

ISBN: 978-65-86361-66-7

TÓPICOS EM AGROECOLOGIA

Volume II - 2020

ORGANIZADORES:

OTACILIO JOSE P. RANGEL
ANA PAULA CANDIDO G. BERILLI
APARECIDA DE FATIMA M. DE OLIVEIRA
DANIELLE INÁCIO ALVES
JEANE DE ALMEIDA ALVES
JEFERSON LUIZ FERRARI
MAURICIO NOVAES SOUZA
MONIQUE MOREIRA MOULIN
PEDRO PIERRO MENDONÇA

TÓPICOS EM AGROECOLOGIA

Volume II - 2020



Programa de Pós-Graduação em Agroecologia
Alegre-ES



Programa de Pós-Graduação em
Agroecologia (PPGA)
Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) -
Campus de Alegre
Rodovia ES 482, km 47, Cx. Postal-47,
Distrito de Rive, Alegre-ES
Telefone: (28) 3564-1808
www.ppga.alegre.ifes.edu.br

Reitor: Jadir Jose Pela
Pró-Reitor de Administração e Orçamento: Lezi José Ferreira
Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional: Luciano de Oliveira Toledo
Pró-Reitora de Ensino: Adriana Piontkovsky Barcellos
Pró-Reitor de Extensão: Renato Tannure Rotta de Almeida
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: André Romero da Silva
Coordenador da Edifes: Adonai José Lacruz

Comissão de Editoração

Otacílio José Passos Rangel, Ana Paula
Candido Gabriel Berilli, Aparecida de Fátima
Madella de Oliveira, Danielle Inácio Alves,
Jeane de Almeida Alves, Jéferson Luiz
Ferrari, Maurício Novaes Souza, Monique
Moreira Moulin, Pedro Pierro Mendonça

Revisão Textual

Ana Paula Candido Gabriel Berilli
Aparecida de Fátima Madella de Oliveira
Jéferson Luiz Ferrari
Luciano Menini
Maurício Novaes Souza
Monique Moreira Moulin
Otacílio José Passos Rangel
Pedro Pierro Mendonça
Renato Ribeiro Passos

Editoração Eletrônica

Programa de Pós-Graduação em
Agroecologia (PPGA), Ifes-Campus de Alegre

Capa

Assessoria de Comunicação Social - Ifes

Normalização Bibliográfica

Danielle Inácio Alves
Jeane de Almeida Alves

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Monsenhor José Bellotti – Ifes campus de Alegre

T674 Tópicos em agroecologia, vol. II [recurso eletrônico] / Otacílio José
Passos Rangel ... [et al.] (organizador). – Alegre: Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2020.
450 f. il.

ISBN: 978-65-86361-66-7
Inclui bibliografias.
formato: livro digital (e-book PDF)
veiculação: digital

1. Ecologia agrícola – Pesquisa. 2. Agricultura – Sustentabilidade. I.
Rangel, Otacílio José Passos, org. II. Berilli, Ana Paula Candido Gabriel,
org. III. Oliveira, Maria de Fátima Madella, org. IV. Alves, Danielle Inácio,
org. V. Alves, Jeane de Almeida, org. VI. Ferrari, Jéferson Luiz, org. VII.
Novaes, Maurício, org. VIII. Moulin, Monique Moreira, org. IX. Mendonça,
Pedro Pierro, org.

CDD: 630.2745

elaborada por Aline Kuplich – CRB-6/ES 540
©2020 Instituto Federal do Espírito Santo
Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução parcial desta obra, desde que citada a fonte.
O conteúdo dos textos é de inteira responsabilidade dos autores.

Sumário

Capítulo 1

Transição agroecológica: intervenções necessárias e suas externalidades

Dayvson Dansi Rodrigues, Maurício Novaes Souza, Ana Cláudia Hebling Meira, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Aline Marchiori Crespo, Geisa Corrêa Louback, 28

Capítulo 2

O sistema agroflorestal “Taungya” na recuperação de áreas degradadas

Gabriel Permanhane da Silva, Leticia Rigo Tavares, Vinicius de Freitas Mateus, Telma Machado de Oliveira Peluzio, Atanásio Alves do Amaral e Maurício Novaes Souza, 47

Capítulo 3

Microbacia hidrográfica do córrego vagalume: um olhar crítico para a sua paisagem

Geraldo José Alves Dutra, Marcus Vinicius Souza Silva, Mário Wesley Paiva Zanetti, Jéferson Luiz Ferrari, 65

Capítulo 4

Arborização de cafezais: diversificação do sistema e melhoria da qualidade de bebida

Isabel Inácio de Moraes Souza, Maurício Novaes Souza, Mário Euclides Pechara da Costa Jaeggi, Marta dos Santos Freire Ricci, João Batista Pavesi Simão, Janaina Ribeiro Costa Rouws, Ednaldo da Silva Araújo, 85

Capítulo 5

Proposições para melhoria das formas de manejo e qualidade do café conilon

Lucas Louzada Pereira, Alice Dela Costa Caliman, Fábio Luiz Partelli, Marliane de Cássia Soares da Silva, Paulo Prates Junior, Aldemar Polonini Moreli, Willian dos Santos Gomes, 101

Capítulo 6

GT biplot aplicado ao estudo da diversidade de variedades de pimentas do gênero *Capsicum* do Estado do Espírito Santo

Bruna Dias Gomes Brilhante, Talles de Oliveira Santos, Larícia O. Emerick Silva, Fernanda V. Valadares, Ana Paula Cândido Gabriel Berilli, Larissa de Carvalho Nascimento, Cintia dos S. Bento, Rosana Rodrigues, Monique Moreira Moulin, 119

Capítulo 7

Estratégias de seleção de genótipos superiores para produção de grãos de milho sob seleção recorrente recíproca

Fernanda Vargas Valadares, Larícia Olária Emerick Silva, Rafael Nunes de Almeida, Lazaro Renilton Emerick Silva, Leandro Heitor Rangel, José Dias de Souza Neto, Larissa de Carvalho Nascimento, Savio da Silva Berilli, Paola Alfonsa Lo Mônaco, Monique Moreira Moulin, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, 139

Capítulo 8

Caracterização morfológica e bromatológica de genótipos de pimenta (*Capsicum* spp.) coletados no Estado do Espírito Santo

Yuri Ferreira Quirido Veiga, Talles de Oliveira Santos, Raissa Olmo Lacerda Pirovani, Rafael de Almeida, Larissa de Carvalho Nascimento, José Dias de Souza Neto, Alexandre Cristiano Santos Júnior, Monique Moreira Moulin, 153

Capítulo 9

Estudo da diversidade genética de variedades de milho-pipoca em ambiente com déficit hídrico com base em descritores morfológicos, fisiológicos e radiculares

Talles de Oliveira Santos, Antônio Teixeira do Amaral Júnior, Rosimeire Barboza Bispo, Valter Jário de Lima, Samuel Henrique Kamphorst, Monique Moreira Moulin, 172

Capítulo 10

Produção sustentável da cultura da banana: estratégias de manejo alternativo da broca-do-rizoma *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae)

Alcino Lamas Lazzarini, José Salazar Zanuncio Junior, Rogério Carvalho Guarçoni, Lorenzo Montovaneli Lazzarini, Claudio Martins de Almeida, Maurício José Fornazier, Andréa Ferreira da Costa, 194

Capítulo 11

Aplicações tecnológicas para subprodutos do processamento da graviola

Jaqueline Rodrigues Cindra de Lima Souza, Luciano Menini, Tércio da Silva de Souza, Luciana Alves Parreira, 209

Capítulo 12

Manejo agroecológico do ácaro rajado -*Tetranychus urticae*

Kíssila França Lima, Luciano Menini, Victor Dias Pirovani, Luciana Alves Parreira, 220

Capítulo 13

Produção de cafés especiais e sua relação com as condições edafoclimáticas: uma abordagem introdutória ao tema

Lucas Louzada Pereira, Aldemar Polonini Moreli, Evandro de Andrade Siqueira, Rogério Carvalho Guarçoni, Alexandre Rosa dos Santos, Tais Rizzo Moreira, 232

Capítulo 14

Implantação de sistema agroflorestal sucessional como alternativa para recuperação de áreas degradadas

Lorenza Bandeira de Paula, Otacílio José Passos Rangel, Lorena Abdalla de Oliveira Prata Guimarães, Renato Ribeiro Passos, André Oliveira Souza, Júlio Cezar Machado Baptestini, 249

Capítulo 15

Dinâmica e degradação dos pesticidas no solo: uma ameaça eminente a sustentabilidade dos sistemas agrícolas

Dalila da Costa Gonçalves, Willian Rodrigues Ribeiro, Alex Justino Zacarias, Geisa Corrêa Louback, Rafael de Almeida, Vanessa Sessa Dian, Otacílio José P. Rangel, 264

Capítulo 16

Umidade e temperatura do solo: efeitos da cobertura morta e do tipo de preparo

Gustavo Haddad Souza Vieira, Arildo Sebastião Silva, Lusinerio Prezotti, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Savio da Silva Berilli, Arun Dilipkumar Jani, 279

Capítulo 17

Água residual de suinocultura e sistema plantio direto: efeitos em propriedades do solo cultivado com milho

Otacílio José Passos Rangel, Gustavo Haddad Souza Vieira, Marcus Vinícius Souza Silva³ Rebyson Bissaco Guidinelle, Júlio Cezar Machado Baptestini, Renato Ribeiro Passos, André Oliveira Souza, Thiago Lopes Rosado, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Sávio da Silva Berilli, 296

Capítulo 18

Cafeeiro conilon em sistema agroflorestal: qualidade física do solo e carbono orgânico

Davi Salgado de Senna, Renato Ribeiro Passos, Otacílio José P. Rangel, João Batista Silva Araújo, Alex Justino Zacarias, Jéferson Luiz Ferrari, André Oliveira Souza, 316

Capítulo 19

Dinâmica do fósforo em solos tropicais e manejo da adubação organomineral fosfatada

Ronaldo Willian da Silva, Renato Ribeiro Passos, Otacílio José Passos Rangel, Felipe Vaz Andrade, Amanda Faé Sartori, 337

Capítulo 20

Tratamento de água residuária da suinocultura em sistemas alagados construídos cultivados com capim Jiggs

Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Gustavo Haddad Souza Vieira, Ismail Ramalho Haddade, Sávio da Silva Berilli, Ana Paula Cândido Berilli, Rodrigo Junior Nandorf, Lillya Mattedi, Thiago Lopes Rozado, Alberto Chambela Netto, 356

Capítulo 21

Resíduos da vitivinicultura como componente de substratos para produção de mudas de pepino

Paola Honorato Salla, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Larissa Ionara Silva Paula, Gustavo Haddad Souza Vieira, Ismail Ramalho Haddade, Sávio da Silva Berilli, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Lillya Mattedi, Rodrigo Junior Nandorf, Alberto Chambela Neto, 368

Capítulo 22

Reaproveitamento do lodo de curtume como fonte de adubação alternativa para produção de mudas de café conilon no estado do Espírito Santo

Leonardo Martineli, Sávio da Silva Berilli, Lucas Alves Rodrigues, Ana Paula Cândido Gabriel Berilli, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Gustavo Haddad Souza Vieira, 380

Capítulo 23

Uso do vinhoto associado ao lodo de curtume como fertilizante foliar na produção de mudas de café conilon

Lucas Alves Rodrigues, Sávio da Silva Berilli, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Waylson Zancanella Quarteza, Laís Gertrudes Fontana Silva, Nadhylla Pião Felberg, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Gustavo Haddad Souza Vieira, 389

Capítulo 24

Gerenciamento de resíduos da cadeia produtiva de pescado e seu uso sustentável

Paola de Oliveira Santos, João Victor Nascimento Tardim, Venan Vieira dos Anjos, Layon Carvalho de Assis, Joyce Garcia Silva, Luiza Aparecida Campos de Paula, Silvia Pope de Araújo, Leonardo Demier Cardoso, Alberto Chambela Netto, Pedro Pierro Mendonça, 408

Capítulo 25

Aplicação de ingredientes alternativos na formulação de rações para peixes de corte na perspectiva agroecológica

João Victor Nascimento Tardim, Paola de Oliveira Santos, Venan Vieira dos Anjos, Layon Carvalho de Assis, Joyce Garcia Silva, Luiza Aparecida Campos de Paula, Silvia Pope de Araújo, Leonardo Demier Cardoso, Alberto Chambela Netto, Pedro Pierro Mendonça, 420

Capítulo 26

Uma alternativa para o bem-estar de vacas leiteiras: uso de óleos essenciais para o controle da mastite e carrapatos

Grazielli de Paula Pirovani, Wesley Braga de Aguiar, Aparecida de Fátima Madella-Oliveira, 438

Capítulo 19

Dinâmica do fósforo em solos tropicais e manejo da adubação organomineral fosfatada

Ronaldo Willian da Silva¹, Renato Ribeiro Passos², Otacílio José Passos Rangel³, Felipe Vaz Andrade², Amanda Faé Sartori⁴

Introdução

A maioria dos solos sob cultivos agrícolas no Brasil são bastante intemperizados, ricos em oxidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) e pobres em nutrientes devido ao intenso processo de intemperismo (LOPES et al., 2012). Nessas condições, o fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes à produção vegetal, dada a baixa disponibilidade de seus compostos e à sua forte interação com oxidróxidos de Fe e Al (NOVAIS et al., 2007). Assim, a eficiência de adubações fosfatadas é muito baixa (ASSUNÇÃO et al., 2016).

O processo de adsorção de P pelos oxidróxidos de ferro e alumínio é um dos principais fatores envolvidos na insolubilização desse nutriente, transformando o P lábil em não lábil nos solos tropicais (NOVAIS et al., 2007; RAU, 2011). Nestas condições, o solo atua como dreno e não como fonte de P para as plantas (NOVAIS et al., 2007), sendo necessária a aplicação de quantidades de fertilizantes fosfatados acima da exigência das culturas (MENEZES-BLACKBURN et al., 2016).

Tendo em vista o requerimento de grandes quantidades de fosfatos na correção da fertilidade desses solos e a ausência de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no país, associados ao elevado custo dos fertilizantes, torna-se essencial a busca por alternativas visando a otimização do uso das fontes de P (fontes não renováveis), seja reduzindo as perdas de P em sistemas agrícolas (SIMPSON et al., 2011), pelo desenvolvimento de fertilizantes fosfatados mais eficientes, uso complementar de fontes alternativas como os resíduos orgânicos (BRAOS et al., 2015), ou ainda, pela associação de

¹Me. e Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre-ES. E-mail: ronaldo_willian1@hotmail.com

²Drs. Professores da Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre-ES. E-mail: renatoribeirypassos@hotmail.com, felipevazandrade@gmail.com

³Dr. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES. E-mail: otaciliorangel@gmail.com

⁴Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre-ES. E-mail: amandafs@hotmail.com

fertilizantes químicos e orgânicos formando fertilizantes organominerais (SÁ et al., 2017; FRAZÃO et al., 2019).

A associação de fontes minerais de P com materiais orgânicos no fertilizante organomineral fosfatado reduz a adsorção de P pelos minerais do solo, uma vez que os compostos orgânicos interagem positivamente com P (SÁ et al., 2017; FRAZÃO et al., 2019), melhorando consequentemente a eficiência dos fertilizantes inorgânicos (FRAZÃO et al., 2019), o que pode ocasionar redução das doses de P aplicadas e maior economia na agricultura (TEIXEIRA et al., 2014).

Dentre os efeitos positivos do uso de fertilizantes organominerais na redução da adsorção de P, destaca-se o bloqueio de sítios de adsorção promovido por grupos funcionais carboxílicos e fenólicos de ácidos orgânicos liberados na mineralização da matéria orgânica (NOVAIS et al., 2007; SÁ et al., 2017). Há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (NOVAIS et al., 2007; FRAZÃO et al., 2019), disponibilizando o P por mais tempo de forma lábil para as plantas.

Tendo em vista a melhoria do entendimento sobre a dinâmica do P no solo e o aumento de eficiência da adubação fosfatada, esta revisão apresenta uma discussão sobre a influência da adubação organomineral fosfatada nos processos de transformação do P lábil para não lábil, a eficiência de fertilizantes organominerais e seu manejo em solos tropicais.

Fósforo em solos tropicais

O fósforo (P) é um elemento essencial para o crescimento das plantas, e sua deficiência em solos tropicais altamente intemperizados é frequentemente relatada reduzindo o rendimento das culturas (SANTOS et al., 2008; RODRIGUES et al., 2016). Os solos de regiões tropicais geralmente apresentam baixa fertilidade natural e baixo pH. Além da baixa disponibilidade de P, a deficiência deste nutriente nestes solos também está associada à alta capacidade de fixação de fosfato (adsorção e precipitação) (ZHANG et al., 2016; FRAZÃO et al., 2019). Nesses solos altamente intemperizados predominam os minerais de argila 1:1, como a caulinita, e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de P (SOUZA et al., 2006).

Para entender a sua dinâmica, o fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos, fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que está ligado. Este elemento pode variar de formas iônicas em solução a compostos altamente estáveis com a matéria orgânica do solo (MOS) e frações minerais (NOVAIS et al., 2007; SHEN et al., 2011).

O fósforo inorgânico pode ser dividido em P ligado ao mineral primário (por exemplo, apatita), precipitados secundários de Fe, Al e Ca amorfos e cristalinos (precipitação) e P adsorvido, predominantemente, a silicatos de argila 1:1 e oxi-hidróxidos de Fe e Al (adsorção) (NOVAIS et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

A adsorção do fosfato aos oxidróxidos de ferro e alumínio se dá por ligação predominantemente covalente, onde os grupos OH^- e OH_2^+ ligados mono e tri coordenadamente ao metal (Fe ou Al) são trocados pelo fosfato, caracterizando o fenômeno de troca de ligantes (NOVAIS et al., 2007). O fosfato pode ligar-se em formas monodentadas, em que um oxigênio do fosfato é ligado ao e; bidentadas, em que dois oxigênios são ligados ao metal. A energia de ligação é crescente para os compostos monodentados e bidentados e a possibilidade de dessorção do fosfato aumenta na ordem inversa (NOVAIS et al., 2007). Com o passar do tempo, pode ocorrer o "envelhecimento" do fósforo adsorvido, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos bidentados ou ainda a penetração do fosfato nas imperfeições do mineral cristalizado. Isso resulta em maior estabilidade e menor possibilidade de dessorção do fosfato (NOVAIS et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Nas reações de adsorção, podem-se distinguir duas fases: uma mais rápida nos sítios ativos de superfície via atração eletrostática, seguida de outra mais lenta, quando ocorre troca de ligantes dos grupamentos OH^- e OH_2^+ pelos íons ortofosfatos (NOVAIS et al., 2007). Ocorrem, também, reações de precipitação do P com formas iônicas de Al e Fe em solos ácidos e Ca em meio básico, formando compostos de baixa solubilidade (NOVAIS e SMYTH, 1999).

O fósforo orgânico pode constituir de 5 a 80% do fósforo total do solo e, nos solos tropicais, é fonte de fósforo às plantas e deve ser levada em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a biodisponibilidade (NOVAIS et al., 2007; DAMON et al. 2014). O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (DAMON et al., 2014). As principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol, os fosfolipídios, ácidos nucleicos e outros ésteres fosfatos (DAMON et al., 2014; NASH et al., 2014). O P orgânico pode ser liberado através de processos de mineralização mediados por organismos do solo e raízes de plantas em associação com a secreção de fosfatases (SHEN et al., 2011).

O grau de labilidade do P em solos tropicais está diretamente ligado ao intemperismo sofrido, mineralogia, pH, balanço de cargas, conteúdo de matéria orgânica e a atividade microbiana do solo (NOVAIS et al., 2007). A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos (NOVAIS et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Solos altamente intemperizados, predominam os minerais de argila 1:1 e os oxidróxidos de Fe e Al com alta capacidade de adsorção de P (SOUZA et al., 2006). O processo de adsorção pode acontecer preferencialmente, segundo a seguinte ordem crescente de predomínio: minerais de argilas 2:1, argilas 1:1 e óxidos de Fe e Al (NOVAIS et al., 2007).

O pH de solos tropicais é geralmente ácido ($\text{pH} < 6$). A elevação do pH destes solos de carga variável, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade; há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, o que reduz a intensidade da adsorção de P (NOVAIS et al., 2007; SHEN et al., 2011).

Fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade (Q/I) de P nos solos tropicais

A avaliação do fósforo disponível visa à quantificação de formas capazes de repô-lo à solução do solo após absorção pelas plantas (SANTOS et al., 2008). Os modelos de disponibilização consideram dois compartimentos interligados: a solução do solo, que constitui o fator intensidade (I), e a fase sólida, que armazena os fosfatos que abastecem a solução, lábeis ou moderadamente lábeis, denominado fator quantidade (Q). A cinética de como o primeiro compartimento é abastecido pelo segundo, chamado fator capacidade (C) ou capacidade tampão de P (Q/I), representa o poder tampão, ou a taxa de recomposição do I pelo Q, a qual é controlada pela energia de ligação do nutriente em Q e pela difusividade para I, ou pelo grau de labilidade. No caso do fosfato, quanto maior o valor de Q, menor a energia de ligação aos colóides, pois os sítios de maior avidéz já estão saturados. Por isso, os métodos de avaliação da fertilidade do solo procuram estimar a porção de Q passível de repor I, para prever a necessidade de suplementação do nutriente (GATIBONI et al., 2002; SANTOS et al., 2008).

Em solos com maior adsorção de P, como os mais argilosos e, de modo particular os mais intemperizados, a relação Q/I será maior que em solos com menor adsorção (NOVAIS et al., 2007). Quando fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, esses se dissolvem, migram para a solução do solo (I), mas em decorrência da baixa solubilidade dos compostos formados e da forte tendência de adsorção, a maior parte do P fica retida na fase sólida como P lábil (Q), passando gradativamente a P não lábil, o qual não mais será disponibilizado para a solução do solo (I) (RAIJ, 2011).

À medida que o P da solução do solo (I) é absorvido pelas plantas, o P de formas menos lábeis (Q) vai sendo disponibilizado. No entanto, quanto maior a força de interação do P com os colóides do solo, menor é a velocidade de reposição do fósforo na solução (Q/I), o que

evidencia o fato de que o P não lábil presente nos solos não é suficiente para suprir a necessidade deste nutriente para as culturas (GATIBONI et al., 2007).

Adubação fosfatada em solos tropicais

Adubação mineral

Nos sistemas agrícolas, as adições anuais de fertilizantes inorgânicos tomam-se a principal fonte de P, aumentando o conteúdo total de P no solo (RODRIGUES et al., 2016). A fim de atender às demandas de P da planta, aproximadamente 15 milhões de toneladas de fertilizantes fosfatados são aplicados globalmente em terras agrícolas a cada ano (WANG et al., 2012). No entanto, apenas 5 a 30% do P aplicado é absorvido pela cultura no ano seguinte à aplicação (SATTARI et al., 2012).

A adubação fosfatada mineral tem como base duas principais fontes, que variam de acordo com sua solubilidade: fosfatos naturais reativos e fosfatos acidulados, estes últimos considerados totalmente solúveis. As fontes solúveis correspondem à maior parte do total de P utilizados na agricultura brasileira devido a sua elevada quantidade de P disponibilizada para as plantas em um curto espaço de tempo (LOPES, 2004; RESENDE et al., 2006). Os fosfatos naturais apresentam, normalmente, menor eficiência, em especial no ano da aplicação e nas culturas anuais, as quais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo (RESENDE et al., 2006; NOVAIS et al., 2007).

Dentre os fosfatos solúveis, os que são mais comumente utilizados são o superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP) (NOVAIS et al., 2007; CHIEN et al., 2011). Esses materiais, por terem solubilização e liberação consideradas rápidas, reduzem uma possível deficiência de P no solo. No entanto, a rápida liberação de P, por meio desses fertilizantes, pode favorecer o processo de adsorção e precipitação no solo (NOVAIS et al., 2007), o que reduz a disponibilidade de P para as plantas, ao longo do tempo, além de apresentar custo elevado (CARMO et al., 2014).

O baixo aproveitamento de P de fontes solúveis é decorrente da rápida adsorção do P solubilizado, o qual fica retido na fase sólida como P lábil, passando gradativamente a P não lábil (NOVAIS et al., 2007; RAIJ, 2011). Em razão disso, há necessidade de aplicações frequentes de P para proporcionar e manter alta produtividade das culturas (TEIXEIRA et al., 2014).

A magnitude e a velocidade do processo de formação de P não-lábil em solos com grande fator Q/I indicam que fazer uma fosfatagem corretiva nessas condições é

questionável. A solução, para solos com esse perfil drenos seria minimizar o contato da fonte de P, particularmente a solúvel, com o solo, pela aplicação localizada de P, pela granulação do fertilizante, pela diminuição do tempo de contato do fertilizante com o solo em relação à época de plantio, ou até mesmo, pelo parcelamento da aplicação de P (NOVAIS et al., 2007).

Avaliando o modo de aplicação de fontes solúveis de fosfato na cultura do milho, Resende et al. (2006) encontraram melhores respostas conforme a sequência dos modos de aplicação: a lanço em área total < localizada no sulco < parcelada no sulco.

Adubação orgânica

Em ecossistemas naturais ou agrícolas com solos pobres de P, a mineralização de P orgânico é a principal fonte de suprimento de P para plantas, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados (VINCENT et al., 2010).

A adubação orgânica afeta a disponibilidade de P direta e indiretamente. Os efeitos diretos incluem: liberação de P_i pela mineralização do composto orgânico (DAMON et al., 2014) ou imobilização microbiana P_i do solo (DAMON et al., 2014; BRAOS et al., 2015), dependendo da relação C/P; competição entre ânions de ácidos orgânicos e ânions de fosfatos por sítios de adsorção (NOVAIS et al., 2007); dissolução do composto P_i por ácidos orgânicos e complexação de metais, particularmente de Al^{3+} e Fe^{2+} , com menores reações de precipitação de ânion fosfato (NOVAIS et al., 2007). Os efeitos indiretos da adubação orgânica sobre a disponibilidade de P são melhorias nas propriedades físicas do solo, resultando em melhor desenvolvimento radicular, aumento do pH e CTC de solos ácidos (NOVAIS et al., 2007; SHEN et al., 2011). A elevação do pH do solo pela calagem, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade; há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (SHEN et al., 2011).

Os efeitos da matéria orgânica na liberação e disponibilidade de P no solo são decorrentes dos processos de mineralização, entretanto para que seus benefícios sejam duradouros, a biomassa deve ser reposta no solo com frequência (SANTOS et al., 2008; DAMON et al., 2014).

Um produto mais estável no solo, decorrente da pirólise de resíduos orgânicos é o biocarvão, o qual também tem potencial para alterar a sorção de P e, consequentemente, a biodisponibilidade de P no solo por diversos mecanismos: i) os efeitos do biocarvão no pH

do solo podem afetar a adsorção/dessorção de íons P e a precipitação/dissolução de minerais P (BORNA et al., 2018); ii) o P pode ser sorvido em compostos de biocarvão formados durante a pirólise contendo elementos específicos como Ca, Mg, Fe ou Al (SHEN et al., 2011), o que pode diminuir a adsorção de P no solo; iii) uma quantidade variável de P pode ser adicionada ao solo a partir do biocarvão. Gul et al. (2015) revisaram que o teor de P do biochar produzido em diferentes condições de matérias-primas e pirólise variou entre 0,13 e 42,79 g kg⁻¹ em 38 biocarvões diferentes; iv) biocarvão pode liberar compostos orgânicos, como ácidos húmicos e matéria orgânica dissolvida, que competem com íons P para locais de troca no solo (SCHNEIDER e HADERLEIN, 2016) e; v) alterações mediadas por biocarvão no ambiente do solo podem alterar a estrutura da comunidade microbiana e, portanto, afetar os processos de solubilização e mineralização de P (DEB et al., 2016).

Resíduos provenientes da agricultura, silvicultura e produção animal são materiais importantes para a reposição de matéria orgânica no solo (DAMON et al 2014; BRAOS et al., 2015). Os esterco bovino, suíno e de aves são alguns dos fertilizantes orgânicos mais promissores para a aplicação no solo (BRAOS et al., 2015; SÁ et al., 2017). No entanto, em grandes áreas de cultivo demanda-se grande quantidade de biomassa e a adição de fontes externas torna-se inviável. Nestas circunstâncias, a adoção de sistemas de manejo do solo, visando ao aumento de matéria orgânica, ocorre principalmente pela deposição de restos de culturas e adoção do sistema plantio direto (SANTOS et al., 2008; DAMON et al 2014; RODRIGUES et al., 2016).

Adubação organomineral

O fertilizante organomineral é definido como: "produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos". Segundo a Instrução Normativa (IN) Nº 25, de 23 de julho de 2009, os fertilizantes organominerais sólidos devem apresentar, no mínimo: 8% de carbono orgânico; macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK) em 10% e 30% de umidade máxima. Estes fertilizantes têm como objetivo aumentar o teor de nutrientes dos materiais orgânicos e a eficiência dos fertilizantes minerais (NOVAIS et al., 2007).

No Brasil, a fabricação de fertilizantes organominerais iniciou-se após sua incorporação na legislação brasileira em 1982. A cada ano, o mercado de produção de fertilizantes organominerais cresce em torno de 16% (POLIDORO et al., 2013) e cada vez mais esta categoria de fertilizante tem sido empregada na agricultura brasileira (FRAZÃO et al., 2019). A adição de fertilizantes minerais aos resíduos orgânicos reduz o impacto ambiental da

atividade agropecuária, aumenta a fertilidade do solo e ainda reduz o uso de fertilizantes químicos (TEIXEIRA et al., 2014; FRAZÃO et al., 2019).

A associação de fontes minerais de P com materiais orgânicos reduz a adsorção de P pelos minerais do solo, uma vez que os compostos orgânicos interagem positivamente com P, melhorando consequentemente a eficiência dos fertilizantes inorgânicos (FRAZÃO et al., 2019). A aplicação de fertilizantes organominerais pode reduzir os altos custos com adubação e permite o suprimento simultâneo de nutrientes minerais e matéria orgânica. Avaliando a produção de cana-de-açúcar, Teixeira et al. (2014) concluíram que aplicação do fertilizante organomineral na dose de 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 pode substituir a adubação mineral fosfatada ($160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) e proporcionar economia de 18,8% no uso de fertilizantes.

Muitos estudos demonstram incrementos na produção de culturas com a utilização de adubos organominerais (FRAZÃO, 2013; CARMO et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2014; FRAZÃO et al., 2019). Porém, a proporção destes incrementos é variável e depende principalmente da constituição do fertilizante, do tipo de solo utilizado e da cultura avaliada. No entanto, a maioria dos autores atribuiu a maior eficiência agrônômica dos fertilizantes organominerais ao efeito benéfico que a matéria orgânica exerce sobre a diminuição da capacidade máxima de fixação do fósforo ao solo, em função da competição pelos sítios de adsorção do P no solo; que por sua vez, aumenta a disponibilidade de fósforo no solo e, consequentemente, o aproveitamento pelas culturas.

Efeitos da adubação organomineral nos fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade tampão (Q/I) de P nos solos tropicais

Solos tropicais altamente intemperizados, dado as suas características oxidicas, podem adsorver grandes quantidades de P, nestas condições o solo passa de fonte para dreno de P impondo forte competição com a planta pelo nutriente (NOVAIS et al., 2007).

Nestes solos a relação Q/I será alta. Quando fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, esses se dissolvem e o P migra para a solução do solo aumentando o fator I, no entanto, estes ânions são rapidamente atraídos eletrostaticamente para os sítios ativos de superfície de adsorção (aumentando Q), ocorrendo troca de ligantes dos grupamentos OH^- e OH_2^+ pelos íons ortofosfatos (NOVAIS et al., 2007). A ligação pode apresentar menor energia, caracterizada pela formação de complexos monodentados, ou maior energia, caracterizada pelos complexos bidentados que resultam na formação de P não-lábil (NOVAIS et al., 2007; RAIJ, 2011). Devido à forte energia envolvendo a adsorção,

maior fator Q/I não implica que o P do compartimento Q seja repostado facilmente para o compartimento I quando este é reduzido (NOVAIS et al., 2007).

A maior eficiência de adubos organominerais em disponibilizar P no solo para as culturas é atribuída à matéria orgânica associada (CARMO et al., 2014; Teixeira et al., 2014; Frazão et al., 2019), a qual confere uma série de atributos que reduz ou retarda os processos de adsorção e/ou precipitação de P no solo (NOVAIS et al., 2007).

A quantidade de matéria orgânica aportada ao solo decorrente da adubação organomineral é baixa comparada à adubação orgânica, no entanto, os efeitos da matéria orgânica acompanhante são potencializados na região circundante ao grânulo do fertilizante no solo (CASTRO et al., 2015; FRAZÃO et al., 2019).

Em solos ácidos, a matéria orgânica presente no fertilizante pode elevar o pH nas proximidades do grânulo, reduzindo a precipitação de P com formas iônicas de Fe e Al (NOVAIS et al., 2007). Com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão entre fosfatos e superfície adsorvente, diminuindo assim o potencial eletrostático do plano de adsorção (NOVAIS et al., 2007). O aumento da CTC promovido pela matéria orgânica também pode acentuar estas forças de repulsão reduzindo a intensidade da adsorção de P (NOVAIS et al., 2007; SCHNEIDER e HADERLEIN, 2016).

A acidez do solo também afeta a carga superficial de grupos orgânicos, como os carboxílicos, encontrados em grânulos de fertilizantes organominerais (FRAZÃO et al., 2019). Em pH mais baixo, os grupos orgânicos são protonados, resultando em maior afinidade por P pela matéria orgânica dos grânulos, a qual adsorve P por via de pontes de cátions como Fe, Al e Ca (NOVAIS et al., 2007). No entanto, a energia de ligação é mais fraca em comparação com os complexos de superfície interna formados na superfície dos óxidos de Fe e Al, e podem não afetar a absorção de P pela planta (NOVAIS et al., 2007; FRAZÃO et al., 2019).

Estudando fertilizantes organominerais fosfatados a base de cama de frango, Frazão et al. (2019) encontraram aumentos significativos da biomassa microbiana do solo. Esta elevação foi atribuída à entrada de C através do fertilizante organomineral. Outros autores também observaram maior C microbiano em solo tratado com adubos orgânicos (CHU et al., 2007; SINGH et al., 2015). Entre os nutrientes, o C é o mais limitante para o crescimento microbiano, seguido por N e P (TORTORA et al., 2016). Atrelado ao aumento microbiano, Frazão et al. (2019) constataram aumento da atividade de fosfatases ácidas e alcalinas, enzimas catalizadoras no processo de transformação de P orgânico à inorgânico (NOVAIS et al., 2007) o que correlacionou diretamente com o aumento da disponibilidade de P no solo (FRAZÃO et al., 2019).

O processo de mineralização da matéria orgânica contida nos fertilizantes organominerais pela microbiota libera ácidos orgânicos, os quais competem com o fosfato pelos sítios de adsorção (NOVAIS et al., 2007; SCHNEIDER e HADERLEIN, 2016). Estes ácidos bloqueiam os sítios de adsorção e, ou, solubilizam esses oxidróxidos, reduzindo sua superfície de adsorção. Essa competição por sítios de adsorção pode promover a dessorção de parte do P adsorvido na fração mineral do solo por menor energia de ligação (NOVAIS et al., 2007). O efeito do P-organomineral sobre a biomassa microbiana mostra a importância da matéria orgânica associada à adubação fosfatada, já que é possível, com essas fontes, a ocupação pelos ligantes orgânicos de sítios de adsorção de P no solo, menor reação do P-organomineral com os minerais de argila e oxidróxidos, o que se traduz em aumento da disponibilidade de P para as plantas (FRAZÃO et al., 2019).

Devido aos processos de redução da precipitação e adsorção, maior quantidade de P ligado à matéria orgânica em formas mais lábeis, quantidades significativamente maiores de P prontamente disponível são obtidas com o uso de fertilizantes organominerais em relação a fontes solúveis (FRAZÃO et al., 2019). Nestas condições, o fósforo armazenado no solo com menor energia de ligação (maior fator Q) é suprido com maior facilidade (aumento do fator capacidade) para solução do solo (aumento do fator I).

A menor fixação do P no solo por adsorção e precipitação, além da competição de ácidos orgânicos por sítios de adsorção e repulsão de P pelo aumento de cargas negativas do solo, aumentam a concentração e o fluxo difusivo deste íon em solução (CASTRO et al., 2015; FRAZÃO et al., 2019). Estudando adubos organominerais fosfatados, Castro et al. (2015) e Piccoli (2017), encontraram maior migração de P no solo em relação a fontes solúveis, o que pode melhorar a interceptação e absorção radicular de P, proporcionando maior produtividade e eficiência do uso de P em solos altamente intemperizados (CASTRO et al., 2015; FRAZÃO et al., 2019).

Redução nas doses de P_2O_5 utilizando adubos organominerais

Estudos recentes demonstram incrementos na produção de culturas com a utilização de adubos organominerais fosfatados (FRAZÃO, 2013; CARMO et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2014; FRAZÃO et al., 2019). Teixeira et al. (2014) verificaram que a aplicação do fertilizante organomineral na dose de 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 pode substituir a adubação mineral fosfatada (MAP) ($160 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$) e proporcionar economia de 18,8% no uso de fertilizantes.

Com o intuito de verificar o aumento da eficiência do uso de P na produção agrícola com o uso de fontes organominerais fosfatadas em regiões tropicais, realizou-se um

levantamento bibliográfico de pesquisas realizadas nestas condições. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Efeito da adubação organomineral fosfatada comparada a adubação mineral na produção de culturas em regiões tropicais.

Autor	Cultura	Solo	Ganho de produção %
Carmo et al., 2014	Café	Latossolo Vermelho	13,6 e 27,3
Frazão et al., 2019	Milho	Latossolo Vermelho	6,4
Frazão et al., 2019	Milho	Neossolo Quartzarênico	1,8
Frazão, 2013	Milheto	Latossolo Vermelho	49,0
Garcia et al., 2018	Cana-de-açúcar	-	3,7
Lana et al., 2014a	Milho	Latossolo Vermelho	-2,0
Lana et al., 2014b	Milho	Argissolo Vermelho-Amarelo	-16,0
Lana et al., 2014b	Milho	Latossolo Vermelho	4,9
Magalhães, et al., 2017	Eucalipto	-	13,0
Martins et al., 2017	Feijão	Latossolo Vermelho	21,1
Picoli, 2017	Milho	Latossolo Vermelho	10,8
Rabelo, 2015	Tomate	Nitossolo	42,8
Sá et al., 2017	Milho	Latossolos Vermelho-Amarelos	15,7 e 30,2
Sakurada et al., 2016	Milho	Latossolo Vermelho	-35,0 e 0
Teixeira et al., 2014	Cana-de-açúcar	Latossolo Vermelho	18,8
Ganho médio	-	-	11,5

Fonte: Os Autores.

A partir da avaliação de 18 fertilizantes organominerais comparados a fontes minerais, verifica-se uma grande variação de resposta destes fertilizantes. Estes resultados apontam variações que vão desde redução de eficiência de 35% (SAKURADA et al., 2016), até incrementos de produção de 49% (FRAZÃO, 2013). Entretanto, a adubação fosfatada organomineral apresenta um ganho médio de eficiência de 11,5%. Estes resultados indicam que a eficiência de material orgânico enriquecido com fontes minerais de P é dependente do material orgânico utilizado e dos processos de produção. Estes fertilizantes podem aumentar a eficiência do uso de P na agricultura, reduzir a dependência de utilização de fontes não renováveis deste mineral, além de dar uma destinação correta a resíduos orgânicos.

Redução nas doses de P_2O_5 adicionadas ao solo para a cultura do café

O aumento da eficiência do uso de P por meio da adição ao solo de fontes organominerais é bastante variável e depende principalmente da constituição do fertilizante, do tipo de solo utilizado e cultura avaliada. Portanto, a recomendação destes fertilizantes deve ser cuidadosamente estudada. Entretanto, uma vez confirmada sua eficiência, as doses de P_2O_5 recomendadas para uma determinada cultura, devem ser reajustadas de acordo com a eficiência da fonte organomineral em questão.

Neste sentido, considerando um aumento médio de 11,5% na eficiência de utilização de P no solo, por meio de fontes organominerais e a cultura do café arábica, segundo recomendações de Ribeiro et al. (1999), as recomendações de adubação fosfatada organomineral para plantio (Tabela 2) e produção (Tabela 3) são ajustadas a seguir.

Tabela 2. Classes de fertilidade do fósforo para implantação da lavoura de café em função do teor de argila ou do valor de fósforo remanescente (P-rem), dose de P_2O_5 a ser aplicada na cova de plantio via fertilizantes minerais e correção para fontes organominerais.

Característica	Classes de Fertilidade				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
Argila	Teor de P no solo				
%	mg/dm ³				
100 – 60	< 8,0	8,1 - 16,0	16,1 - 24,0	24,1 - 36,0	> 36,0
60 – 35	< 12,0	12,1 - 24,0	24,1 - 36,0	36,1 - 54,0	> 54,0
35 – 15	< 20,0	20,1 - 36,0	36,1 - 60,0	60,1 - 90,0	> 90,0
15 – 0	< 30,0	30,1 - 60,0	60,1 - 90,0	90,1 - 135,0	> 135,0
P-rem (mg/L)					
0 – 4	< 9,0	9,1 - 13,0	13,1 - 18,0	18,1 - 24,0	> 24,0
4 – 10	< 12,0	12,1 - 18,0	18,1 - 25,0	25,1 - 37,5	> 37,5
10 – 19	< 18,0	18,1 - 25,0	25,1 - 34,2	34,3 - 52,5	> 52,5
19 – 30	< 24,0	24,1 - 34,2	34,3 - 47,4	47,5 - 72,0	> 72,0
30 – 44	< 33,0	33,1 - 47,4	47,5 - 65,4	65,5 - 99,0	> 99,0
44 – 60	< 45,0	45,1 - 65,4	65,5 - 90,0	90,1 - 135,0	> 135,0
Dose plantio	Dose de P_2O_5				
	g/cova				
Mineral	80	65	50	35	20
Organomineral	71	58	44	31	18

Fonte: Os Autores, adaptado de Ribeiro et al. (1999).

Seguindo este ajuste, com redução de 11,5% nas doses de P_2O_5 via fertilizante organomineral utilizado nas covas de plantio para o café arábica. Considerando a área nacional plantada em 2018 de 252.786 ha (CONAB, 2018), a densidade tradicional de plantio de 2.500 covas/ha (RIBEIRO et al., 1999) e que a maioria dos solos tropicais tenham teor de P no solo baixo ou muito baixo (NOVAIS et al., 2007), e redução de P_2O_5 utilizado no

plantio de café arábica em 2018 seria de 5.687,7 t e 4.423,8 t para as classes de fertilidade muito baixo e baixo, respectivamente.

Considerando 1.494.518,8 ha de área nacional em produção de café arábica em 2018, com uma produtividade média de 30,74 sc ha⁻¹ (CONAB, 2018), e que a maioria dos solos tropicais tenham teor de P no solo baixo ou muito baixo (NOVAIS et al., 2007), a adubação fosfatada de produção do cafeeiro arábica, por meio de fontes organominerais traria uma redução de 8.467,1 t e 7.472,6 t de P₂O₅ para as classes de fertilidade muito baixo e baixo, respectivamente.

Tabela 3. Classes de fertilidade do fósforo para manutenção da lavoura de café em função do teor de argila ou do valor de fósforo remanescente (P-rem), doses de P₂O₅ via fertilizantes minerais a serem aplicadas de acordo com a produtividade e correção para fontes organominerais.

Característica	Classes de Fertilidade									
	Muito baixo		Baixo		Médio		Bom		Muito bom	
Argila	Teor de P no solo									
%	mg/dm ³									
60 – 100	< 1,9		2,0 – 4,0		4,1 – 6,0		6,1 – 9,0		> 9,0	
35 – 60	< 3,0		3,1 – 6,0		6,1 – 9,0		9,1 – 13,5		> 13,5	
15 – 35	< 5,0		5,1 – 9,0		9,1 – 15,0		15,1 – 22,5		> 22,5	
0 – 15	< 7,5		7,5 – 15,0		15,1 – 22,5		22,6 – 33,8		> 33,8	
P-rem (mg/L)										
0 – 4	< 2,3		2,4 – 3,2		3,3 – 4,5		4,6 – 6,8		> 6,8	
4 – 10	< 3,0		3,1 – 4,5		4,6 – 6,2		6,3 – 9,4		> 9,4	
10 – 19	< 4,5		4,6 – 6,2		6,3 – 8,5		8,6 – 13,1		> 13,1	
19 – 30	< 6,0		6,1 – 8,5		8,6 – 11,9		12,0 – 18,0		> 18,0	
30 – 44	< 8,3		8,4 – 11,9		12,0 – 16,4		16,5 – 24,8		> 24,8	
44 – 60	< 11,3		11,4 – 16,4		16,5 – 22,5		22,6 – 33,8		> 33,8	
Produtividade	Dose de P ₂ O ₅									
sc/ha	kg/ha/ano									
	Min	Org.M	Min	Org.M	Min	Org.M	Min	Org.M	Min	Org.M
< 20	30	27	20	18	10	9	0	0	0	0
21 – 30	40	35	30	27	20	18	0	0	0	0
31 – 40	50	44	40	35	25	22	0	0	0	0
41 – 50	60	53	50	44	30	27	15	13	0	0
51 – 60	70	62	55	49	35	31	18	16	0	0
> 60	80	71	60	53	40	35	20	18	0	0

Min = Mineral e Org.M = Organomineral.

Fonte: Os Autores, adaptado de Ribeiro et al. (1999).

Manejo da adubação organomineral fosfatada em solos tropicais

Solos tropicais altamente intemperizados, dado à suas características mineralógicas podem atuar como dreno forte de P, chegando a fixar 9.200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (NOVAIS et al., 2007). Nestas condições, para o aumento da eficiência da adubação fosfatada, deve-se reduzir o tempo e a superfície de contato entre o fertilizante e o solo (RESENDE et al., 2006; NOVAIS et al., 2007), em culturas de ciclo mais longo, o parcelamento das doses de P pode ser uma opção para o melhor aproveitamento (NOVAIS et al., 2007).

Em culturas anuais o uso de fontes solúveis granuladas aplicadas em sulco na linha de plantio tem demonstrado os melhores resultados (RESENDE et al., 2006; SANTOS et al., 2008), no entanto o aproveitamento do fertilizante é baixo (5 a 30%) (SATTARI et al., 2012). A maior parte do P aplicado visa saturar os sítios de adsorção do solo para que o restante chegue até a planta (NOVAIS et al., 2007).

A adição de fosfato na linha de plantio reduz a superfície de contato do fertilizante com o solo saturando mais facilmente os sítios de adsorção, o que disponibiliza maior quantidade de P na linha aplicada (RESENDE et al., 2006). No entanto, a mobilidade do P no solo, predominante por difusão, é baixa ($< 1 \text{ cm}$) (NOVAIS et al., 2007), o que limita a chegada do nutriente a uma maior área explorada pelo sistema radicular, dificultando a absorção deste pelas plantas (RESENDE et al., 2006).

São escassos os trabalhos abordando o manejo da adubação organomineral em solos tropicais. No entanto, os efeitos promovidos por estas fontes na redução dos processos de fixação de P no solo (CARMO et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2014; FRAZÃO et al., 2019) aumentando seu fluxo difusivo (CASTRO et al., 2015; FRAZÃO et al., 2019), pode aumentar o acesso e disponibilidade de P ao sistema radicular com a aplicação localizada. A fixação reduzida de P pode favorecer a aplicação de fontes organominerais em maiores áreas de exploração do sistema radicular, como em faixas ou a lanço em cobertura, promovendo mais opções para que o produtor possa escolher a mais viável ao seu sistema de produção.

Comparados aos fertilizantes minerais solúveis, os organominerais são menos solúveis no solo (aproximadamente 83% do P total no super triplo é solúvel em água, enquanto no organomineral é de apenas cerca de 50%) (FRAZÃO et al., 2019). A liberação lenta de P em solos com elevado poder tampão pode reduzir sua disponibilidade devido ao solo ser um dreno mais forte que a planta (NOVAIS et al., 2007). Porém, a solubilização gradual de fertilizantes organominerais associadas a suas características de menor fixação de P confere uma propriedade lenta de liberação do P (SAKURADA et al., 2016), o que permite a

aplicação do fertilizante na época do plantio e liberação de nutrientes mais uniforme durante o desenvolvimento de culturas anuais (FRAZÃO et al., 2019).

Em culturas perenes como o café, a adubação fosfatada de manutenção é indicada no início do período chuvoso coincidente com a época floração/granação (RIBEIRO et al., 1999; FERRÃO et al., 2017). A eficiência de absorção de P pelo cafeeiro aumenta quando os adubos fosfatados são aplicados após a calagem, na forma granulada e de modo localizado, em filete, em volta da planta (FERRÃO et al., 2017). Segundo Ferrão et al. (2017), a maior parte do sistema radicular do cafeeiro encontra-se sob a copa. A utilização da adubação organomineral fosfatada nesta cultura, pode propiciar uma melhor distribuição do fertilizante sob a copa e em suas extremidades facilitando o aumento da absorção do nutriente e estimulando o crescimento radicular.

A solubilização gradual de fertilizantes organominerais permite sua aplicação no início do período chuvoso, propiciando uma liberação de nutrientes mais uniforme durante o desenvolvimento do cafeeiro, o que poderá melhorar a produtividade e a eficiência do uso de P em solos altamente intemperizados (FRAZÃO et al., 2019).

Considerações finais

A maioria dos solos encontrados em regiões tropicais são altamente intemperizados, com baixa concentração e/ou disponibilidade P e uma alta capacidade de adsorção deste nutriente. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos fertilizantes, como os organominerais, com eficiência aumentada é importante para reduzir a dependência de recursos minerais fosfatados não renováveis, especialmente em países como o Brasil, onde a maioria dos fertilizantes fosfatados é importada. Assim, o uso de fertilizantes organominerais fosfatados nas culturas é uma estratégia importante para prolongar a vida útil das reservas minerais de P, bem como para reduzir os problemas ambientais devido ao descarte inadequado de resíduos orgânicos no solo.

A maioria dos estudos avaliando os fertilizantes organominerais fosfatados foi realizada em condições de casa de vegetação. Considerando que fatores como manejo do solo, adubação e perdas de P afetam a eficiência dos fertilizantes, estudos de campo, especialmente estudos de longo prazo para avaliar os efeitos residuais, são importantes para confirmar se estes fertilizantes possuem realmente maior eficiência agrônômica que os fertilizantes minerais convencionais.

Embora a adsorção seja a principal forma de fixação de P em solos tropicais intemperizados, outras formas de perdas, como lixiviação e escoamento, também ocorrem, especialmente em solos arenosos. Como os fertilizantes organominerais possuem liberação

lenta, seu uso poderia reduzir todas as formas de perda de P (adsorção, fixação, lixiviação e escoamento), atenuando sérios problemas ambientais, como a eutrofização dos corpos d'água. No entanto, essa hipótese ainda não foi investigada em condições tropicais.

São escassos os trabalhos investigando a forma de manejo da adubação organomineral fosfatada, assim como a avaliação de sua eficácia em relação a fontes convencionais. Portanto, uma linha de pesquisa está em aberto para investigar as formas, locais e épocas de aplicação em culturas anuais e perenes, bem como o efeito residual cumulativo durante vários anos de manejo, principalmente em condições de campo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento do projeto de pesquisa (Processo N° 84336250) relacionado ao capítulo do livro.

Referências

- ASSUNÇÃO, N. S.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, L. A.; DEZORDI, L. R.; SANTOS, L. P. D. Carrot yield and recovery efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium. *Revista Caatinga*. v.29, p.859-865, 2016.
- BORNA, M. L.; MÜLLER-STÖVERA, D. S.; LIU, F. Contrasting effects of biochar on phosphorus dynamics and bioavailability in different soil types. *Science of The Total Environment*. v.627, p.963-974, 2018.
- BRAOS, L. B.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; KUHNEN, F. Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.39, p.140-150, 2015.
- CARMO, D. L.; TAKAHASHI, H. Y. U.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. *Coffee Science*. v.9, p.196-206, 2014.
- CASTRO, R. C.; BENITES, V. M.; TEIXEIRA, P. C.; ANJOS, M. J.; OLIVEIRA, L.F. Phosphorus migration analysis using synchrotron radiation in soil treated with brazilian granular fertilizers. *Applied Radiation and Isotopes*, v.105, p.233-23, 2015.
- CHIEN S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.89, p.229-255, 2011.
- CHU, H.; LIN, X.; FUJII, T.; MORIMOTO, S.; YAGI, K.; HU, J.; ZHANG, J. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*. V.39, p.2971-2976, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: café. v.5 – Safra 2018 – N.3 – Terceiro levantamento, setembro 2018.

DAMON, P. M.; BOWDEN, B.; ROSE, T.; RENGEL, Z. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*. v.74, p.127-137, 2014.

DEB, D.; KLOFT, M.; LÄSSIG, J.; WALSH, S. Variable effects of biochar and P solubilizing microbes on crop productivity in different soil conditions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. v.40, p.145-168, 2016.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H (Eds.). *Café conilon*, 2. ed. atual. e ampl. 2ª reimpressão - Vitória: INCAPER, 784 p. 2017.

FRAZÃO, J. J. Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais granulados à base de cama de frango e fontes de fósforo. Goiânia, 2013. 88f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

FRAZÃO, J. J.; BENITESB, V. M.; RIBEIROC, J. V. S.; PIEROBONC, V. M.; LAVRESA, J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: soil phosphorus fractionation and plant responses. *Geoderma*, v.337, p.582-593, 2019.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B.; BELUCI, L. R.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. *Nucleus*. v.15, p.523-531, 2018.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em Latossolo vermelho distroférrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.1023-1029, 2002.

GUL, S.; WHALEN, J. K.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions agriculture, *Ecosystems & Environment*. v.206, p.46-59, 2015.

KOCH, M.; KRUSE, J.; EICHLER-LÖBERMANN, B.; ZIMMER, D.; WILLBOLD, S.; LEINWEBER, P.; SIEBERS, N. Phosphorus stocks and speciation in soil profiles of a long-term fertilizer experiment: evidence from sequential fractionation, P K-edge XANES, and ³¹P NMR spectroscopy. *Geoderma*, v.316, p.115-126, 2018.

LANA, M. C.; RAMPIM, L.; VARGAS, G. Adubação fosfatada no milho com fertilizante organomineral em Latossolo Vermelho eutroférrico. *Global Science and Technology*. v.7, p.26-36, 2014a.

LANA, M. C.; RAMPIM, L.; SCHULZ, L. R.; KAEFER, J. E.; SCHMIDT, M. A. H.; RUPPENTHAL, V. Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico. *Scientia Agraria Paranaensis*. v.13, p.198-209, 2014b.

- LOPES, A. S.; GUILERME, L. R. G.; RAMOS, S. J. The saga of the agricultural development of the Brazilian cerrado. *International Potash Institute*, n. 32, 2012.
- 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. (Eds.). *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: POTAFOS, p.13-34, 2004.
- MAGALHÃES, C. A. S.; MORALES, M. M.; REZENDE, F. A.; LANGER, J. Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. *Revista Scientia Agraria*. v.18, p.80-85, 2017.
- MARTINS, D. C.; RESENDE, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; SIMÃO, E. P.; FERREIRA, J. P. C.; ALMEIDA, G. O. Organomineral phosphorus fertilization in the production of corn, soybean and bean cultivated in succession. *American Journal of Plant Sciences*. v.8, p.2407-2421, 2017.
- MENEZES-BLACKBURN, D.; GEORGE, T. S.; ZHANG, H.; STUTTER, M.; GILES, C.D.; DARCH, T.; COOPER, P.; WENDLER, R.; BROWN, L.; HAYGARTH, P. M. A Holistic approach to understanding the desorption of phosphorus in soils. *Environmental Science & Technology*. v.50, p. 3371-3381, 2016.
- NASH, D. M.; HAYGARTH, P. M.; TURNER, B. L.; CONDRON, L. M.; McDOWELL, R. W.; RICHARDSON, A. E.; WATKINS, M.; HEAVEN, M. W. Using organic phosphorus to sustain pasture productivity: a perspective. *Geoderma*, v.221, p.11-19, 2014.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- PICCOLI, L. B. Disponibilidade de fósforo em função do revestimento do fertilizante por substâncias húmicas. Botucatu, 2017. 75p. Dissertação - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 2017.
- POLIDORO, J. C. Fertilizantes organominerais: Aspectos tecnológicos, mercadológicos e legislação. In: *Fórum Absoluto*. Ribeirão Preto-SP, 2013.
- RABELO, K. C. C. Fertilizantes organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial. Goiânia, 2015. 69 f. Dissertação - Universidade Federal de Goiás, 2015.
- RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p. 2011.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.30, p.453-466, 2006.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359p. 1999.

- RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical Oxisols of the Brazilian savanna. *Science Total Environment*, v.542, p.1050-1061, 2016.
- SÁ, J. M.; JANTALIA, C. P.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J. C.; BENITES, V. M.; ARAÚJO, A. P. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v.52, p.786-793, 2017.
- SAKURADA, R. L.; BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; MUNIZ, A. S.; PAGLIARI, P. H. Organomineral phosphate fertilizers: agronomic efficiency and residual effect on initial corn development. *Agronomy Journal*, v.108, p.2050-2059, 2016.
- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKII, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.38, p.576-586, 2008.
- SATTARI, S. Z.; BOUWMAN, A. F.; GILLERA, K. E.; ITTERSUMA, M. K. V. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *PNAS*, v.109, p.6348-6353, 2012.
- SCHNEIDER, F.; HADERLEIN, S. B. Potential effects of biochar on the availability of phosphorus-mechanistic insights. *Geoderma*, v.277, p.83-90, 2016.
- SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*, v.156, p.997-1005, 2011.
- SIMPSON, R. J.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RICHARDSON, A. E. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant and Soil*, v.349, p.89-120, 2011.
- SINGH, G.; KUMAR, D.; SHARMA, P.; KRAKAUER, N. Effect of organics, biofertilizers and crop residue application on soil microbial activity in rice – wheat and rice-wheat mungbean cropping systems in the Indo-Gangetic plains. *Cogent Geoscience*, v.1 p.185-196, 2015.
- SOUZA, R. F.; FAQUIM, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.975-983, 2006.
- TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDORFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. *Bioscience Journal*, v.30, p.1729-1736, 2014.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology an introduction*, 12. ed. Boston: Pearson, 2016.
- VINCENT, A. G.; TURNER, B. L.; TANNER, E. V. J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science*, v.61, p.48-57, 2010.
- ZHANG, H.; CHEN, C.; GRAY, E. M.; BOYD, S. E.; YANG, H.; ZHANG, D. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: a phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma*, v.276, p.1-6, 2016.