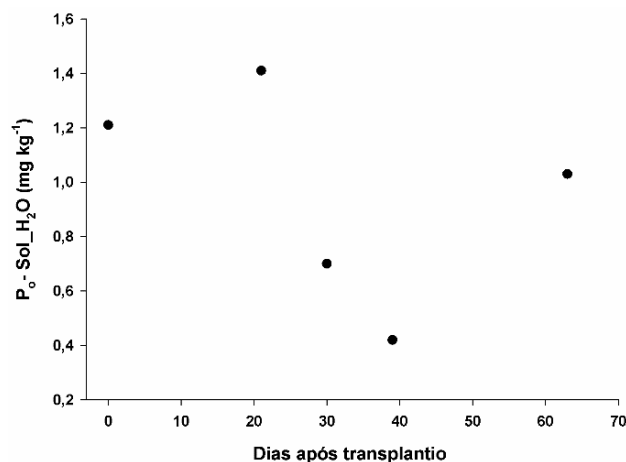
$$\text{CF + AM} \quad \text{P-RTA} = - 1,032 \text{ D} + 99,901 \quad (\text{R}^2 = 0,84^{**})$$

^{ns}; ^{**} e ^{*}: Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Essas diminuições nos teores de fósforo disponível também foram evidenciadas no trabalho de Gatiboni (2003), com 15 cultivos sucessivos de gramíneas e leguminosas como milho, soja, milho e crotalária e três extratores (RTA, Mehlich 1 e Mehlich 3). O autor verificou o decréscimo do teor de P até a 7ª sucessão, aumentando em seguida devido a realização de calagem, a qual contribuiu para diminuição da ligação do P aos colóides e a ocorrência de dessorção.

As formas orgânicas (Po-Sol._{H2O} e Po-Bic) correspondem a fração mais acessível para os microrganismos, podendo ser mais facilmente mineralizada; no entanto, essa fração é armazenada em pequenas quantidades no solo (ROSSI, 2013). No presente trabalho essas formas de Po-Sol._{H2O} e Po-Bic não variaram para os tratamentos avaliados e não se ajustaram aos modelos de regressão. O Po-Sol._{H2O} variou de 0,4 a 1,4 mg kg⁻¹ (FIGURA 10), enquanto o Po-Bic ficou na faixa de 8 a 20 mg kg⁻¹ (FIGURA 11a).

Figura 10 - Teores de fósforo orgânico solúvel em água ($P_o\text{-Sol}_{H_2O}$, 10a) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica.

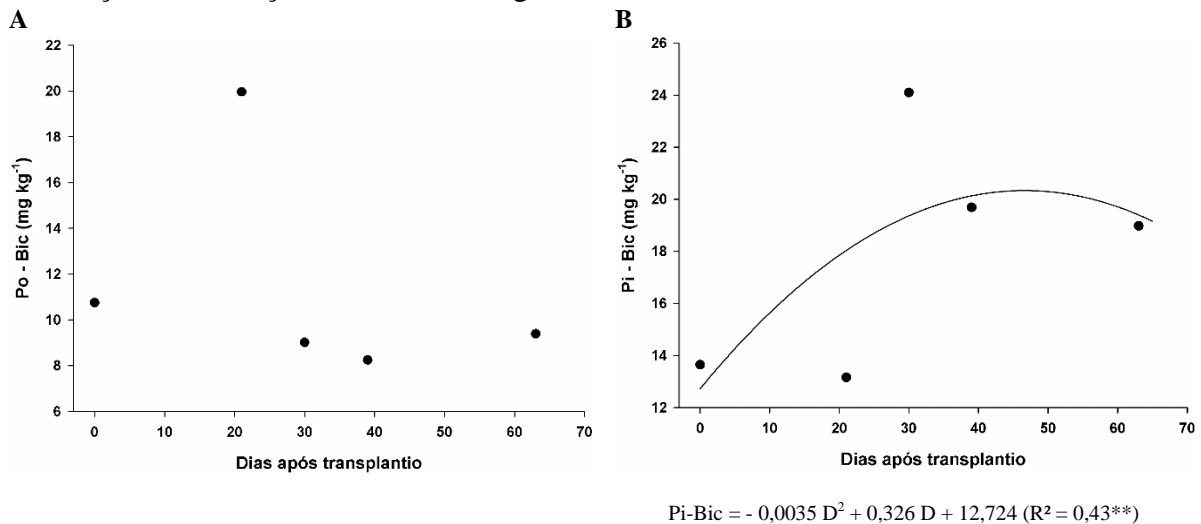


O fósforo inorgânico extraído com bicarbonato de sódio ($P_i\text{-Bic}$) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão, aumentando até os 46 DAT e a partir desse ponto, apresentou diminuição (FIGURA 11b). Para o $P_i\text{-Bic}$ os valores foram maiores nos tratamentos com associação dos adubos minerais e orgânicos. Anghinoni (2007) explicou que apesar da baixa mobilidade do P no solo, a mineralização lenta e gradual das formas orgânicas, juntamente com a aplicação de fósforo mineral, proporciona liberação e redistribuição das formas orgânicas em estágio inicial, tornando-se menos suscetíveis a adsorção em formas inorgânicas. A liberação de fósforo inorgânico e redistribuição deste em solos adubados com compostos orgânicos têm sido atribuídas a fenômenos como a produção de ácidos orgânicos, complexação do Al^{3+} trocável e decomposição das raízes do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Esses efeitos podem ser observados no trabalho de Leite *et al.* (2016), que verificaram a influência de plantas de cobertura e adubação nitrogenada nas formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo.

As formas orgânicas e inorgânicas de P extraídas com hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_o\text{-NaOH I}$ e $P_i\text{-NaOH I}$) (FIGURAS 12a e 12b) e a forma de P extraída com ácido clorídrico $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P\text{-HCl}$) (FIGURA 13) representaram juntas a maior participação no fósforo total (P-total), contribuindo com cerca de 40 a 50 % em todos os tratamentos. O $P_i\text{-NaOH I}$ e o $P_o\text{-NaOH I}$ ajustaram-se a regressões quadrática e linear, respectivamente. Para o $P_o\text{-NaOH I}$ não houve diferença significativa entre os tratamentos, enquanto para o $P_i\text{-NaOH I}$, maior teor foi verificado no tratamento com associação de esterco de bovinos + adubação mineral (EB + AM) (TABELA 9). A forma inorgânica diminuiu de 38 mg kg^{-1} na primeira

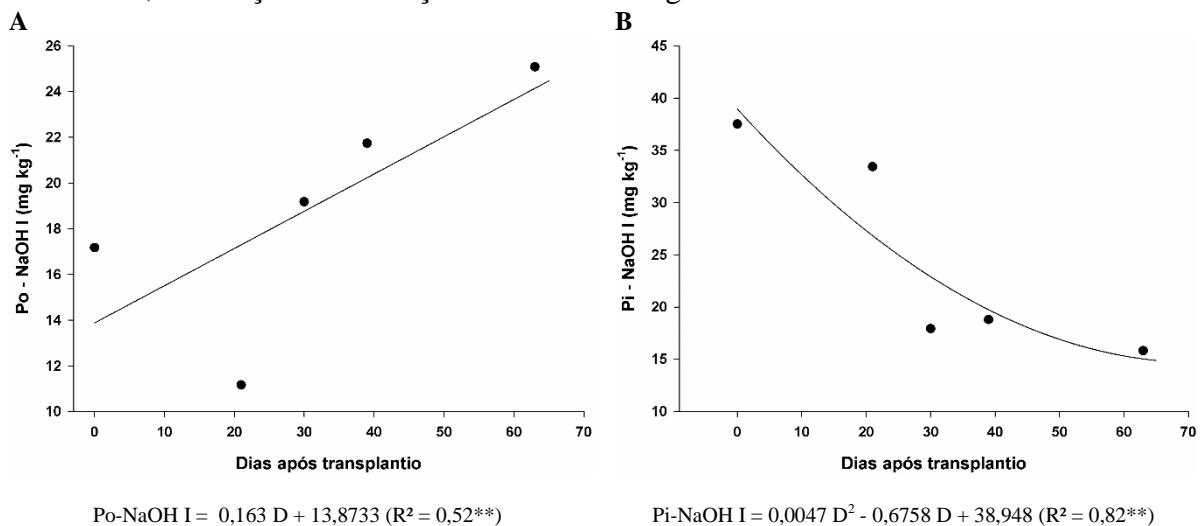
época de coleta para 13 mg kg^{-1} na quinta coleta; em contrapartida, a forma orgânica aumentou de 14 para 25 mg kg^{-1} da primeira para a última época de coleta.

Figura 11 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraído com bicarbonato de sódio (Po-Bic, 11a) (Pi-Bic, 11b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 12 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraídos com hidróxido de sódio I (Po-NaOH I, 12a) e Pi-NaOH I, 12b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica

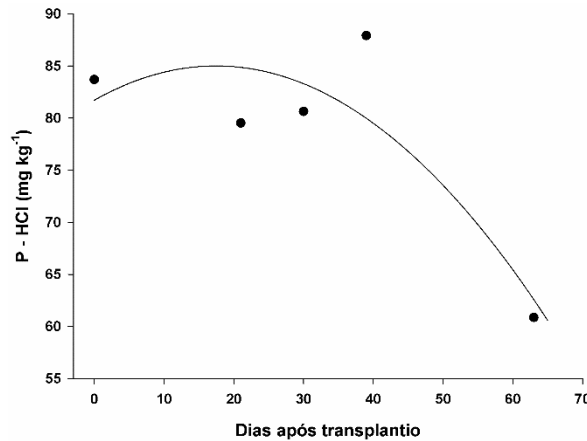


** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

A forma de P-HCl também se ajustou a modelo de regressão quadrático (FIGURA 13), com aumento nos teores até 17 DAT do meloeiro, seguida de diminuição até o final do cultivo. A associação da cama de frangos + adubação mineral (CF + AM) resultou em

maior teor de P-HCl quando comparada a aplicação isolada dos adubos mineral e orgânicos (TABELA 9).

Figura 13 – Teores de fósforo inorgânico extraído com ácido clorídrico (Pi-HCl) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



$$P-HCl = -0,0108 D^2 + 0,3767 D + 81,717 \quad (R^2 = 0,75^*)$$

** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

A diminuição nas formas inorgânicas (Pi-NaOH) e (P-HCl) pode ser justificada pelo fato do P passar para formas de maior labilidade, reabastecendo o compartimento lábil do solo, ou pelo fato de formarem ligações fortes e de alta especificidade com argilominerais e compostos complexados, tornando-se integrante do compartimento não-lábil de P no solo. Já o aumento na forma orgânica pode ser explicado pelo fato de que parte do fósforo inorgânico e orgânico mais lábil possa ter passado para formas orgânicas de menor labilidade (ZAVASCHI, 2014).

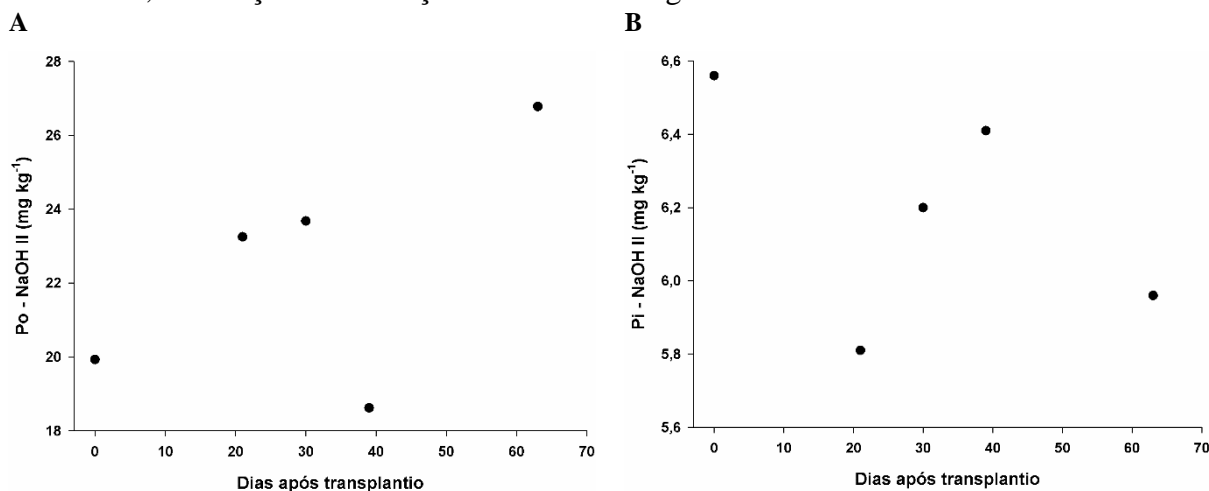
Para Redel *et al.* (2007), o maior dreno orgânico do P adicionado via fertilizante é a formação de complexos desse nutriente com as substâncias húmicas.

Isso também contribui para justificar o aumento desta fração em virtude da aplicação dos fertilizantes e do tempo de interação deste com o solo. Os valores de P-HCl foram superiores aos encontrados nos trabalhos de Zavaschi (2014) e Rodrigues *et al.* (2016), o que é atribuído ao fato de que esses autores utilizaram solos mais intemperizados, com valores de pH mais baixos, nos quais predominavam formas adsorvidas a óxidos de Fe e Al.

As formas de fósforo orgânicas e inorgânicas de P extraídas com NaOH 0,5 mol L⁻¹ (TABELA 9) não se ajustaram aos modelos de regressão e também não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados (FIGURAS 14a e 14b). As formas de P extraídas por NaOH 0,5 mol L⁻¹ são consideradas como complementares as extraídas com

NaOH 0,1 mol L⁻¹, pois são apenas mais resistentes a extração por estarem protegidas e estabelecendo ligações intra-agregados, justificando a baixa participação na composição do P-total no solo (GATIBONI, 2003; PAVINATO, 2007).

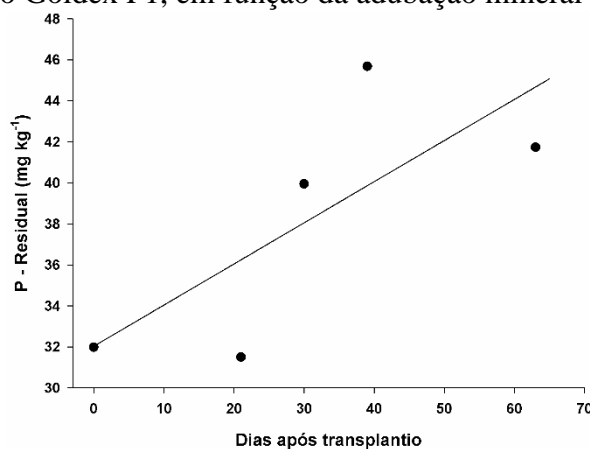
Figura 14 - Teores de fósforo orgânico e inorgânico extraídos com hidróxido de sódio II (Po-NaOH II, 14a) e (Pi-NaOH II, 14b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



O fósforo residual (P-Residual) foi influenciado apenas pela época de coleta de solo, com ajuste ao modelo linear positivo (FIGURA 15). Essa fração passou de cerca de 32 mg kg⁻¹ para 46 mg kg⁻¹ da primeira para a quinta coleta (TABELA 9).

O fósforo residual (P-Residual) é composto por frações orgânicas e inorgânicas consideradas de alta recalcitrância. São frações não extraídas, mesmo após a utilização dos 5 extratores do fracionamento. Apresenta, na maioria dos solos, participação importante do percentual do P-Total (CONDRON; NEWMAN, 2011). Essa fração apresentou estabilidade, não sendo evidenciadas variações nos teores para os tratamentos avaliados. A mesma estabilidade para o P-Residual foi observada nos trabalhos de Gatiboni (2003); Lopes (2014) e Rodrigues *et al.* (2016). Neste trabalho a participação do P-Residual em relação ao P-Total foi de apenas 12 a 15 %, enquanto nos trabalhos de Pavinato (2007) e Rodrigues *et al.* (2016) essa fração chegou a compor 60 e 50 % do P-total, respectivamente. Essa baixa participação no P-total pode ser considerada vantajosa, uma vez que essa forma apresenta elevada resistência a dessorção, só vindo a reabastecer o compartimento mais lábil no momento em que a exaustão deste for severa (GATIBONI *et al.*, 2007).

Figura 15 - Teores de fósforo residual (P-Residual) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



$$P\text{-Residual} = 0,2007 D + 32,031 \quad (R^2 = 0,55^{**})$$

** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis de fósforo no solo

As formas de P do solo foram distribuídas e interpretadas conforme a labilidade predita pelos extratores químicos. O P-Lábil foi representado por: P-RTA; Po-Sol._{H2O} e Po-Bic + Pi-Bic; o P-Moderadamente lábil foi composto pelas formas: Po-NaOH I, Pi-NaOH I e Pi-HCl; e o P-Não lábil constituído pelo Po-NaOH II, Pi-NaOH II e P-Residual (TABELA 10). Cabe reforçar que a opção do Pt-NaOH II como forma não lábil de P se deve a mudança na ordem de extração do procedimento, de acordo com a modificação proposta por Condron e Goh (1989), que exclui a ultrassonificação e intercala a extração com HCl. Dessa forma, extrai parte do P protegido intra-agregados do solo, a qual seria considerada de mobilidade moderada somente em casos de exaurimento de formas mais lábeis de P.

Fósforo Lábil (P-Lábil)

O fósforo lábil foi à única forma cuja interação entre os tratamentos e as épocas de coleta foi significativa a 5 % de probabilidade (TABELA 10). Os teores de P-Lábil ao longo do cultivo do meloeiro ajustaram-se aos modelos de regressão lineares e negativos (FIGURA 16).

Tabela 10 - Formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis de fósforo no solo ao longo do desenvolvimento de plantas de meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica e da época de amostragem de solo

		Formas de P quanto à labilidade ¹			
		P-Lábil	P-Moderadamente lábil	P-Não lábil	P-Total
		----- mg kg ⁻¹ -----			
Solo inicial		30,23	84,31	51,13	165,67
Adubação ²	AM	99,94ab	116,15bc	60,01a	276,10ab
	EB	74,62bc	109,22c	72,32a	256,16b
	EB + AM	111,28a	133,15ab	73,01a	317,45a
	CF	68,55c	101,17c	60,45a	230,18b
	CF + AM	104,71a	150,79a	68,32a	323,82a
Época ³	I	114,76	138,40	58,48	311,65
	II	101,78	124,11	60,58	286,48
	III	98,19	117,75	69,84	285,80
	IV	83,92	128,46	70,72	283,10
	V	60,42	101,77	74,49	236,69
		----- F ¹ -----			
Blocos		0,389 ^{ns}	17,276 ^{**}	0,518 ^{ns}	3,151 ^{ns}
Adubação (A)		10,993 ^{**}	14,661 ^{**}	2,654 ^{ns}	13,418 ^{**}
Época (E)		21,528 ^{**}	6,213 ^{**}	4,157 ^{**}	7,804 ^{**}
A x E		2,106 [*]	0,581 ^{ns}	1,065 ^{ns}	0,806 ^{ns}
C. V. (%) Adubação		27,95	19,04	25,80	17,37
C. V. (%) Época		21,73	20,02	22,72	15,51

¹ Formas de fósforo no solo conforme a labilidade: P-Lábil; P-Moderadamente lábil; P-Não lábil; P-Total.

² Adubação: AM (adubação mineral); EB (esterco de bovinos); EB + AM (esterco de bovinos + adubação mineral); CF (cama de frangos) e CF + AM (cama de frangos + adubação mineral).

³ Época: I (momento do plantio); II (início do florescimento, 21 dias após o transplante, DAT); III (início da frutificação, 30 DAT); IV (crescimento dos frutos, 39 DAT) e V (colheita dos frutos, 63 DAT).

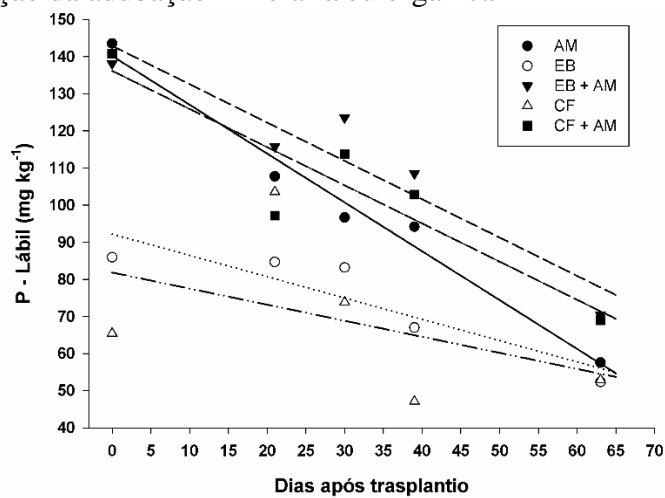
⁴ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

⁵ ^{ns}, ^{**} e ^{*}: Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Os tratamentos com adubação orgânica (esterco de bovinos – EB e cama de frangos – CF) e com formas associadas (adubação orgânica + mineral) apresentaram diminuições menos bruscas do P-Lábil, indicando contribuição da adubação orgânica na manutenção de formas de fósforo com maior disponibilização para as plantas ao longo do tempo.

O P-RTA representa uma forma extraída de fósforo prontamente disponível na solução do solo para a absorção pelas plantas. O Pi-Bic é uma forma adsorvida fracamente a compostos cristalinos e o Po-Bic refere-se a compostos orgânicos de baixa recalcitrância, como os ácidos ribonucleicos e os glicerofosfatos (TIESSSEN; MOIR, 1993). Ressalta-se que o Po-Bic e Pi-Bic são considerados como formas lábeis por muitos autores (HEDLEY; STEWART; CHAUAN, 1982; TIESSSEN *et al.*, 1984; CROSS; SCHLESINGER, 1995; GATIBONI, 2003; PAVINATO *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2016).

Figura 16 - Fósforo lábil (P-Lábil) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



$$\begin{aligned} \text{AM} & \text{ P-Lábil} = -1,316 D + 140,219 \quad (R^2 = 0,97^{**}) \\ \text{EB} & \text{ P-Lábil} = -0,574 D + 92,190 \quad (R^2 = 0,82^{**}) \\ \text{EB + AM} & \text{ P-Lábil} = -1,0332 D + 142,895 \quad (R^2 = 0,89^{**}) \\ \text{CF} & \text{ P-Lábil} = -0,433 D + 81,807 \quad (R^2 = 0,20^*) \\ \text{CF + AM} & \text{ P-Lábil} = -1,028 D + 136,183 \quad (R^2 = 0,83^{**}) \end{aligned}$$

^{ns}; ** e *: Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

O P-Lábil representa menos de 14 % do P-Total em todas as ordens de solos da classificação americana (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Cherubin *et al.* (2016) citam que essa fração representa menos de 10 % do total, percentual semelhante ao encontrado por Riskin *et al.* (2013) e Rodrigues *et al.* (2016). No entanto, quando feitas aplicações de adubos esses valores percentuais são mais elevados.

A maior parte do total do P-Lábil é composta pela forma orgânica extraída por bicarbonato (Po-Bic), atingindo percentual de cerca de 60 % (CHERUBIN *et al.*, 2016; TELES *et al.*, 2017). O P orgânico lábil foi destacado em muitos trabalhos no que se refere a sua importância para a disponibilidade de P em solos tropicais, principalmente em sistemas de

cultivo que priorizam a adubação orgânica e a manutenção de resíduos em superfície (OLIVEIRA *et al.*, 2014, RODRIGUES *et al.*, 2016).

A distribuição percentual das formas de P entre os tratamentos indicou valores de P-Lábil acima de 40 %, principalmente no início do cultivo do meloeiro, vindo a diminuir tanto em virtude da absorção pelas plantas, quanto pela intensificação dos fenômenos de adsorção. Rodrigues *et al.* (2016) observaram valores em torno de 20 % do total para P-Lábil em solos com cultivo convencional no Cerrado brasileiro.

Quando fertilizantes são adicionados ao solo ocorre acúmulo do fósforo em formas inorgânicas, que tamponam a solução do solo; por outro lado, essa forma é redistribuída entre todas as formas de P no solo. Inicialmente, o acúmulo é mais pronunciado nas frações de maior labilidade, mas com o passar do tempo, há tendência de aumento da energia de adsorção, e assim, o fósforo passa lentamente para formas de menor labilidade. Esse processo é caracterizado como um processo de “envelhecimento do fósforo” (NOVAIS; SMITH, 1999). O processo citado acima ocorreu para todos os adubos aplicados no experimento.

Quando as formas associadas (adubação orgânica e mineral) são aplicadas observou-se resistência maior a perda de formas lábeis. Isso pode ser atribuído ao fato de que a decomposição promovida pela biomassa microbiana faz com que ocorra a mineralização das formas orgânicas e o fósforo ser acumulado em formas inorgânicas. Como todas as formas estão sujeitas ao ataque microbiano, a alta concentração inicial de formas lábeis é favorecida pela mineralização (GATIBONI, 2003).

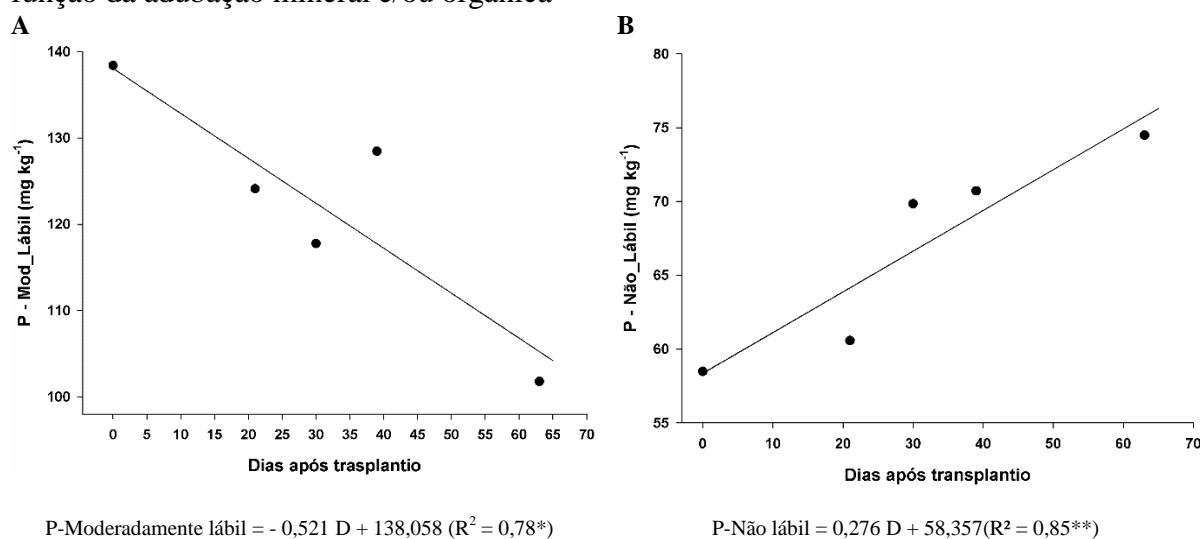
Fósforo moderadamente lábil (P-Moderadamente lábil)

As formas de fósforo moderadamente lábil diminuíram ao longo do cultivo do meloeiro, ajustando-se ao modelo de regressão linear negativa (FIGURA 17a). Os tratamentos com a associação dos adubos (mineral + orgânico) apresentaram os maiores teores de fósforo de labilidade intermediária.

A extração com HCl 1,0 mol L⁻¹ (P-HCl) compreende os fosfatos ligados ao cálcio (Ca-Apatita), formando desde compostos mais fracos (fosfatos monocálcicos) até as hidroxiapatitas (OH⁻), fluoapatitas (F⁻) e cloroapatitas (Cl⁻), em que o fósforo está preso em ligações extremamente fortes, difíceis de serem rompidas. Outra forma também compreendida nessa extração são as fosforitas, fosfatos de cálcio com substituição parcial do PO₄³⁻ por Mg, Na ou CO₃²⁻ (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004).

No presente experimento, cerca de 60 % do P-Moderadamente lábil foi obtido na extração com HCl, sugerindo a ocorrência de condição alcalina. Considerando o pH em H₂O = 6,2 do solo da área experimental, antes da instalação do experimento, exclui a possibilidade do P ligado ao cálcio. Uma possível justificativa pode estar ligada a adição de material orgânico ao solo, visto que os ácidos orgânicos produzidos durante a mineralização aumentam o pH da solução do solo e, em contrapartida, complexarão o alumínio na solução, tornando-o indisponível. Além disso, ocorre aumento dos teores de Ca, Mg, K, P, N, S e B pela própria presença desses elementos nos resíduos orgânicos (PAVINATO *et al.*, 2009). Com o aumento do pH há predominância do fósforo na forma HPO₄²⁻, em detrimento a forma H₂PO₄⁻; a forma bivalente é preferencialmente adsorvida, formando os fosfatos de cálcio, de baixíssima solubilidade (NOVAIS; SMITH; NUNES, 2007).

Figura 17 - Fósforo moderadamente lábil (P-Moderadamente lábil, 17a) e fósforo não lábil (P-Não lábil, 17b) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Apesar de utilizarem solos com baixos valores de pH, Pavinato *et al.* (2009) e Teles *et al.* (2017) também observaram incremento de fósforo na extração com HCl, quando da aplicação de resíduos orgânicos em cobertura.

Os teores de P-Moderadamente lábil foram consideráveis em todos os tratamentos, com participação de mais de 40 % do P-Total, ou seja, a maior parte do fósforo do solo apresentava-se na forma intermediária, não disponível para as plantas. Cherubin *et al.* (2016), trabalhando com solos ricos em caulinita e oxi-hidróxidos de Fe e Al das regiões centro-oeste e sudeste do Brasil encontraram valores de cerca de 20 % de P – moderadamente

lável. Os valores de pH desses solos eram inferiores ao do presente trabalho, predominando as formas moderadamente lábeis extraídas com NaOH 0,1 mol L⁻¹. Rodrigues *et al.* (2016), utilizando quatro Latossolos na região do Cerrado, encontraram valores de P-Moderadamente lábil semelhantes aos encontrados no presente trabalho, tanto em sistemas de cultivo convencional, quanto em sistemas de plantio direto. Os teores elevados de P-Moderadamente lábil foram atribuídos a elevada ciclagem de nutrientes, a elevada fixação as superfícies cristalinas de Fe e Al e caulinita, e a precipitação em solução, uma vez que o valores do pH dos solos eram baixos.

Fósforo não lábil (P-Não lábil)

A aplicação isolada ou associada de adubos mineral e orgânicos não influenciou nos teores de P-Não lábil do solo (TABELA 10); entretanto, houve ajuste a modelo de regressão linear positivo para as épocas de coleta dos solos (FIGURA 17b).

O fósforo extraído por solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ é enquadrada como P-Não lábil por conter formas mais recalcitrantes de P, tanto nas formas inorgânicas (Pi), quanto orgânicas (Po). A forma inorgânica representa o P associado a Fe e Al e a minerais de argila, e a orgânica estar associada aos ácidos fúlvicos e húmicos dentro dos agregados (CONDRON; GOH; NEWMAN, 1985).

As formas de P extraídas por NaOH 0,5 mol L⁻¹ são similares as extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹, diferindo na retirada da parte que está protegida no interior dos microagregados do solo (CROSS; SCHLESINGER, 1995) pelo extrator NaOH 0,1 mol L⁻¹. Assim, a solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ apenas completa a extração iniciada pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹ (CONDRON; GOH; NEWMAN, 1985). A maior concentração do extrator, a acidificação intermediária pelo HCl e o tempo de agitação adicional a que a amostra é submetida contribui, também, para que esta fração seja classificada como não lábil (RODRIGUES, 2013).

O P-Não lábil correspondeu a cerca de 25 % do P-Total; entretanto, esse valor é baixo comparado aos obtidos por Rodrigues *et al.* (2016), que obtiveram P-Não lábil de 40 % em relação ao P-total de Latossolos da região do Cerrado. Querubim *et al.* (2016) obtiveram valores de P-Não lábil de 75 % em solos bem desenvolvidos no Brasil central e da região Sudeste. Teles *et al.* (2017) obtiveram valores de P-Não lábil de 76 % em um Latossolo Vermelho e atribuem isso ao teor de argila no solo de 70 % e a composição predominante de

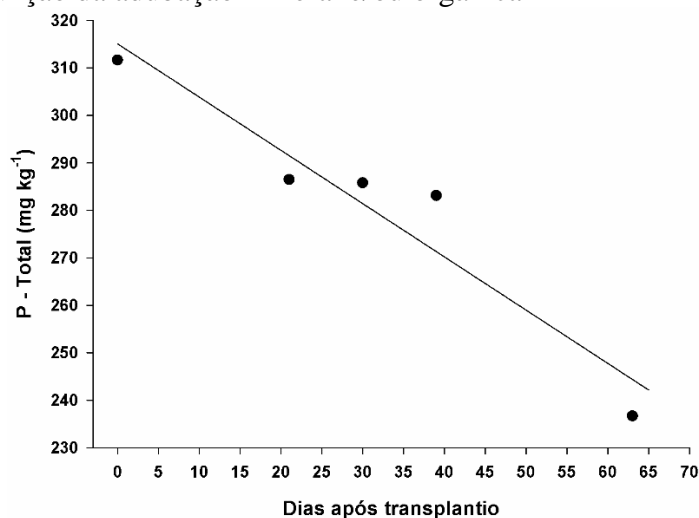
caulinita, hematita e gibbsita, que são capazes de adsorver fortemente o fósforo, tornando-o indisponível para a absorção pelas plantas (ULÉN; SNÄLL, 2007).

O baixo percentual inicial de P-Não lábil no Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro pode estar relacionado ao grau de intemperismo do solo e ao baixo teor de argila, comuns nessas regiões de clima tropical litorâneo. O aumento dessa forma de fósforo ao longo do cultivo do meloeiro pode ser devido ao fato de que os minerais primários são alterados de forma concomitante à mineralização das formas orgânicas; com isso o aprisionamento do fósforo em ligações mais fortes vai se concretizando. Novais e Smyth (1999) afirmaram que com o passar do tempo às ligações fósforo-coloide tendem a especificidade, ocorrendo a formação de compostos binucleados com penetração do fosfato nas imperfeições do cristal, proporcionando ao fósforo uma condição de P-Não lábil.

Fósforo total (P-Total)

O fósforo total, resultado da soma entre todas as formas inorgânicas e orgânicas extraídas no fracionamento de Hedley, Stewart e Chauhan (1982), apresentou diferenças entre os tratamentos e entre as épocas de coletas de solo (TABELA 10). A associação dos adubos orgânicos com o mineral resultou em maiores teores de P-Total, quando comparada à aplicação isolada deles. A fração P-Total diminuiu ao longo do tempo, ajustando-se ao modelo de regressão linear negativo (FIGURA 18).

Figura 18 - Fósforo total (P-Total) em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



$$P\text{-Total} = - 1,122 D + 315,076 \quad (R^2 = 0,91^{**})$$

** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Os valores de P-Total encontrados no presente trabalho foram semelhantes aos encontrados por Rodrigues *et al.* (2016) em sistemas de cultivo convencional em quatro Latossolos no Cerrado, observando teores de P-total de 142, 322, 359 e 367 mg kg⁻¹. Araújo *et al.* (2004), estudando Latossolos da região Nordeste em área abrangente do bioma caatinga, também encontraram teores de P-Total variando de 250 a 390 mg kg⁻¹. Nos trabalhos de Beck e Sanchez (1996); Abekoe e Sahrawat (2003) em Argissolos de ambientes semiáridos, foram encontrados teores de P-Total semelhantes aos do presente trabalho.

Os valores relativamente baixos de P-Total são atribuídos principalmente ao material de origem desse solo e ao manejo empregado ao longo do tempo, pois, segundo Raij (2011), os teores de fósforo variam de pouco mais de zero em solos muito arenosos até mais de 3.000 mg kg⁻¹ em solos mais argilosos.

Fósforo inorgânico e orgânico

As formas orgânicas e inorgânicas podem atuar como fonte ou dreno de P da solução, dependendo das características mineralógicas, condições ambientais, fertilização aplicada e manejo do solo empregado (NOVAIS, SMYTH, 1999). Podem, ainda, ser agrupadas como compartimentos biológico e geoquímico (P-Biológico e P-Geoquímico), sendo que o primeiro inclui todas as frações orgânicas (Po-Bic + Po-NaOH I + Po-NaOH II) e o segundo todas as frações inorgânicas e o P-Residual (P-RTA + Pi-Bic + Pi-HCl + Pi-NaOH I + Pi-NaOH II + P-Residual) (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Os compartimentos biológicos e geoquímicos representaram cerca de 25 % e 75 % do P-Total, respectivamente (FIGURA 19).

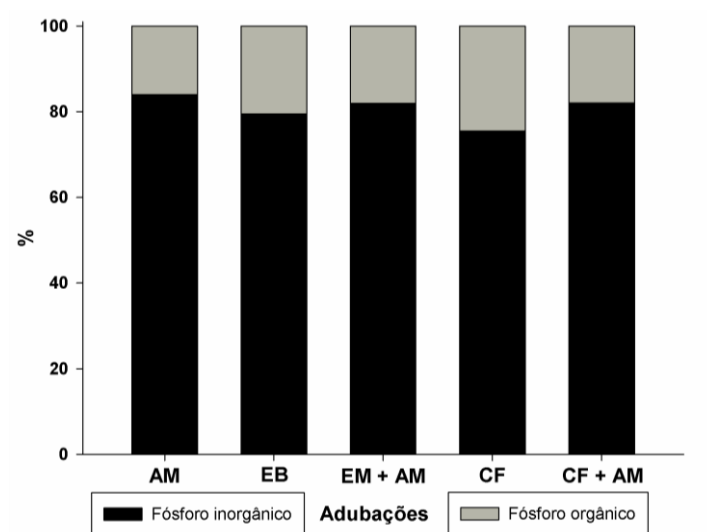
Resultados semelhantes a esse foram encontrados nos trabalhos de Pavinato *et al.* (2009), Cherubin *et al.* (2016) e Rodrigues *et al.* (2016). Considerando apenas as formas lábeis e de labilidade moderada, o P-Biológico atinge valores próximos de 50 % em relação ao total, o que indica a importância da dinâmica de ciclagem e da mineralização das formas orgânicas para o aumento da disponibilidade do P para as plantas. A matéria orgânica na maioria das vezes é a principal reserva de P do solo, representando de 30 a 65 % do P-Total (SHEN *et al.*, 2011).

Nos solos tropicais, com elevado intemperismo, pobres em nutrientes e na maioria das vezes degradados, as reservas de material orgânico são escassas e a decomposição é afetada (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Neste caso, a adição de adubos orgânicos e a busca

pela manutenção da ciclagem dos nutrientes é fundamental para o funcionamento do solo a longo prazo e produtividade das culturas nesses solos (FONTE *et al.*, 2014; NESPER *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2016).

A adubação mineral fosfatada contribuiu para o aumento do P-Geoquímico no solo, enquanto a adubação orgânica mantém a ciclagem ativa e favorece o aumento de formas mais facilmente aproveitadas pelas plantas.

Figura 19 - Distribuição percentual do fósforo total (P-Total) entre formas orgânicas e inorgânicas em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com meloeiro Goldex F1, em função da adubação mineral e/ou orgânica



Para autores como Conte, Anghinoni e Rheinheimer (2002) e Cherubin *et al.* (2016), essa separação é vantajosa por facilitar a detecção de transformações que ocorrem com o P na formação do solo, além de ser útil também na descrição da importância dessas formas e na percepção da interferência antrópica nos sistemas, seja com a adição de fertilizantes, a implementação de sistemas de rotação de culturas ou outras atividades.

4 CONCLUSÕES

A fonte de fósforo utilizada, orgânica e/ou mineral, não interfere na eficiência de utilização dos macronutrientes e no acúmulo e na partição do P pelo meloeiro híbrido Goldex F1.

Apenas a adubação com cama de frangos manteve balanço adequado de fósforo para o cultivo do híbrido meloeiro Goldex F1, ou seja, a quantidade de P removida na ocasião da colheita foi equivalente à entrada pela aplicação dos adubos.

A adubação e o tempo de cultivo do meloeiro alteraram a distribuição e a proporção das formas de fósforo no solo.

A associação de adubos (mineral e orgânicos) constituiu a melhor estratégia para o aumento do fósforo nas formas mais lábeis.

REFERÊNCIAS

- ABEKOE, M. K.; SAHRAWAT, K. L. Long-term cropping effect on phosphorus fractions in an Ultisol of the humid forest zone in West Africa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 427 - 437, 2003.
- AGUIAR NETO, P. *et al.* Crescimento e acúmulo de macronutrientes na cultura do melão em Baraúna - RN e Petrolina - PE. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 556 - 567, 2014.
- AGUIAR, A. das C. F. *et al.* Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158 - 164, 2013.
- ANGELOTTI, F.; COSTA, N. D. **Clima**. IN: Embrapa Informática Agropecuária. Sistema de produção de melão. 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 05 mar. 2017.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873 - 928.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A. *et al.* Fertilidade do solo e Manejo da Adubação de Culturas. **Gênesis**, 2004, v.1, p.117 - 138.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C. A. *et al.* Fertilidade do solo e Manejo da Adubação de Culturas. **Gênesis**, v. 1, p. 117 - 138. 2004.
- ARAGÃO, F. A. S. Divergência genética de acessos e interação genótipo x ambiente de famílias de meloeiro. 2011. 137 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2011.
- ARAÚJO, C. A. de S. *et al.* Eluição de fósforo em relação ao tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 24 - 30, 2003.
- ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 119, p. 309 - 321, 2004.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, p. 613 - 626, 1991.

BARBIERI, D. M. *et al.* Comportamento dos óxidos de ferro da fração Argila e do fósforo adsorvido, em diferentes Sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1557 – 1568, 2013.

BARBIERI, D. M. *et al.* Hillslope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 819 - 826, 2009.

BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus movement and budget after 13 years of fertilized cultivation in the Amazon basin. **Plant Soil**, v. 184, p. 23 - 31, 1996.

BORTOLUZZI, E. C. *et al.* Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, v. 104, p. 196 - 204, 2015.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 326 - 366, 1989.

BOWMAN, R. A.; COLE, C.V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. **Soil Science**, v. 125, p. 95 - 101, 1978.

BRASIL. Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, Seção 1, p.11. SDA nº 28, de 27 jul. de 2007.

BRASIL. Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, Seção 1, p.11. SDA nº 28, de 27 jul. de 2007.

BRITO, L. T. L. *et al.* Fontes de fósforo aplicadas na cultura do melão via água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 19 - 22, 2000.

BROGGI, F. *et al.* Adsorption and chemical extraction of phosphorus as a function of soil incubation time. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 32 - 38, 2010.

BÜNEMANN, E. K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus e - A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 82 - 98, 2015.

CAMPOS, M. L. *et al.* Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 361 - 367, 2005.

CARMO, C. A. F. S. *et al.* Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (**Circular técnica, 6**).

CARMO, G. A. do. *et al.* Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 512 - 518, 2011.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133 - 144, 1957.

CHERUBIN, M. R. *et al.* Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. **Geoderma**, v. 265, p. 27 - 38, 2016.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 383 - 395, 1989.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M.; NEWMAN, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **European Journal of Soil Science**, v. 36, p. 199 - 207, 1985.

CONDRON, L. M.; NEWMAN, S. Revisiting the fundamentals of phosphorus fractionation of sediments and soils. **Journal of Soils and Sediments**, v. 11, p. 830 - 840, 2011.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicações de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 925 - 930, 2002.

COSTA, J. P. V. *et al.* Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 828 - 835, 2006.

COSTA, N. D.; SILVA, H. R. Cultivares. *In*: SILVA, H. R. da; COSTA, N. D. Melão: produção, aspectos técnicos. **Frutas do Brasil**, v. 3, 2002, p. 29 - 34.

CREWS, T. E.; BROOKES, P. C. Changes in soil phosphorus forms through time in perennial versus annual agroecosystems. **Agriculture, ecosystems e environment**, v. 184, p.168 - 181, 2014.

CRISÓSTOMO, L. A. *et al.* Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p. 21. (**Circular Técnica**, 14).

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, p. 197 - 214, 1995.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, p. 197 - 214, 1995.

DAO, T. H. Ligands and phytase hydrolysis of organic phosphorus in soils amended with dairy manure. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1188 -1195, 2004.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 282 - 293, 2015.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DUARTE, T. S.; PEIL, R. M. N. Relações fonte/dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 271 - 276, 2010.

ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata - doce. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 176 - 182, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (Fortaleza, CE), Dados climatológicos: Estação de Pacajus, 2001. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 15 p. (**Boletim Agrometeorológico 24**).

FAGERIA, N. K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2115 - 2120, 2000.

FALCÃO, N. P. S; SILVA, J. R. A. da. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, v. 34, p. 337 - 342, 2004.

FARDEAU, J. C. Dynamics of phosphate in soil: an isotopic outlook. **Fertilizer Research**, v. 45, p. 91 - 100, 1996.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Ácidos orgânicos: dos primórdios da química experimental a sua presença em nosso cotidiano. **Química Nova na Escola**, v. 15, p. 6 - 10, 2002.

FONTE, S. J. *et al.* Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate - associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150 - 157, 2014.

FONTE, S. J. *et al.* Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150 - 157, 2014.

FONTES, A. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMARODRIGUES, E. F. Efciência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 9 - 18, 2013.

FROSSARD, E. *et al.* Processes governing phosphorus availability in temperate Soils. **Journal of environment quality**, v. 29, p.15 - 23, 2000.
ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2014/ods/>. Acesso em: 10 mar. 2017.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS E HÍDRICOS. <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 28 set. 2015.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS E HÍDRICOS (FUNCEME). 2015. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 05/02/2016.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS E HÍDRICOS (FUNCEME). Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 06/02/2017.

GATIBONI, L. C *et al.* Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: Usos e limitações. In: ARAÚJO, A. P. e ALVES, B. J. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2013, v. 8, p. 141 - 187.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C. *et al.* 2007. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob Sistema plantio direto (Bioavailability of soil phosphorus forms in no-tillage system). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 691 - 699, 2007.

GATIBONI, L. C. *et al.* Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 32, p. 1753 - 1761, 2008.

GATIBONI, L.C *et al.* Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: Usos e limitações. In: ARAÚJO, A. P. e ALVES, B. J. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2013. v. 8. p. 141 - 187.

GOMES, P. Adubos e adubações. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1974. 188p.

GRANGEIRO, L. C. *et al.* Acúmulo e exportação de nutrientes pela cultivar de melancia. **Caatinga**, v. 18, p. 73 - 81, 2005.

GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Exportação de nutrientes pelos frutos de melancia em função de épocas de cultivo, fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 740 - 743, 2004.

HAAG, H. P. *et al.* Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) destinado ao processamento industrial. **Anais da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – Esalq/USP** v. 35, p. 243 – 269. 1981.

HAVLIN, J. L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7th. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

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

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

HINSINGUER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, v. 237, p. 173 - 195, 2001.

INSTITUTE, INTERNATIONAL PLANT NUTRITION. **Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal:ftp:<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_\[anual\]/2014/ods/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2014/ods/)>. Acesso em: 07 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Dinâmica das Exportações Cearenses nos Últimos Dez Anos. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ipeceinforme/Ipece_Informe_58_23_abril_2013.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

KANO, C. *et al.* Acúmulo de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido. **Ciências Agrárias**, v. 31, p. 1155 - 1164, 2010.

KOVAR, J. L.; PIERZYNSKI, G. M. **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters**. Virginia Tech. University Press, 2009. 122 p. (Southern Cooperative Series Bulletin No. 408)

LEITE, J. N. F. *et al.* Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1880 - 1889, 2016.

LEITE, J. N. F. **Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em função de plantas de cobertura e de adubação NITROGENADA**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia (ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista - Unesp, Jaboticabal, 2015.

LI, G. *et al.* Characterization of Phosphorus in Animal Manures Collected from Three (Dairy, Swine, and Broiler) Farms in China. **Plos One**, v. 9, p. 1 - 8, 2014.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p. 20. (**Documentos, 53**).

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (**Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 53**), 2002. p. 20.

LIMA, A. A. de. **Absorção e eficiência de utilização de nutrientes por híbridos de melão (*Cucumis melo* L.)**. 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ce.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G.; CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in Soil Environments**. Madison: SSSA, 1989. p. 1089 - 1130. (SSSA Book Series, nº 8).

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 13 - 34.

LOPES, C. M. **Caracterização química de subprodutos da indústria sucroenergética enriquecidos com fontes minerais e orgânicas submetidos à compostagem**. 2014. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq - Usp), Piracicaba, 2014.

LÓPEZ - BUCIO, J. L. *et al.* Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, v. 129, p. 244 - 256, 2002.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubações, 3a edição. São Paulo SP, **Editora Agronômica Ceres**, 1981.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: London Academic Press, 2012. 651p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2. ed. 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo. II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 239 - 244, 1993.

MAUAD, M. *et al.* Produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de niger. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 533 - 540, 2015.

MELO, D. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes do meloeiro rendilhado cultivado em substrato**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal), Unesp, Jaboticabal, 2011.

MENDES, A. M. S. *et al.* A cultura do melão. **Coleção Plantar**. Embrapa Informação Tecnológica, v. 2, p. 2008, 202 p.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O tomateiro**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1989 n. 219, p. 27 - 34, 2003.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO

EXTERIOR – MDIC. Disponível em:

<http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ENCONTRO_ECONOMIA_CEARA_EM_DEBATE_2015.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

MIRANDA, F. R.; SOUZA, F. de.; RIBEIRO, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, v. 18, p. 63 - 70. 1999.

MIRANDA, F. R.; SOUZA, F. de.; RIBEIRO, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, v. 18, p. 63 - 70. 1999.

MOSTASHARI, M. *et al.* Phosphorus fractions of selected calcareous soils of qazvin province and their relationships with soil characteristics. **American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v. 3, p. 547 – 553, 2008.

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

NASH, D. M. *et al.* Using organic phosphorus to sustain pasture productivity: a perspective. **Geoderma**, v. 221, p. 11 – 19, 2014.

NESPER, M. *et al.* Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257 - 258, p. 123 - 133, 2015.

NESPER, M. *et al.* Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257 - 258, p. 123 - 133, 2015.

NIU, Y. F. Responses of root architecture development to low phosphorus availability: A review. **Annals of Botany**, v. 112, p. 1 - 18, 2012.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471 - 537. NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo 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.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471 - 537. NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA, C. M. B. *et al.* Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1805 - 1815, 2014.

OLIVEIRA, C. M. B. *et al.* Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 38, p. 1805 - 1815, 2014.

OLIVEIRA, F. S. de. *et al.* Partição e acumulação de nutrientes no meloeiro amarelo fertirrigado em condições semiáridas. **Irriga**, v. 21, p. 545 - 560, 2016.

PAGLIARI, P. H.; LABOSKI, C. A. M. Investigation of the Inorganic and Organic Phosphorus Forms in Animal Manure. **Journal of Environment Quality**, v. 41, p. 901 - 910, 2012.

PAVINATO, P. S. **Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduo em superfície**. 2007. 145 p. Tese (Doutorado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2007.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in brazilian cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 149 - 155, 2009.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911 - 920. 2008.

- PINTO, S. I. C. *et al.* Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523 - 533, 2011.
- PIZZEGHELLO, D. *et al.* Phosphorus - related properties in the profiles of three italian soils after long-term mineral and manure applications. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 189, p. 216 - 228, 2014.
- RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Campinas: IAC; IPNI, 2011. 288p.
- RAMOS, S. J. *et al.* Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 335 - 343, 2009.
- REDEL, Y. D. *et al.* Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. **Geoderma**, v. 139, p. 388 - 396, 2007.
- RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. **Plant Physiology**, v. 156, p. 989 - 996. 2011.
- RISKIN, S. H. *et al.* The fate of phosphorus fertilizer in Amazon soya bean fields. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, p. 2012 - 2023. 2013.
- ROBERTS, T. L.; JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 275 - 281, 2015.
- ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. **Cucurbits**. New York: CAB International, 1997. 226 p.
- RODRIGUES, M. *et al.* Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 1050 - 1061, 2016.
- RODRIGUES, M. Sistemas de manejo e a dinâmica das formas de fósforo e da fertilidade em solos de Cerrado. 2013. 113 p. **Dissertação** (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- ROSSI, C. Q. **Matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em Cronossequência de cana de-açúcar cultivada no cerrado**. 2013. 89f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- ROZANE, D. E. *et al.* Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1020 - 1026, 2007.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. de.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v. 26, p. 447 - 457, 2002.

SCHACHTMAN, D.P.; REID, R.J.; AYLING, S.M. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant Physiology**, v. 116, p. 447 - 453, 1998.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Cultivo de melão: manejo, colheita, pós-colheita e comercialização. Brasília: SENAR, 2007. 104 p. (**Coleção SENAR - 131**).

SHEN, J. *et al.* Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiol**, v. 156, p. 997 - 1005. 2011.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 289 - 302, 1981.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 289 - 302, 1981.

SILVA JÚNIOR, M. J. da *et al.* Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo meloeiro “pele-de-sapo”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p.364 - 368, 2006.

SILVA, F. C. *et al.* **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 107 - 189.

SILVA, H. R. *et al.* Cultivo do meloeiro para o norte de Minas Gerais. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. p. 21. (**Circular Técnica, 20**).

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 257 - 264, 1996.

SOUSA, V de F. L de. **Eficiência nutricional de macronutrientes em meloeiro**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia: Fitotecnia, UFERSA, Mossoró-RN, 2013.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F; SOUZA, V. A. B. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 659 - 664. 1999.

SOUZA, J. R. M de. **Formas de nitrogênio no solo e produtividade do meloeiro em resposta à adubação mineral e orgânica**. 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ce, 2016.

STUTTER, M. I. *et al.* Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. **Geoderma**, v. 257 - 258, p. 29 - 39, 2015.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Pant Nutrition**, v. 17, p. 1687 - 1699, 1994.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; D. CURTIN. 2008. **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use**. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. Rome, Italy.

TELES, A. P. B. *et al.* Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use And Management**, v. 33, p. 34 - 44, 2017.

THIEN, S. J.; MYERS, R. Determination of bioavailable phosphorus in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 814 - 818, 1992.

TIESSEN, H.; MOIR, J. O. Characterization of available P by sequential extraction. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis* Canadian Society of Soil Science. **Lewis Publications**, p. 75 - 86. 1993.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of Phosphorus Transformations in Soils of Differing Pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 853 - 862, 1984.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**, v. 45, p. 45 - 51, 1994.

ULÉN, B.; SNÄLL, S. Forms and retention of phosphorus in an illite-clay soil profile with a history of fertilization with pig manure and mineral fertilizers. **Geoderma**, v. 137, p. 455 - 465, 2007.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423 - 447, 2003.

VIANA, T. V. A. *et al.* Produtividade do meloeiro fertirrigado com potássio em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 460 - 463, 2007.

VIDIGAL, S. M.; PACHECO, D. D.; FACION, C. E. Crescimento e acúmulo de nutrientes pela abóbora híbrida tipo Tetsukabuto. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 375 - 380, 2007.

VU, D. T.; TANG, C.; ARMSTRONG, R. D. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, v. 304, p. 21 - 34, 2008.

WANG, X. *et al.* Characteristics of phosphate adsorption-desorption onto ferrihydrite: comparison with wellcrystalline Fe hydroxides. **Soil Science**, v. 178, p. 1 - 11, 2013.

WHITE, P. J. Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, p. 207 - 222, 2013.

WRIGHT, A. L. Soil phosphorus stocks and distribution in chemical fractions for long-term sugarcane, pasture, turf grass, and forest systems in Florida. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 83, p. 223 - 231, 2009.

YANG, X. *et al.* Microbial properties of a loess soil as affected by various nutrient management practices in the loess plateau of China. **Soil Science**, v. 41, p. 956 – 967, 2010.

YOON, S. Y. *et al.* Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for phosphate adsorption to magnetic iron oxide nanoparticles. **Chemical Engineering Journal**, v. 236, p. 341 - 347, 2014.

ZAVASCHI, E. Avaliação de superfosfato orgânico-complexado. 2014. 75 f. **Tese (Doutorado)** - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014. Cap. 1.