

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MAURO PINHEIRO MARRA

FONTES DE P DE CONTRASTANTES SOLUBILIDADES E FORMAS DE APLICAÇÃO
NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEEIRO

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL

2021

MAURO PINHEIRO MARRA

FONTES DE P DE CONTRASTANTES SOLUBILIDADES E FORMAS DE APLICAÇÃO
NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Beno Wendling

UBERLÂNDIA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M358f
2021 Marra, Mauro Pinheiro, 1969-
Fontes de P de contrastantes solubilidades e formas de aplicação no
crescimento inicial do cafeeiro [recurso eletrônico] / Mauro Pinheiro
Marra. - 2021.

Orientador: Beno Wendling.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.5591>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Wendling, Beno, 1972-, (Orient.). II. Universidade
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III.
Título.

CDU: 631

Glória Aparecida
Bibliotecária - CRB-6/2047



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 008/2021, PPGAGRO				
Data:	Trinta de junho de dois mil e vinte e um	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	[18:15]
Matrícula do Discente:	11912AGR018				
Nome do Discente:	Mauro Pinheiro Marra				
Título do Trabalho:	Fontes de P de contrastantes solubilidades e formas de aplicação no crescimento inicial do Cafeeiro				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Araína Hulmman Batista - UFU; Wedisson Oliveira Santos - UFU; Vanessa Júnia Machado - UNIPAM; Beno Wendling - UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Beno Wendling, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/06/2021, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Araína Hulmann Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/06/2021, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º,



§ 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wedisson Oliveira Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/06/2021, às 18:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Júnia Machado, Usuário Externo**, em 02/07/2021, às 07:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2804762** e o código CRC **93E3A3D7**.

À minha “*piabinha*”, Lissa; aos meus *filhotes*,
Bruna, Lucas, Bárbara, Natália, Letícia, Mateus e
Olívia, *meu anjinho*; à minha netinha Manuela,
dedico este trabalho com amor.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo carinho, apoio e compreensão em todos os momentos; em especial a meus pais e irmãos, que não me deixaram abalar nos momentos de dificuldade.

À minha esposa, Lissa pelo apoio e estímulo, sempre centrada, e aos filhos, Bruna, Lucas, Bárbara, Natália, Letícia, Mateus e Olívia, bem como à netinha Manuela, pessoas com as quais muitas vezes não consegui estar presente em suas vidas na intensidade que merecem.

Aos professores Adão, Araína, Beno e Wedisson, pelos conhecimentos transmitidos. Foi uma honra e privilégio aprender com pessoas tão competentes e dedicadas.

Aos amigos de trabalho do Departamento de Pesquisas e Inovação da Terrena Agronegócios: Chiquinho, Karla, Gustavo, Júnior, Fabrício, Ivan e Estevão, que sempre se dispuseram a ajudar e foram essenciais para a conclusão dos experimentos.

À Terrena Agronegócios, pelo incentivo no desenvolvimento pessoal, empresa que me proporcionou evolução constante, uma história que completou 22 anos, com muita gratidão.

Aos colegas de pós-graduação, em especial ao amigo e irmão Ronaldo, companheiros de estudo que muito contribuíram para meu aprendizado, estímulo e suporte durante esta jornada.

À minha filha, Natália, pelo suporte com TI com o R, Word e Excel, e a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho, meu sincero agradecimento.

Ao grupo de WhatsApp da Pós-Graduação ICIAG-UFU, que em uma de suas interações citou Fábio Janini como referência em análises estatísticas. Sem sua contribuição, com certeza a riqueza das informações aqui mostradas não seria possível, principalmente através de análises de modelos lineares generalizados (MLG).

Aos integrantes da banca examinadora, por aceitarem o convite, disponibilizarem seu precioso tempo para avaliação e oferecerem contribuições que possibilitaram expor o melhor deste trabalho.

Aos demais docentes do programa de pós-graduação em Agronomia da UFU, pelos ensinamentos e pela contribuição científica.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade em realizar o mestrado.

MUITO OBRIGADO!

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

MARRA, MAURO PINHEIRO. **Fontes de P de contrastantes solubilidades e formas de aplicação no crescimento inicial do cafeeiro**. 2021. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

O fósforo (P) é um elemento químico essencial não renovável com reservas globais finitas. Alguns solos do bioma Cerrado são fortes drenos de P e para torná-los fontes, são necessárias grandes quantidades de fertilizantes. Desse modo, objetivou-se verificar as respostas em mudas de cafeeiro às associações de fontes com contrastantes solubilidades e avaliar a disponibilidade residual pelos extratores Mehlich 1 e resina. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC) com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial [(5 x 2) + 2]. O primeiro fator constituiu-se da associação dos fertilizantes fosfato natural reativo de Bayovar (FNB) e superfosfato triplo (SFT), em cinco proporções: 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75%; 0%:100% (FNB:SFT). O segundo fator constituiu-se da forma de aplicação do SFT, localizada ou homogênea, além dos adicionais Controle Composto, constituído da aplicação do composto orgânico, e Controle Absoluto, devido à ausência de P. Foram avaliadas as características de plantas: incremento na altura (Δh), incremento do diâmetro do caule (Δd), número de nós nos ramos plagiotrópicos (NNP), massa seca das folhas e ramos tenros (MSf), massa seca total (MSTo), teor e conteúdo de P e Ca. Aos 92 dias após o transplântio em duas posições no solo, foram avaliados pH em água, P remanescente (P-rem), P Mehlich 1 e P resina. A aplicação localizada do SFT promoveu alterações benéficas no solo, com aumento significativo nos valores de P-rem e P disponível por Mehlich 1 e resina e indicam poder residual de P disponível às mudas. Não houve diferenças estatísticas nas características de plantas em função das associações de fontes de P e formas de aplicação do SFT. A relação 50%:50% com SFT aplicado de forma localizada apresentou diferenças significativas aos 92 dias após transplântio das características das plantas: teor, conteúdo e NNP em relação ao Controle Composto.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L, fosfato natural reativo, superfosfato triplo, adubação fosfatada, efeito residual.

ABSTRACT

MARRA, MAURO PINHEIRO. **Sources of Phosphorus of contrasting solubilities and their application in early coffee growth**. 2021. 49 p. Dissertation (Masters in Agronomy / Vegetable Production) – Federal University of Uberlandia.

Phosphorus (P) is a nonrenewable essential chemical with finite global reserves. Some soils in the *Cerrado* are strong P drains, so to make them a source of this chemical, large amounts of fertilizer are needed. In this context, this study aimed to verify the responses to associations of P sources with contrasting solubilities in coffee seedlings and evaluate its residual availability by Mehlich 1 and resin extractors. A randomized block design (RBD) with three replications was adopted. The treatments were distributed in a factorial scheme $[(5 \times 2) + 2]$. The first factor consisted of the association of Bayovar reactive natural phosphate (RNP) and triple superphosphate (TSP) fertilizers in five proportions: 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75%; 0%:100% (RNP:TSP). The second factor consisted of how TSP was applied (localized or homogeneous) following an additional Compound Control consisting of the application of organic compost, and Absolute Control, due to the absence of P. Plant characteristics were evaluated: increase in height (Δh), increase in stem diameter (Δd), the number of nodes in plagiotropic branches, dry mass of leaves and tender branches, total dry mass, amount and content of P and Ca. At 92 days after transplanting in two positions in the soil, pH in water, P remnant (P-rem), P Mehlich 1 and P resin were evaluated. The localized application of TSP promoted beneficial changes in the soil with a significant increase in the values of P-rem and P available by Mehlich 1 and resin, and indicate residual power of P available to the seedlings. There were no statistical differences in plant characteristics as a result of P source associations and the way SFT was applied. The 50%:50% ratio with localized TSP showed significant differences at 92 days after transplanting, in plant characteristics, amount, content and nodes in the plagiotropic branches in relation to the Compound Control.

Keywords: *Coffea arabica* L, reactive natural phosphate, triple superphosphate, phosphate fertilization, residual effect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Dados médios de temperaturas máxima e mínimas e precipitação pluvial por mês em Patos de Minas, MG	9
Figura 2 -	Sequência com a aplicação localizada do SFT ilustrada pela retirada de $1,2 \text{ dm}^{-3}$ de solo com auxílio de um frasco plástico de medidas 10 cm de diâmetro por 15 cm de altura, em seguida a homogeneização a fração do solo com o SFT previamente pesado, e retorno ao centro do vaso. Por fim o posicionamento das mudas transplantadas.....	12
Figura 3 -	Esquema com a orientação das leituras realizadas nas plantas que contituiram a unidade amostral.....	14
Figura 4 -	a) Identificação do ponto de corte de plantas para análise de teor e determinação do conteúdo localizado no sexto nó no ramo ortotrópico, contado a partir do ápice; b) Retirada do caule remanescente após o corte, sem folhas residuais.....	16
Figura 5 -	Esquema do local de coleta das amostras de solo, onde: PCV=Posição centro do vaso; PBFC=Posição borda ou fora do centro; HVT=Aplicação homogênea do SFT em volume total de solos. LOC=Aplicação localizada do SFT no centro do vaso em um $1,2 \text{ dm}^{-3}$ de solo.....	16
Figura 6 -	Detalhe do ponto da coleta da amostra solo na posição centro do vaso (PCV).....	17
Figura 7 -	Detalhe dos pontos de coleta de solo nas posições centro do vaso (PCV), furo único central, e posição borda fora do centro (PBFC), dois furos na posição de transplântio da mudas, e imagens das duas amostras distintas, identificadas e enviadas para realização das análises laboratoriais.....	17
Figura 8 -	Teor de P disponível, pelos extratores Mehlich 1 e resina para a posição centro do vaso (PCV) aos 92 dias após o transplântio das mudas (DAT).....	24

Figura 9 -	P-rem em função do % SFT na associação de fontes de P, aplicado de forma LOC, na posição PCV aos 92 DAT.....	26
Figura 10 -	Teor de P disponível pelos extratores Mehlich 1 e resina, para a forma de aplicação LOC do SFT na posição PCV aos 92 DAT.....	27
Figura 11 -	P-rem em função do % SFT, na posição PCV, forma de aplicação HVT.....	27
Figura 12 -	Teores de P disponível, pelos extratores Mehlich 1 e resina, na posição PBFC e forma de aplicação HVT e LOC , em função do % de SFT aos 92 DAT.....	30
Figura 13 -	P-rem em função do % SFT na posição PBFC e formas de aplicação HVT e LOC.....	31
Figura 14 -	Identificação dos pontos de coleta de solo na posição PCV, para as formas de aplicação do SFT: HVT (homogêneo em volume total de solo) e LOC (localizado no centro do vaso)	36
Figura 15 -	Identificação dos pontos de coleta de solo na posição PBFC, para as formas de aplicação do SFT: HVT (homogêneo em volume total de solo) e LOC (localizado no centro do vaso).....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química e matéria orgânica do solo.....	10
Tabela 2 -	Ca, Mg e teores de P total e suas porções de P solúvel em água, em citrato neutro de amônio a pH 7 e em ácido cítrico a 2%.....	11
Tabela 3 -	Descrição dos tratamentos em função das fontes, doses, época e formas de aplicação de P.....	13
Tabela 4 -	Médias das características incremento na altura de planta (Δh), incremento do diâmetro do caule ao nível do solo (Δd) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP).....	19
Tabela 5 -	Teor de P e Ca, apresentado nos tecidos vegetais representados por folhas e ramos tenros pertencentes aos 6 últimos nós do ramo ortotrópico do cafeeiro aos 92 DAT.....	20
Tabela 6 -	Massa seca das folhas e ramos tenros (MSf), do caule residual (MSc) e massa seca total (MSTo), aos 92 DAT.....	21
Tabela 7 -	Conteúdo de P e Ca contidos nos tecido vegetais representados pelas folhas e ramos tenros pertencentes aos 6 últimos nós do ramos ortotrópico do cafeeiro de duas plantas, aos 92 DAT.....	22
Tabela 8 -	Coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores p entre as variáveis P resina, P-rem e P Mehlich 1, para as posições PBFC e PCV.....	23
Tabela 9 -	Médias dos parâmetros de solo, pH em água, P-rem, P Mehlich 1, P resina, na posição PCV aos 92 DAT.....	25
Tabela 10 -	Médias dos parâmetros de solo, pH em água, P-rem, P Mehlich 1, P resina, na posição PBFC, aos 92 DAT.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ácido cítrico a 2%
CNA	Citrato neutro de amônio
CTC(T)	Capacidade de troca de cátions a pH = 7,0
DAT	Dias após o transplante das mudas
DAP	Diamônio fosfato
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
FAplic	Fator de aplicação
FN	Fosfato natural
FNA	Fosfato natural reativo de Arad
FNB	Fosfato natural reativo de Bayovar
FNR	Fosfato natural reativo
HVT	Forma de aplicação do SFT homogêneo no volume total de solos.
IBC	Instituto Brasileiro do Café
LOC	Forma de aplicação do SFT localizada no centro do vaso.
m	Saturação do complexo de troca por alumínio
MAP	Monoamônio fosfato
MO	Matéria orgânica
MSf	Matéria seca folhas e ramos tenros.
MSc	Matéria seca do caule residual
MST	Matéria seca total, parte aérea e raízes.
MSTo	Matéria seca das folhas, ramos tenros caule residual, MSf + MSs,
NiCri	Nível crítico
NNP	Número de nós dos ramos plagiotrópicos
PRRC	Programa de renovação e revigoramento de cafezais
P AC	P solúvel em ácido cítrico a 2%
P ÁGUA	P solúvel em água
PBFC	Posição borda, fora do centro do vaso
P CNA	P solúvel em citrato neutro de amônio
P CNA+ÁGUA	P solúvel em citrato neutro de amônio + água
PCV	Posição centro do vaso

P-rem	P remanescente
PRNT	Poder relativo de neutralização total
SB	Soma de bases
SFS	Superfosfato simples
SFT	Superfosfato triplo
TM	Termofosfato magnésiano
V	Saturação do complexo de troca por bases
Δd	Incremento no diâmetro do caule, mm.
Δh	Incremento na altura de plantas, cm.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral	8
2.2	Objetivos específicos	8
3	MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1	Localização do experimento	9
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	10
3.3	Características de plantas.....	14
3.3.1	Altura das plantas e diâmetro do caule ao nível do solo.....	14
3.3.2	Número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP)	15
3.3.3	Determinação do teor e conteúdo de nutrientes nos tecidos vegetais	15
3.4	Características de solos.....	16
3.4.1	Caracterização química do solo na posição centro do vaso (PCV)	17
3.4.2	Caracterização química do solo na posição borda ou fora do centro do vaso (PBFC) ..	17
3.5	Análises estatísticas	18
4	RESULTADOS	19
4.1	Características de plantas.....	19
4.1.1	Crescimento e desenvolvimento das mudas	19
4.1.2	Teor.....	19
4.1.3	Matéria seca	20
4.1.4	Conteúdo.....	21
4.2	Características de solos.....	23
4.2.1	Características químicas para a posição PCV aos 92 dias	23
4.2.2	Características químicas para a posição PBFC aos 92 dias	28
5	DISCUSSÃO	32
5.1	Características de planta	32
5.1.1	Crescimento e desenvolvimento das mudas	32
5.1.2	Teor.....	33
5.1.3	Matéria seca	34
5.1.4	Conteúdo.....	35
5.2	Características de solo	35
5.2.1	Características químicas para a posição PCV aos 92 dias	36
5.2.2	Características químicas para a posição PBFC aos 92 dias	40

6 CONCLUSÃO	43
-------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do café no Brasil está próximo de completar 300 anos (CECAFÉ, 2021). O café começou a ser cultivado no século XVIII na região Norte, no Estado do Pará, e depois mudou em direção aos Estados de Rio de Janeiro e São Paulo, ao longo do Vale do Paraíba. Por volta de 1850, seu cultivo espalhou-se rapidamente em direção à Serra da Mantiqueira e Santos. No século XX, o cultivo do café continuou a expandir-se para os Estados de São Paulo, Espírito Santo, Paraná e região sul do Estado de Minas Gerais (VOLSI et al., 2019). Logo, até os anos 1960, as plantações de café estavam localizadas em áreas de média a alta fertilidade que eram originalmente florestadas (DIAS et al., 2015).

Em 1969, com a ocorrência de fortes geadas nas regiões produtoras de café, a região do Cerrado passou a ser prioritária de incentivo à cafeicultura brasileira, com a implantação do Plano de Renovação e Revigoramento de Cafezais (PRRC), que visava à elevação da produção do café e de sua produtividade por meio de implantação de cultivos racionais em áreas climaticamente favoráveis, com menor pressão de geadas. Intensificou-se a expansão da cafeicultura em uma região pouco tradicional no cultivo da cultura, o que culminou nos anos 2000 em uma das atividades cafeeiras mais desenvolvidas do país (ORTEGA; JESUS, 2011), instalada em área marginal em termos de fertilidade onde são necessárias constantes correções e fertilizações de solo (DIAS et al., 2015).

Em respostas às estratégias vencedoras como as empregadas pelo PRRC, e das atividades da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), do IBC (Instituto Brasileiro do Café), da Epamig (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) e do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) – órgãos esses que contribuíram nas análises de viabilidade técnica e econômica e desenvolveram pesquisas de adaptação da cultura à região, criando variedades próprias que propiciavam a aplicação de métodos e práticas culturais que favoreciam as qualidades físico-químicas do solo (ORTEGA; JESUS, 2011) –, o Brasil, em 2020, produziu em milhões de sacas, 48,77 de café arábica e 14,31 de conilon (CONAB, 2021), maior produtor e exportador mundial. Segundo o Cecafé (2021), em 2020 foram exportados 44,5 milhões de sacas para 122 países, considerando a soma de cafés verdes, solúvel, torrado e moído, o que gerou US\$ 5,6 bilhões de receita cambial no ano, com participação de 5,6% nas exportações do agronegócio e de 2,7% nos embarques totais do país.

A região do Cerrado ocupa uma área de 204 milhões ha, aproximadamente 22% do território brasileiro e é considerada o segundo maior bioma do país. Os solos do Cerrado são utilizados para várias atividades agrícolas, incluindo produção de grãos, pecuária e

reflorestamentos (VINHAL-FREITAS et al., 2012). No ano agrícola 2019/2020, cultivaram-se nesse bioma 244.053,30 ha com a cultura do café, 13,53% da área total de café arábica brasileira; o Estado de Minas Gerais contribuiu com 226.743 ha, Bahia com 9.600 ha e Goiás com 7.707 ha (CONAB, 2021). O cultivo ocorre em outros Estados que compõem o Cerrado, contudo é menos representativo quando comparado com os anteriormente citados.

O P é um elemento essencial não renovável e com reservas globais finitas (BINDRABAN; DIMKPA; PANDEY, 2020). Especialmente em solos altamente intemperizados com baixa disponibilidade de P e alta capacidade de sorção, o P, mesmo quando aplicado em altas doses, forma espécies não lábeis ao longo do tempo, portanto indisponíveis para as plantas (SANTOS et al., 2019), diminuindo expressivamente a eficiência das fertilizações fosfatadas.

Alguns solos do bioma Cerrado, especialmente os mais oxídicos, altamente intemperizados, são fortes drenos de P. Para torná-los fontes de P, são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados. De fato, solos como esses podem adsorver mais de 2 mg cm⁻³ de P, valor equivalente a 9.200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ incorporado de 0 a 20 cm de profundidade (NOVAIS et al., 2007).

Na fase de mudas, que apresenta sistema radicular pouco desenvolvido, o P é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas, sendo normal o nível crítico do nutriente em solos ser maior para mudas do que para plantas em produção (NOVAIS; SMYTH, 1999; CARMO et al., 2014; NICHIO, 2015).

O uso de fertilizantes fosfatados de eficiência agronômica conhecida é essencial para garantir o fornecimento adequado de P e altas produtividades às culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999; SCHOLZ; WELLMER, 2013; SANTOS et al., 2019) em que os extratores são importantes para predizer a performance agronômica, estabelecer doses dos fertilizantes e cumprir com a legislação. A extração química por ácido cítrico a 2% (AC) tem sido utilizada para discriminar fosfatos não reativos de fosfatos reativos, assumindo-se que rochas fosfatadas reativas devem possuir solubilidade em AC superior a 30% do teor total de P₂O₅ (FARIA et al., 2006; SANTOS et al., 2019).

Brasil (2014), descreve os métodos oficiais para determinação de P nos fertilizantes, segmentando-os em P total, P solúvel em água (P_{ÁGUA}), P solúvel em citrato neutro de amônio mais água (CNA+ÁGUA) e fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% (AC) e, de maneira geral, pode-se separar os fertilizantes fosfatados em quatro categorias: solúveis em água e CNA, baixa solubilidade em água e solúveis em AC, baixa solubilidade em água e média em AC, e baixa solubilidade tanto em água como em AC (OLIVEIRA, 2018).

Na primeira categoria encontram-se os superfosfatos produzidos a partir da reação industrial de rochas fosfáticas com ácido sulfúrico, obtendo-se o superfosfato simples (SFS) e, através de segunda acidificação com ácido fosfórico, obtém-se o superfosfato triplo (SFT) (FONTOURA, 2010; OLIVEIRA, 2018; SOUSA; NUNES; REIN, 2019). Os superfosfatos SFS e SFT, os fosfatos de amônio, MAP e DAP e alguns fertilizantes complexos (N, P e K no mesmo grânulo) apresentam mais de 90% do P total solúvel em CNA, alta solubilidade em água, dissolvem-se rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P às plantas. São utilizados principalmente na forma de grânulo, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reagem, além de facilitar o manuseio e aplicação. São produtos de reconhecida e elevada eficiência agronômica para qualquer condição de solo e cultura no Cerrado e correspondem a mais de 90% do P_2O_5 utilizado na agricultura brasileira (SOUSA; NUNES; REIN, 2019).

Os termofosfatos e fertilizantes à base de fosfato bicálcico apresentam mais de 90% do P total solúvel em AC e em CNA, porém são pouco solúveis em água, enquadrando-se na segunda categoria. Apresentam eficiência agronômica tão elevada quanto os solúveis em água se aplicados de forma finamente moída (OLIVEIRA, 2018; SOUSA; NUNES; REIN, 2019). A granulação de produtos de baixa solubilidade em água resulta em dissolução mais lenta no solo e redução da eficiência agronômica no ano de aplicação, comparando-se à forma finamente moída. De maneira geral, para serem eficientemente utilizados na forma granulada, os fertilizantes solúveis em CNA ou AC devem apresentar solubilidade em água de no mínimo 60% (SOUSA; NUNES; REIN, 2019).

Na terceira categoria, encontram-se os fosfatos naturais reativos, que possuem origem sedimentar, tais como Carolina do Norte, Gafsa, Bayòvar, Argélia, Daoui, Arad e outros, sendo de baixa solubilidade em água e apresentando média solubilidade em AC (SOUSA ; NUNES; REIN, 2019). Os fosfatos de origem sedimentar não são somente os mais importantes depósitos no mundo em volume de reserva, mas também em magnitude de produção. Em particular no Perú, na região próxima ao litoral norte no deserto de Sechura, encontra-se a mina de Bayòvar, composta de sedimentos marinhos com reservas da ordem de 280 milhões de toneladas e contendo aproximadamente 18% de P_2O_5 . O minério *Run of Mine* Bayòvar é processado em circuito de beneficiamento, gerando um concentrado de fosfato contendo aproximadamente 30% de P_2O_5 (BALDOINO et al., 2013). De modo geral, a baixa eficiência inicial dos FNR em relação às fontes solúveis em água é compensada por um maior efeito residual nos anos subsequentes, de modo que, no longo prazo, o rendimento acumulado de grãos é semelhante, podendo-se considerar que todo o FNR é solubilizado (SOUSA; NUNES; REIN, 2019).

Por fim, a quarta categoria, a maioria dos fosfatos naturais brasileiros, como os de Araxá, Patos de Minas, Catalão e outros, de origem ígnea, enquadram-se na categoria pois são pouco solúveis em água e em AC, o que proporciona alta estabilidade estrutural e, portanto, baixa reatividade e baixa eficiência agronômica (OLIVEIRA 2018; SOUSA; NUNES; REIN, 2019), principalmente em condições de acidez corrigida para culturas anuais, com pH em torno de 6,0. A eficiência agronômica dos fosfatos naturais brasileiros é muito baixa, sendo no máximo 20% para culturas anuais em relação aos fosfatos solúveis em água, nos primeiros anos de aplicação (GOEDERT; LOBATO, 1984; SOUSA; NUNES; REIN, 2019).

A eficácia do P solúvel em água é limitada devido à alta tendência de fixação às partículas do solo. Em contraste, a aplicação direta de rocha fosfática como fertilizante é ineficaz para absorção pelas plantas devido à baixa solubilidade. Consequentemente, vários caminhos inovadores podem ser perseguidos para "ativar" fontes de rocha fosfática que têm demonstrado ser eficazes como fertilizantes fosfatados sob condições controladas, mas para os quais evidências sólidas de eficácia em condições de campo ainda não foram estabelecidas (BINDRABAN; DIMKPA; PANDEY, 2020).

Para fontes de alta solubilidade em água, a aplicação em menor volume de solo tem a vantagem de diminuir a adsorção de P, pois reduz seu contato com potenciais sítios de adsorção, porém o efeito da localização do fertilizante fosfatado em solos com alta disponibilidade de P tende a reduzir, ou mesmo anular, o aumento da eficiência da absorção, comparado com aqueles que apresentam baixa disponibilidade do nutriente (BÜLL et al., 2004; NICHIO, 2015).

Uma alternativa para redução de custos com fertilizantes fosfatados solúveis tem sido o uso de fontes fósforo menos solúvel, como fosfatos naturais reativos (RAIJ, 2011; BONFIM-SILVA et al., 2019). Os fosfatos naturais reativos têm um menor custo de aquisição e podem reduzir a fixação do fósforo no solo, uma vez que reagem de forma gradativa, apresentando um efeito residual que, quando estimado por longos períodos, pode ter seu efeito igual ao do fosfato solúvel (BONFIM-SILVA et al., 2019).

Os fosfatos insolúveis são mais indicados para aplicação a lanço, objetivando-se aumento da superfície de contato para sua melhor dissolução pelo fato de sua granulometria ser farelada/fina, o que não implica aumento da eficiência da adubação, mas, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem proporcionar maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (NICHIO, 2015).

A mistura de fertilizantes P solúveis em água, tal como SFT e SFS com rocha fosfática, promove aumento na solubilidade devido à acidulação residual da fonte solúvel. Essa estratégia aumenta a absorção de P do fosfato natural para níveis comparáveis a de fonte solúvel em água,

dependendo das proporções da mistura e das propriedades do solo, como pH (IFDC, 2018). Para que ocorra a solubilização parcial do FNR pela acidez gerada da hidrólise dos superfosfatos no solo, as duas fontes devem ser aplicadas em contato no mesmo grânulo (FRANZINI et al., 2009). Todavia, Rosolem e Almeida (2014) ao combinarem associações de SFT e fosfato natural reativo de Arad (FNA) para substituir o fosfato solúvel (SFT), concluíram, após três anos, não ser uma opção viável para soja em sistema de plantio direto, porque a eficiência do FNA mostrou-se relativamente baixa e não aumentou quando misturado com SFT, pois a acidez gerada pela hidrólise do SFT no solo não foi suficiente para aumentar a eficiência do FNA.

O manejo tradicional na implantação da lavoura de café no Cerrado dá-se através das operações de preparo da linha de plantio que objetivam modificar o perfil do solo e dar condições ótimas para o crescimento e desenvolvimento das mudas no local em que serão transplantadas. Isso ocorre pela melhoria de parâmetros químicos e físicos através de aração, gradagens, aplicação de corretivos para ajuste de pH, eliminação de toxidez por Al trivalente, fornecimento de Ca, Mg e S aplicados em área total ou localizada, sulcamento, aplicação de fertilizantes orgânicos, fertilizante mineral fosfatado e/ou multinutrientes adicionados ao sulco de plantio e depois misturados e incorporados ao volume de solo constituído pelo sulco de trabalho.

Essa forma de implantação favorece um maior contato entre o íon fosfato e a superfície dos colóides. Como a maioria dos solos brasileiros são intemperizados e apresentam na fração argila predomínio de óxidos e hidróxidos de Fe e Al e argilas do grupo caulinita que, sob condições de reação ácida a moderadamente ácida apresentam-se com cargas positivas, são capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, entre eles o íon fosfato, fenômeno conhecido como adsorção específica (RAIJ, 1991). O P já nas primeiras horas depois de aplicado no solo tende a precipitar-se com Fe, Al e Mn, ou ainda ser adsorvido pela superfície dos colóides, formando compostos de menor solubilidade, consequência da mineralogia e pH desses solos (RESENDE; FURTINI NETO, 2007; NOVAIS et al., 2007; NICHIO, 2015).

Nessas condições, a disponibilidade de P pode ser limitante para as mudas de café em função da rápida adsorção de P provenientes de fontes com alta solubilidade, como o SFT. O pH é fator determinante na forma química de P na solução que ocorre nas formas iônicas H_2PO_4^- (fosfato diácido), HPO_4^{2-} (fosfato monoácido) ou PO_4^{3-} (fosfato) e também na eficiência de sua utilização pelas plantas (RAIJ, 1991; NICHIO, 2015).

O nível crítico é a concentração do nutriente que permite separar classes de solos com alta daqueles com baixa probabilidade de resposta à adição do nutriente, ou ainda como a

concentração do nutriente que propicia a obtenção de produção de máxima eficiência econômica, quando os outros nutrientes ou fatores de produção estão próximos do nível adequado. Os níveis críticos de fósforo disponível nos solos variam com o extrator utilizado, a cultura e as características do solo que determinam sua capacidade tampão de P (PEREIRA; GOMES, 1998).

Os métodos de recomendação de fertilizantes baseados no nível crítico de nutrientes precisam considerar sua variação com a idade da planta e com os níveis de produtividade da cultura (PREZOTTI, 2001). O cafeeiro é mais exigente em P no início do seu desenvolvimento, reduzindo essa exigência com a idade, provavelmente em razão do aumento do volume de solo explorado pelas raízes. Lavoura com produtividade elevada exigirá maior quantidade de nutrientes quando comparada a uma lavoura pouco produtiva. Portanto, a generalização de um nível crítico para uma determinada cultura pode gerar grandes equívocos na recomendação de fertilizantes.

Prezotti (2001) menciona equações para estimar os níveis críticos (NiCri) de P e, nesse método, consideram-se características do solo que refletem sua capacidade de tamponamento, dependentes do teor e da qualidade da argila, em função dos extratores Mehlich 1 e P resina, em função do P-rem dos solos, para substratos e plantio de cafeeiros, conforme equações abaixo:

$$\text{NiCri}_{(\text{Mehlich 1})} = 90,585 - 0,3018 \text{ P-rem} + 0,1138 (\text{P-rem})^2 \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{NiCri}_{(\text{resina})} = 101,31 + 1,87 \text{ P-rem} \quad \text{Equação 2}$$

Esses são valores teóricos os quais o solo deveria ter de P disponível ao receber a muda de cafeeiro, a fim de crescer e desenvolver sem limitações ou deficiências de P; portanto, é necessário calcular o fator de aplicação (FAplic) em função do P-rem (Equação 3) para a determinação da quantidade aplicada real em mg dm^{-3} de P (PREZOTTI, 2001):

$$\text{FAplic} = 0,1647 - 0,0005487 \text{ P-rem} + 0,0002069 (\text{P-rem})^2 \quad \text{Equação 3}$$

A quantidade em mg dm^{-3} P a ser aplicada é o resultado entre a divisão do valor de NiCri calculado, Equação 1 ou Equação 2, dividido pelo FAplic (PREZOTTI, 2001).

À luz da literatura, buscam-se estratégias a serem implementadas na implantação de lavouras de café que, de forma prática e fácil promovam alta eficiência de uso de P,

independentemente do nível de tecnologia no preparo de solos e fertilizantes disponível ao produtor. A tática de aplicar de forma antecipada ao plantio a fonte FNR, os corretivos e a matéria orgânica proveniente de composto orgânico em todo o volume de solo preparado se torna uma vantagem em função das reações benéficas no perfil de solo ao longo do tempo. Associada a essa tática, realiza-se a aplicação da fonte de alta solubilidade em água, como exemplo o SFT de forma localizada próximo às mudas na ocasião do plantio do cafeeiro, para atender o nível crítico elevado para P na fase inicial de formação de lavouras. Como foi exposto, a associação de fontes de solubilidades contrastantes é uma estratégia tecnicamente viável no mesmo grânulo, porém nesse caso o produtor ficaria sempre dependente de forças externas para realizar essa granulação e nem sempre ficaria no controle das reais fontes de uso de P na propriedade.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar as respostas em mudas de cafeeiro recém transplantadas às associações de fontes de P com contrastantes solubilidades em duas formas de aplicação e avaliar a disponibilidade residual de P no solo pelos extratores Mehlich 1 e resina de troca aniônica (resina) ao final de 92 dias após o transplantio das mudas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar as respostas em mudas de cafeeiro recém transplantadas ao emprego de associações de fontes de P com contrastantes solubilidades em duas formas de aplicação e avaliar a disponibilidade residual de P no solo pelos extratores Mehlich 1 e resina.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o crescimento e desenvolvimento de plantas de café em resposta às associações entre as fontes de P e formas de aplicação;

Avaliar o efeito residual de P pelos métodos Mehlich 1 e resina em função da localização e composição da associação de fontes minerais de P.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no período de dezembro de 2020 a junho de 2021 no Centro de Pesquisas da empresa Terrena Agronegócios, localizada em Patos de Minas, MG, altitude média de 862 m, 18°40'22'' de latitude sul e 46°31'56'' de longitude oeste. A região apresenta clima tropical com estação seca, classificação climática de Köppen-Geiger: Aw (SÁ JÚNIOR, 2009), cujos dados meteorológicos no período de condução do experimento encontram-se descritos na Figura 1. As análises de solos, fertilizantes, corretivos e tecidos vegetais foram realizadas no Centro de Análises da Terrena Agronegócios, em Patos de Minas, MG, e a análise referente ao composto orgânico foi realizada pela Unithal Laboratório Agrônômico.

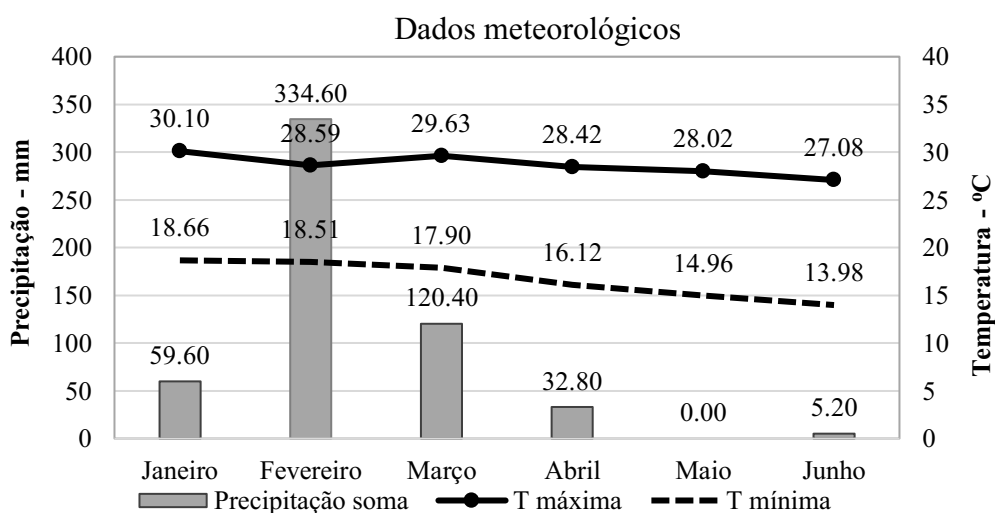


Figura 1. Dados médios de temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluvial por mês em Patos de Minas, MG. Estação A562, altitude 950 m.

Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

O solo utilizado no estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argissólico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018). Estava inicialmente sob pastagem de baixa capacidade produtiva. Para fins de caracterização química, física e determinação das doses de calcário e gesso agrícola, foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. Em função dos resultados, aplicaram-se 2,0 Mg ha⁻¹ do calcário com as características: 32% CaO e 18% MgO (m m⁻¹),

PRNT 85%, 1,0 Mg ha⁻¹ do calcário com as características 54% CaO e 1% MgO (m m⁻¹), PRNT 85% e 1,0 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola.

Em 2020, seis meses após a aplicação dos corretivos foi retirado o solo na camada de 5 a 20 cm de profundidade, excluídos os 5 cm superficiais. Esse material foi enviado para ser seco em temperatura ambiente, posteriormente peneirado em malha 4 mm e realizada análise de caracterização química e física, conforme dados apresentados na Tabela 1. Não foram aplicados corretivos *a posteriori*. Foi analisada a textura do solo através da determinação das quantidades de areia, silte e argila pelo método da pipeta, seguindo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Os resultados da análise granulométrica foram os seguintes: areia=166 g kg⁻¹; silte = 238 g kg⁻¹ e argila = 596 g kg⁻¹, o que possibilitou enquadrar o solo como de classe textural argilosa.

Tabela 1. Caracterização química do solo

pH Água	M.O.	P-rem	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC(T)	V	m
	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³			%	
5,89	2,74	8,86	3,64	100	1,91	1,11	0,03	2,29	3,28	5,57	58,81	0,91

MO=Matéria orgânica (oxidação com Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N); P-rem=P remanescente (P da solução de equilíbrio após agitar 1h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10); P, K (Extrator Mehlich 1); Ca, Mg, Al (Extrator KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (Extrator SMP); SB=Soma de bases; CTC(T)=Capacidade de troca de cátions em pH = 7,0 (Solução tampão SMP a pH 7,5); V=Saturação do complexo de troca por bases; m=Saturação do complexo de troca por alumínio.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado adotando-se o delineamento em blocos casualizados (DBC) com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial [(5 x 2) + 2]. O primeiro fator constituiu-se a partir da associação de duas fontes de P, o fosfato natural reativo de Bayovar (FNB) e o superfosfato triplo (SFT), de solubilidades contrastantes, em 5 proporções, 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75%; 0%:100% (FNB:SFT) (Tabela 3), aplicadas em dose padrão de 25 g vaso⁻¹ de P₂O₅, para a soma das contribuições das duas fontes. Além do SFT e FNB, os tratamentos receberam 30 dias antes do transplântio das mudas (DAT) o composto orgânico na quantidade de 500 g vaso⁻¹, similar à prática de campo na implantação de lavoura cafeeira pelos produtores mais tecnificados do Cerrado, considerando uma cova de plantio com o volume de 64 dm³ (4 dm x 4 dm x 4 dm).

O segundo fator constituiu-se de duas formas de aplicação do SFT, sendo aplicadas de forma homogênea em volume total de solos contido no vaso (HVT), ou seja, em 50 dm³; e localizada (LOC) em um volume de 1,2 dm³ de solo aplicado no centro do vaso (Figura 3). O tratamento Controle Composto constou da aplicação apenas do composto orgânico e o tratamento Controle Absoluto constou da ausência de aplicação de fonte de P (Tabela 3).

Os fertilizantes utilizados foram submetidos a análises para caracterização química e determinou-se a concentração de P total (P_{total}), frações de P solúvel em água ($P_{ÁGUA}$), citrato neutro de amônio (P_{CNA}), e solúvel em AC a 2% (P_{AC}) (Tabela 2). A constituição física das fontes de P foram em pó, granulado e farelado para o FNB, SFT e composto orgânico respectivamente.

Tabela 2. Teores de Ca, Mg e P total e porções de P solúvel em água em citrato neutro de amônio a pH 7 e em ácido cítrico a 2%

Fertilizante	P_{total} P (m/m)	P_{total}	$P_{CNA+ÁGUA}$ P_2O_5 (m/m)	P_{CNA} %	$P_{ÁGUA}$	P_{AC}	P_{AC} P_{AC}/P_{total}	Ca	Mg
FNB	12,89	29,53	8,55	8,55	0	14,74	49,9	28,43	0,32
SFT	20,52	47,04	46,71	8,13	38,58	23,05	49	1,29	0,36
Composto orgânico	1,77	4,04	3,74	2,78	0,96	2,48	61,38	2	0,54

FNB = Fosfato natural reativo de Bayovar; SFT = superfosfato triplo; P total (P_{total}), P solúvel em água ($P_{ÁGUA}$), P solúvel em citrato neutro de amônio (P_{CNA}), P solúvel em ácido cítrico a 2% (P_{AC}), Teores de Ca, Mg, nos fertilizantes foram determinados conforme metodologia do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 2014)

Em 26/01/2021, foram aplicados o composto orgânico e o FNB para todos os tratamentos dos quais fazem parte e o SFT nos tratamentos 2, 3, 4 e 5. Eles foram homogeneizados a todo o volume de solos que constituiu o vaso, com auxílio de betoneira e, após 30 dias, em 26/02/2021 foi realizado o transplântio das mudas. Na ocasião do transplântio, o SFT foi aplicado de forma localizada nos tratamentos 7, 8, 9 e 10. As fontes, doses e épocas de aplicação encontram-se descritas pela Tabela 3.

As mudas estavam acondicionadas em tubetes de 340 cm³ e foram transplantadas para os vasos com 50 dm³ de solo em um total de 3 mudas por vaso, espaçadas equidistantes em relação ao centro (Figura 2), que correspondeu a cada unidade de observação. Na ocasião do transplântio,

as mudas estavam com cinco pares de folhas. Os manejos nutricional e fitossanitário foram realizados de acordo com as boas práticas de manejo para a cultura, com o objetivo de reduzir fontes de variação que poderiam limitar o crescimento e desenvolvimento das mudas, tais como deficiências nutricionais e desfolhas precoces. Os maiores desafios encontrados foram a necessidade de controle do bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) e da *Cercospora coffeicola* (Berk e Cooke). Para isso, realizaram-se três pulverizações. A primeira pulverização, realizada em 26/02/2021, em pós-transplântio, teve a aplicação de: fertilizante foliar quelatizado (0,4% v/v), composição 131 g L⁻¹ de N, 26,2 g L⁻¹ de Mg, 13,10 g L⁻¹ de B e 78,6 g L⁻¹ de Zn; Mn quelato (0,2% v/v), composição 137,5 g L⁻¹ de Mn; Supera (0,5% m/v); Cercobin 875 WG (0,2% m/v); Voliam Targo (0,15% v/v); açúcar (1% m/v) e ácido bórico (0,1% m/v), com consumo de 30 cm³ vaso⁻¹ de calda de pulverização. Na segunda, realizada em 25/03/2021, foram aplicados: fertilizante foliar quelatizado (0,3% v/v), composição 50,80 g L⁻¹ de S, 38,10 g L⁻¹ de Mn, 6,35 g L⁻¹ de B, 7,62 g L⁻¹ de Cu e 63,50 g L⁻¹ de Zn; Ferro quelato (0,5% v/v), composição 46,80 g L⁻¹ Fe; Mn quelato (0,2% v/v); ácido bórico (0,1% m/v); Cercobim 875 WG (0,2% m/v); Supera (0,5% v/v); ComoPlus 250 (0,05% v/v), açúcar (1% m/v), com consumo de calda de pulverização de 45 cm³ vaso⁻¹. Na terceira, realizada em 26/04/2021, foram aplicados: Cartap (0,25%), Rimon Supra (0,10%), Cercobin 875 WG (0,2%), açúcar (2%) com consumo da calda de pulverização de 45 cm³ vaso⁻¹.



Figura 2. Sequência com a aplicação localizada do SFT ilustrada pela retirada de 1,2 dm⁻³ de solo com auxílio de um frasco plástico de medidas 10 cm de diâmetro por 15 cm de altura, seguida da homogeneização da fração do solo com o SFT previamente pesado, e retorno ao centro do vaso. Por fim, o posicionamento das mudas transplantadas.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos em função da fontes, doses, época e formas de aplicação de P.

Tratamentos	Composto orgânico ⁽¹⁾		FNB ⁽²⁾		SFT ⁽³⁾	
	g vaso ⁻¹	Forma e época de aplicação	g vaso ⁻¹	Forma e época de aplicação	g vaso ⁻¹	Forma e época de aplicação
	P ₂ O ₅		P ₂ O ₅		P ₂ O ₅	
T1	13,23	Homogêneo, 30 DAT	25,00	Homogêneo, 30 DAT	0	-
T2	13,23	Homogêneo, 30 DAT	18,75	Homogêneo, 30 DAT	6,25	Homogêneo, 30 DAT
T3	13,23	Homogêneo, 30 DAT	12,50	Homogêneo, 30 DAT	12,50	Homogêneo, 30 DAT
T4	13,23	Homogêneo, 30 DAT	6,25	Homogêneo, 30 DAT	18,75	Homogêneo, 30 DAT
T5	13,23	Homogêneo, 30 DAT	0	-	25,00	Homogêneo, 30 DAT
T6	13,23	Homogêneo, 30 DAT	25,00	Homogêneo, 30 DAT	0	-
T7	13,23	Homogêneo, 30 DAT	18,75	Homogêneo, 30 DAT	6,25	Localizado, 0 DAT
T8	13,23	Homogêneo, 30 DAT	12,50	Homogêneo, 30 DAT	12,50	Localizado, 0 DAT
T9	13,23	Homogêneo, 30 DAT	6,25	Homogêneo, 30 DAT	18,75	Localizado, 0 DAT
T10	13,23	Homogêneo, 30 DAT	0	-	25,00	Localizado, 0 DAT
T11	13,23	Homogêneo, 30 DAT	0	-	0	-
T12	0	-	0	-	0	-

¹ Referente à aplicação de 500 g vaso⁻¹ de composto orgânico, com teor de umidade de 34,49 %, relação C/N=10 e teor de P₂O₅ de 4,04 % (m/m), homogeneizado em todo o volume de solos 30 dias antes do transplântio das mudas (DAT). ² FNB aplicado e homogeneizado em todo o volume de solo 30 DAT. ³ SFT em forma de aplicação “Homogêneo”, aplicado e homogeneizado em todo o volume de solos 30 DAT, e em “Localizado”, aplicado no dia do transplântio das mudas para os vasos de forma localizada pela mistura do SFT com 1,2 dm³ de solo retirado e retornado ao centro do vaso após homogeneização com o SFT (Figura 2).

Foram realizadas três adubações nitrogenadas com o fertilizante líquido UAN, 32 % m/m de N nas datas 08/03/2021, 23/03/2021 e 19/04/2021, e quantidades de 3,0; 2,33; e 5,33 g N vaso⁻¹, respectivamente aplicados sempre no centro do vaso com seringa descartável.

3.3 Características de plantas

Para organização e rastreamento das avaliações individuais das plantas que compuseram cada unidade experimental, representada por três plantas por vaso, marcou-se com corda azul uma planta, que passou a ser a referência, e sempre a partir dela, em sentido horário, realizaram-se as avaliações das plantas subsequentes (Figura 3).



Figura 3. Esquema com a orientação das leituras realizadas nas plantas que contituíram a unidade amostral. Início sempre pela planta marcada com corda azul e em sentido horário com o observador sempre posicionado no carreador de frente ao vaso.

3.3.1 Altura das plantas e diâmetro do caule ao nível do solo

A altura de plantas foi mensurada com trena métrica metálica na vertical tomando por referência o meristema apical até o nível do solo, com valor expresso em centímetros; o diâmetro do caule foi mensurado com com paquímetro digital, tomando por referência a base do diâmetro do caule ao nível do solo. As variáveis foram mensuradas em cada uma das três plantas que compuseram a unidade experimental aos 3, 24, 38, 59 e 83 e 92 dias após o transplântio das mudas, nas seguintes datas: 01/03/2021, 22/03/2021, 05/04/2021, 26/04/2021, 20/05/2021 e 28/05/2021.

3.3.2 Número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP)

O número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP) foi determinado por meio de contagem direta em cada uma das três plantas aos 92 dias após o transplantio das mudas, na data 28/05/2021.

3.3.3 Determinação do teor e conteúdo de nutrientes nos tecidos vegetais

Decorridos 92 dias do transplantio das mudas, foi realizada a retirada da parte aérea de duas plantas por vaso para análises dos tecidos vegetais, determinações dos teores e conteúdos dos nutrientes. A terceira permaneceu no vaso e será conduzida até a produção em um estudo futuro. Os tecidos vegetais referentes às duas plantas foram segmentados em duas partes, a primeira constituída de toda a massa vegetal acima do sexto nó contado a partir do ápice do ramo ortotrópico de forma descendente, formado por folhas jovens e ramos tenros (Figura 4 a), e a segunda constituiu-se da parte aérea resultante abaixo da incisão realizada até o nível do solo (Figura 4 b), formada pelo caule sem folhas residuais. A partir desses segmentos, obteve-se a massa seca denominada foliar (MSf), massa seca caule (MSc) e massa seca total (MSTo), que é a somatória das anteriores. Não foi realizada a determinação de teor e massa seca do sistema radicular contido nos vasos, pois pretende-se, no futuro, estender o até a primeira produção e, por essa razão, a destruição dos vasos não foi feita, ação que seria necessária para a determinação dessas características.

As amostras dos tecidos vegetais foram identificadas e encaminhadas para o Centro de Análises da Terrena Agronegócios em Patos de Minas, onde foram lavadas em água corrente e secas em estufa com circulação de ar a 65° C durante 72 horas. No final dessa operação, foram determinadas MSf e MSt, em g vaso⁻¹, e em seguida realizadas as análises para a determinação dos teores dos nutrientes apenas para a MSf.

O conteúdo de nutrientes (mg vaso⁻¹) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Conteúdo} = \text{MSf}_{(\text{g})} \times \text{teor nutriente}_{(\text{g kg}^{-1})} \times 0,01$$

Equação 4



Figura 4. a) imagem à esquerda: identificação do ponto de corte de plantas para análise de teor e determinação do conteúdo localizado no sexto nó no ramo ortotrópico, contado a partir do ápice; b) imagem à direita: retirada do caule remanescente após o corte, sem folhas residuais.

3.4 Características de solos

Para verificar a disponibilidade residual de P, foram retiradas amostras de solos nas posições centro do vaso (PCV) e borda ou fora do centro do vaso (PBFC) (Figura 5), através do uso de um trado confeccionado em aço inox, com diâmetro interno de 3,81 cm e altura de coleta do solo de 10 cm. O solo dessas posições foi identificado e encaminhado de forma distinta para o laboratório de análises para realizar as determinações de pH em água, P-rem, P disponível por Mehlich 1 e P resina.

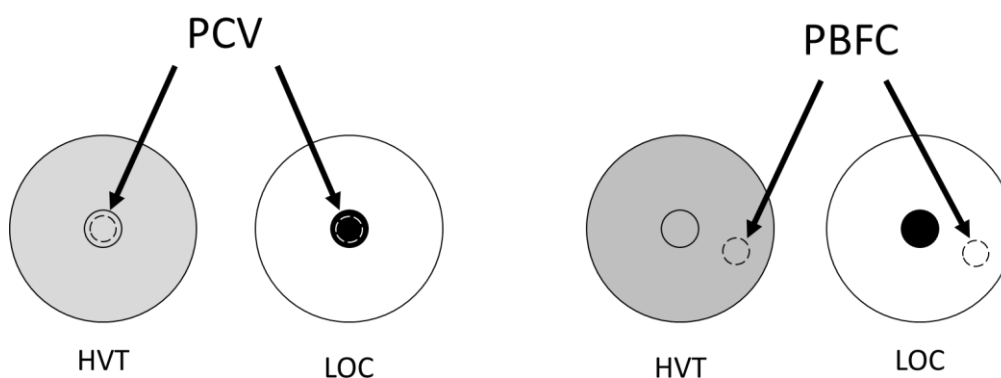


Figura 5 . Esquema do local de coleta das amostras de solo, onde: PCV=Posição centro do vaso; PBFC=Posição borda ou fora do centro; HVT=Aplicação homogênea em volume total de solos. LOC=Aplicação localizada do SFT no centro do vaso em um 1,2 dm³ de solo

3.4.1 Caracterização química do solo na posição centro do vaso (PCV)

A retirada de solo no centro do vaso foi realizada para todos os tratamentos, com muita cautela para coletar exatamente onde o SFT foi aplicado de forma localizada, através de um furo do trado por vaso, com volume total de 114 cm^3 de solo, posteriormente enviado ao laboratório para realização das análises químicas (Figura 6).



Figura 6. Detalhe do ponto da coleta da amostra solo na posição centro do vaso (PCV)

3.4.2 Caracterização química do solo na posição borda ou fora do centro do vaso (PBFC)

Para a verificação do efeito de diluição das fontes de P no solo e movimentação do P da fonte SFT aplicado localizado (LOC), foi retirada na posição PBFC uma amostra de solo composta, constituída pelo volume de solo de dois furos do trado, que totalizou 228 cm^3 de solo, enviado ao laboratório para realização das análises químicas, para todos os tratamentos sem exceção (Figura 7).



Figura 7. Detalhe dos pontos de coleta de solo nas posições centro do vaso (PCV), furo único central, e posição borda fora do centro (PBFC), dois furos na posição de transplântio da mudas, e imagem das duas amostras distintas, identificadas e enviadas para realização das análises laboratoriais.

3.5 Análises estatísticas

As variáveis foram submetidas à análise de variância (teste de F) após a conferência do atendimento das pressuposições do modelo pelo teste de Shapiro-Wilk para a normalidade de resíduos, teste de Levene para a homogeneidade de variâncias, teste de Tukey para aditividade de blocos, todos a 0,01 de significância.

Pela alta heterogeneidade de variâncias presente nas variáveis de mensuração do fósforo, justificada pelas altas diferenças entre os níveis de fósforo entre o método de aplicação localizado e homogêneo, foi ajustada a técnica dos Mínimos Quadrados Generalizados (*Generalized Least Squares, GLS*), com a criação de uma estrutura de variância para as duas formas de aplicação. O ajuste foi realizado pelo método *Restricted Maximum Likelihood (REML)* e ajustado para 5000 iterações para o algoritmo de otimização e com o método de otimização SANN (BELISLE, 1992).

Quando diferenças significativas foram detectadas pelo teste de F (0,05 de significância), as médias foram comparadas pelos testes de Tukey e os controles Composto e Absoluto foram comparados com os demais tratamentos com o teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. As doses crescentes de SFT foram submetidas à análise de regressão. Os dados foram analisados no R v. 4.0.4 (*R: A Language and Environment for Statistical Computing*).

4 RESULTADOS

4.1 Características de plantas

4.1.1 Crescimento e desenvolvimento das mudas

Aos 92 dias após o transplante das mudas para os vasos, não foram observadas diferenças significativas no tocante às características incremento na altura de plantas (Δh), incremento no diâmetro de caule ao nível do solo (Δd) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP). Porém, quanto à característica NNP, o tratamento 50%:50% (FNB:SFT) e forma de aplicação LOC apresentou diferença significativa em relação ao Controle Composto, pelo teste de Dunnett[®] a 5% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Médias das características incremento na altura de planta (Δh), incremento do diâmetro do caule ao nível do solo (Δd) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP).

Associação de fontes de P ₂ O ₅	Δh			Δd			NNP		
FNB/SFT (%)	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
	HVT	LOC		HVT	LOC		HVT	LOC	
	 cm			 mm			 nós planta ⁻¹		
100/00	13,00	12,30	12,67 ns ¹	2,36	2,49	2,42 ns	8,00	6,00	7,00 ns
75/25	11,00	11,67	11,33	3,02	2,63	2,82	6,00	6,67	6,33
50/50	9,67	16,00	12,83	2,48	2,29	2,39	6,00	10,67 *	8,33
25/75	10,67	12,67	11,67	2,19	2,64	2,42	4,33	4,67	4,50
00/100	10,33	11,67	11,00	2,09	2,45	2,27	5,33	6,33	5,83
Média	10,93 ns	12,87		2,43 ns	2,5		5,93 ns	6,87	
Controle composto *			11,67			2,34			5,00
Controle absoluto +			10,33			2,45			6,67
CV (%)	24,88			22,68			33,97		

¹ns = não significativo. ²HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. Médias marcadas com asterisco (*) diferem do tratamento Controle Composto e médias marcadas com mais (+) diferem do tratamento Controle Absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Os incrementos em altura e diâmetro são referentes à diferença das leituras realizadas entre os dias 03/03/2021 e 28/05/2021, exatamente na planta remanescente no vaso.

4.1.2 Teor

As associações das fontes de P (Tabela 5) não promoveram diferenças significativas em relação ao teor de P nos tecidos vegetais; porém, promoveram para as formas de aplicação do

SFT com valores médios de 1,55 g kg⁻¹ para a forma localizada no centro do vaso (LOC) e 1,35 g kg⁻¹ para a forma homogênea em todo o volume de solos (HVT).

O tratamento 50%:50% (FNB:SFT) com SFT aplicado LOC apresentou valor médio de 1,85 g kg⁻¹ de P, diferindo-se estatisticamente dos tratamentos Controle Composto e Controle Absoluto (Tabela 5).

Para o teor de cálcio nos tecidos, houve diferenças significativas entre as associações de fontes e também entre as formas de aplicação do SFT. Observaram-se as maiores médias nos tratamentos com menores percentuais do SFT, ou, por outro lado, por maiores participações da fonte FNB, independentemente da forma de aplicação, com valores máximos para a média da associação 100:0 (FNB:SFT) de 11,13 g kg⁻¹ de Ca e mínimo de 9,45 para 0:100. Observaram-se também diferenças significativas em relação à forma de aplicação, 10,77 g kg⁻¹ de Ca, para a forma de aplicação HVT contra 10,06 g kg⁻¹ de Ca para a aplicação LOC. Observaram-se diferenças significativas na forma de aplicação HVT em relação ao adicional Composto orgânico.

Tabela 5. Teor de P e Ca apresentado nos tecidos vegetais representados por folhas e ramos tenros pertencentes aos 6 últimos nós do ramo ortotrópico do cafeeiro aos 92 DAT.

Associação de fontes de P ₂ O ₅		Fósforo		Cálcio		
FNB/SFT (%)	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
	HVT ²	LOC ³		HVT	LOC	
	 g kg ⁻¹			 g kg ⁻¹		
100/00	1,46	1,40	1,43 ns ¹	11,33 *	10,93 *	11,13 A
75/25	1,56	1,50	1,53	10,80 *	10,20	10,50 AB
50/50	1,35	1,85 * +	1,60	10,77 *	9,63	10,20 AB
25/75	1,25	1,64	1,45	11,13 *	10,57 *	10,78 AB
00/100	1,13	1,36	1,25	9,93	8,97	9,45 B
Média	1,35 b	1,55 a		10,77 a	10,06 b	
Controle composto *			1,24			8,53 +
Controle absoluto +			1,26			10,70 *
CV (%)	16,23			7,58		

¹ns = não significativo. ²HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias marcadas com asterisco (*) diferem do tratamento Controle Composto e médias marcadas com mais (+) diferem do tratamento Controle Absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.1.3 Matéria seca

As associações de fontes de P e as formas de aplicação do SFT não promoveram respostas com diferenças significativas em termos de produção de matéria seca para os dois

segmentos de planta, MSf e MSc (Figura 6). Não foram observadas diferenças entre os tratamentos em relação aos controles aos 92 DAT pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade (Tabela 6).

Tabela 6. Massa seca das folhas e ramos tenros (MSf), do caule residual (MSc) e massa seca total (MSTo), aos 92 DAT.

Associação de fontes de P ₂ O ₅	MSf ⁴			MSc ⁵			MSTo ⁶		
	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
	HVT ²	LOC ³		HVT	LOC		HVT	LOC	
FNB/SFT (%)	g vaso ⁻¹			g vaso ⁻¹			g vaso ⁻¹		
100/00	10,21	10,38	10,29 ns ¹	4,85	4,62	4,73 ns	15,05	15	15,02 ns
75/25	9,86	11,6	10,73	4,15	4,31	4,23	14,01	15,91	14,96
50/50	11,44	11,06	11,25	4,18	4,12	4,15	15,62	15,18	15,40
25/75	10,01	9,56	9,79	4,46	4,58	4,52	14,47	14,14	14,30
00/100	9,08	10,32	9,70	4,94	4,88	4,91	14,02	15,21	14,61
Média	10,12 ns	10,58		4,50 ns	4,51		14,63 ns	15,09	
Controle composto *			9,66			4,24			13,90
Controle absoluto +			10,73			3,33			14,06
CV (%)	17,4			22,73			15,85		

¹ não significativo. ² HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³ LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. ⁴ A matéria seca folhas e ramos tenros (MSf) foi constituída dos tecidos vegetais acima dos seis últimos nós do ramo ortotrópico de duas plantas, por repetição. ⁵ Matéria seca caule (MSc) é referente ao tecido vegetal, sem folhas, remanescente das duas plantas, cortadas ao nível do solo. ⁶ Matéria seca total (MSTo) é referente à matéria seca total da parte aérea. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ³ médias marcadas com asterisco (*) diferem do tratamento Controle composto e médias marcadas com mais (+) diferem do tratamento Controle absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.1.4 Conteúdo

Para o conteúdo de P nos tecidos vegetais não foram observadas diferenças significativas entre as associações das fontes de P, porém houve efeito na formas de aplicação. De fato, para a forma de aplicação LOC, a média obtida entre as associações de fontes de P foi de 16,28 mg vaso⁻¹ de P, e para a forma de aplicação HVT, 13,79 mg vaso⁻¹ de P (Tabela 7). Ao comparar o adicional Controle Composto por Dunnett a 5% de probabilidade, verificou-se que a associação de 50%:50% (FNB:SFT), SFT aplicado de forma LOC, mostrou-se diferente estatisticamente e obteve o valor de 20,40 mg vaso⁻¹, máximo observado entre as médias de todos os tratamentos (Tabela 7).

O conteúdo de Ca, em mg vaso⁻¹, acumulado na matéria seca dos segmentos de tecidos avaliados não evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos ou formas de aplicação, e não foram observadas diferenças nos testes de comparação com os adicionais por Dunnett.

Tabela 7. Conteúdo de P e Ca em folhas e ramos tenros pertencentes aos 6 últimos nós do ramos ortotrópico de duas plantas de cafeeiro, aos 92 DAT.

Associação de fontes de P ₂ O ₅	Fósforo			Cálcio		
	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
	FNB/SFT (%)	HVT ² LOC ³		HVT	LOC	
		 mg vaso ⁻¹		 mg vaso ⁻¹		
100/00		15,20 14,30	14,75	116,67	113,80	115,25
75/25		15,30 17,03	16,17	107,30	117,20	112,25
50/50		15,50 20,40 *	17,97	123,10	106,93	115,02
25/75		12,47 15,87	14,17	110,30	101,13	105,72
00/100		10,50 13,80	12,15	90,67	93,30	91,98
Média		13,79 b 16,28 a		109,61 ns ¹	106,47	
Controle composto *			12,00			82,93
Controle absoluto +			14,37			83,54
CV (%)		21,56		20,97		

¹ não significativo. ² HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³ LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias marcadas com asterisco (*) diferem do tratamento Controle Composto e médias marcadas com mais (+) diferem do tratamento Controle absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.2 Características de solos

Inicialmente foi realizada a análise de correlação entre as características de solos para P-rem, P resina e P Mehlich 1, com os dados referentes às posições PBFC e também para a PCV (Tabela 8). Para a posição PBFC, as correlações mostraram-se fracas entre as características P-rem e P resina; moderada entre P-rem e P Mehlich 1; e moderada entre P Mehlich 1 e P resina. Entretanto, para as características na posição PCV, houve forte correlação entre todas elas (DEVORE, 2008).

Tabela 8. Coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores p (p) entre as variáveis P resina, P-rem e P Mehlich 1, para as posições PBFC e PCV

	PBFC			PCV		
	Coeficiente de correlação de Pearson (<i>r</i>)					
	P resina	P-rem	P Mehlich 1	P resina	P-rem	P Mehlich 1
P resina	1	0,46 *	0,57 *	1	0,91 *	0,96 *
P-rem		1	0,68 *		1	0,95 *
P Mehlich 1			1			1
	PBFC			PCV		
	Valor <i>p</i>					
	P resina	P-rem	P Mehlich 1	P resina	P-rem	P Mehlich 1
P resina	1	0,00047	0,00029	1	6,5 10 ⁻¹⁵	1,6 10 ⁻²⁰
P-rem		1	4,5 10 ⁻⁶		1	1,8 10 ⁻¹⁹
P Mehlich 1			1			1

Asterisco (*) correlação significativa. PBFC = local de amostragem do solo na posição borda fora do centro do vaso e PCV=local de amostragem de solo na posição centro do vaso

4.2.1 Características químicas para a posição PCV aos 92 dias

4.2.1.1 Forma de aplicação LOC na posição PCV

Não foram identificadas alterações de pH em água em função das associações de fontes de P ou formas de aplicação; porém, houve diferenças significativas para as características P-rem, P Mehlich 1 e P resina (Tabela 9).

Os valores de P extraído por Mehlich 1 em função do % SFT ajustaram-se ao modelo quadrático, com ponto de máxima em 68,29 % de SFT correspondente a 704,11 mg dm⁻³ de P Mehlich 1 (Figura 8) aos 92 dias após a aplicação de forma LOC do SFT na posição PCV.

Para P resina, o % SFT que correspondeu ao máximo valor de P disponível foi 67,24 %, e nesse ponto retornou como correspondente o valor de 345,6 mg dm⁻³ de P, ou seja, máximo valor de P disponível aos 92 dias após a aplicação do SFT de forma LOC na posição PCV (Figura 8). Para % SFT = 0, a equação retornou como P disponível o valor de 150,27 mg dm⁻³, muito próximo ao calculado pelo extrator Mehlich 1, e, da mesma forma, valor superior ao nível crítico estabelecido em função do P-rem para mudas e substratos (PREZOTTI, 2001), estimado para P resina em 117,9 mg dm⁻³ de P (Equação 2), considerando P-rem=8,86 (Tabela 1).

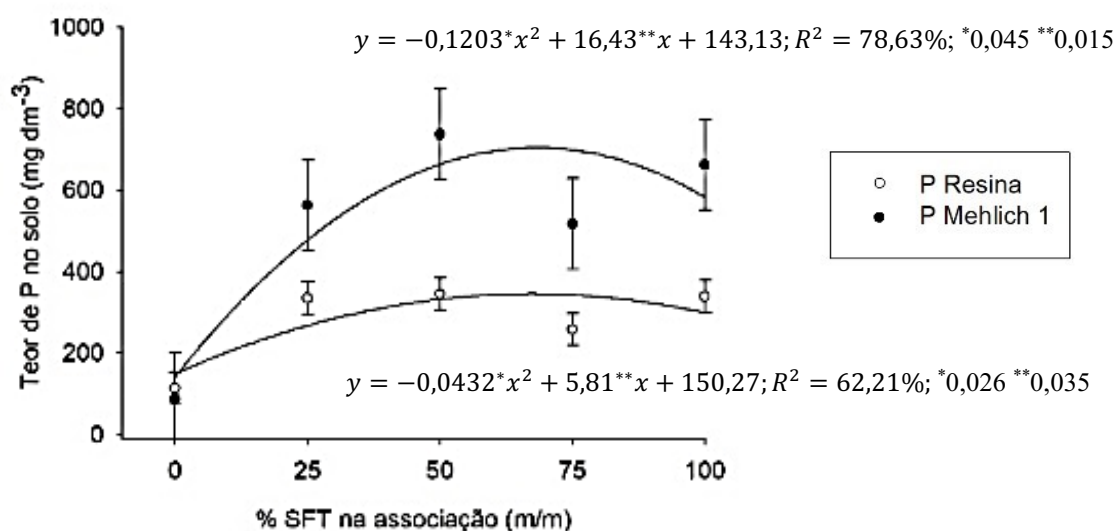


Figura 8. Teor de P disponível pelos extratores Mehlich 1 e resina para a posição centro do vaso (PCV) na posição LOC aos 92 DAT

Tabela 9. Médias dos parâmetros de solo, pH em água, P-rem, P Mehlich 1, P resina , na posição PCV aos 92 DAT.

Associação de fontes de P ₂ O ₅	pH água			P-rem			P Mehlich 1			P resina			
	FNB/SFT (%)	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
		HVT ²	LOC ³		HVT	LOC		HVT	LOC		HVT	LOC	
					 mg L ⁻¹			 mg dm ⁻³			 mg dm ⁻³		
100/00	5,76	5,76	5,76 ns ¹	8,13 b	7,22 b B		68,83 b	88,92 b B		75,37 b	114,53 b		
75/25	5,68	5,87	5,77	7,23 b	26,44 a AB * +		51,46 b	562,92 a AB * +		117,67 b	335,86 a * +		
50/50	5,8	5,99	5,89	7,81 b	40,70 a B * +		31,61 b	737,10 a A * +		108,96 b	345,48 a * +		
25/75	5,85	5,87	5,86	6,76 b	33,89 a AB * +		25,59 b	517,53 a AB * +		95,87 b	259,03 a * +		
00/100	5,81	6,03 *	5,92	6,54 b	50,55 a A * +		16,94 b	662,12 a A * +		55,10 b	339,37 a * +		
Média	5,78 ns ¹	5,9											
Cont. Composto*			5,1			6,68			44,91			65,67	
Cont. Absoluto +			5,83			4,86			53,47			78,58	
CV (%)		6,39											

¹ não significativo. ²HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias marcadas com asterisco (*) diferem do tratamento Controle Composto e médias marcadas com mais (+) diferem do tratamento Controle Absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade

Pela equação que representa a reta, determinaram-se os valores mínimos de P-rem, $12,94 \text{ mg L}^{-1}$ e uma evolução nessa característica para o máximo de $50,58 \text{ mg L}^{-1}$ para % SFT aplicado de 100% de forma localizada (Figura 9), que representa o efeito da saturação dos sítios de adsorção de P proporcionado pela aplicação localizada do SFT.

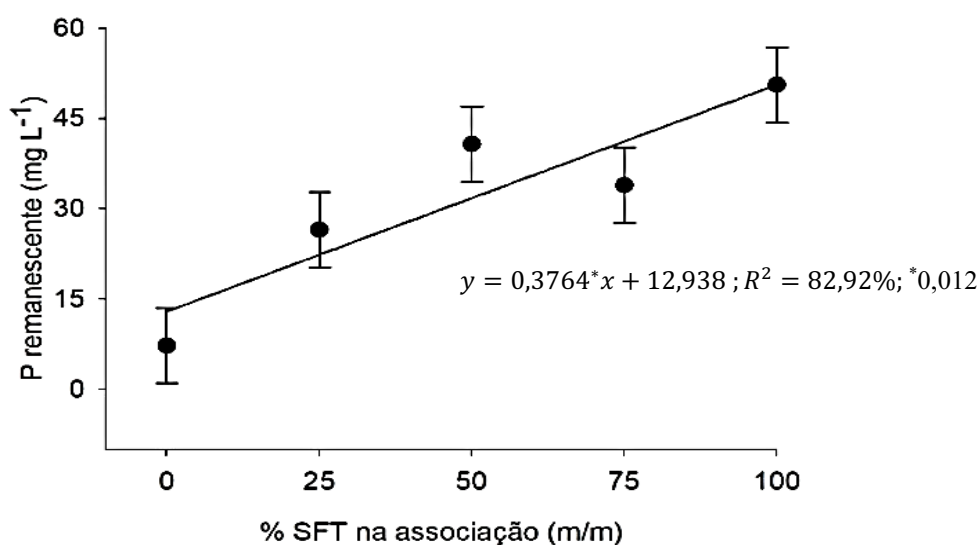


Figura 9. P-rem em função do % SFT na associação de fontes de P, aplicado de forma LOC, na posição PCV aos 92 DAT

4.2.1.2 Forma de aplicação HVT na posição PCV

Ao analisar as curvas que representam o teor de P disponível pelos extratores, observa-se que Mehlich 1 apresentou resposta linear decrescente, obtendo-se o valor máximo em %SFT = 0; substituindo na equação descrita para P Mehlich 1 (Figura 10), retornou o valor de $64,82 \text{ mg dm}^{-3}$.

À medida que se aumentou o % de SFT na associação com FNB, houve redução dos teores de P disponível até o valor mínimo para a relação 0:100 (FNB:SFT), retornado o valor $12,94 \text{ mg dm}^{-3}$ de P.

Os valores de P disponível fornecidos pelo extrator P resina apresentaram resposta quadrática (Figura 10). Pela equação, o valor 43,59 % de SFT retornou o máximo teor de P no solo, e, pela simples substituição, retornou o valor de $115,78 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, muito próximo do nível crítico calculado, que foi estimado em $117,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Equação 2) para mudas e substratos (PREZOTTI, 2001). Em contrapartida, para % SFT = 0, o valor retornado na Figura

10 foi de 78,73 mg dm⁻³ de P. À medida que se aumentou o % de SFT na associação com FNB, houve redução dos teores de P disponível até o valor mínimo para a relação 0:100 (FNB:SFT), retornado o valor 53,73 mg dm⁻³ de P pelo extrator resina.

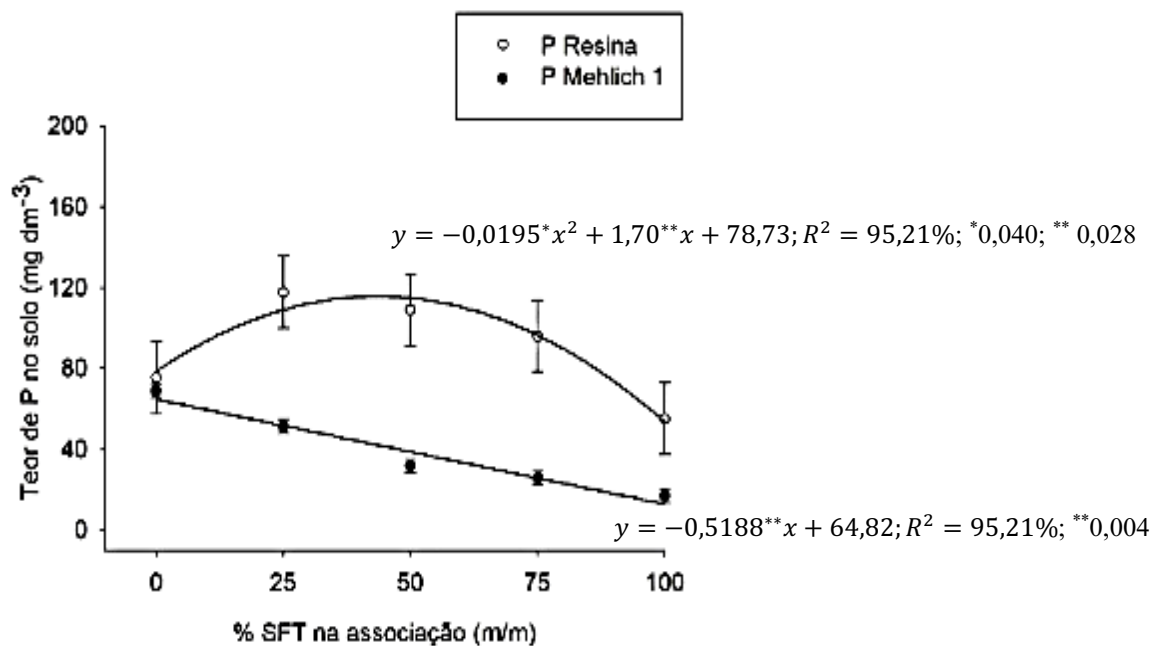


Figura 10. Teor de P disponível pelos extratores Mehlich 1 e resina, para a forma de aplicação LOC do SFT na posição PCV aos 92 dias após o transplântio das mudas (DAT).

Para a característica P-rem, não foi observada diferença significativa entre as associações de fontes de P e as formas de aplicação HVT na posição PCV(Figura 11).

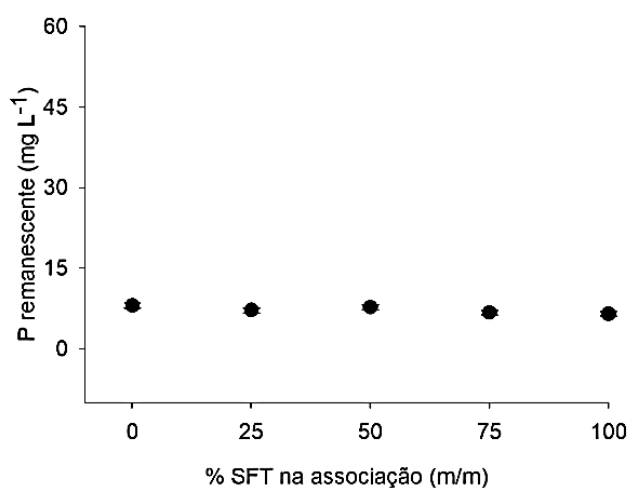


Figura 11. P-rem em função do % SFT, na posição PCV, forma de aplicação HVT.

4.2.2 Características químicas para a posição PBFC aos 92 dias

Ao correlacionar pela Tabela 8 as características P-rem e P disponível pelos extratores Mehlich 1 e P resina posição PBFC, foi observada moderada correlação entre P disponível entre os dois extratores, com valor de coeficiente de Pearson $r = 0,57$; moderada correlação entre P disponível por Mehlich 1 e P-rem; e baixa correlação entre P-rem e P resina (DEVORE, 2008).

Para P-rem, houve diferença significativa entre as formas de aplicação, valores de 7,29 e 6,39 mg L⁻¹ para formas de aplicação HVT e LOC respectivamente, porém com amplitude de variação baixa, 0,9 mg L⁻¹ (Tabela 10). Ribeiro et al. (1999) interpretam a disponibilidade de P pelo extrator Mehlich 1 nos solos de acordo com o teor de argila ou pelo valor do P-rem. Nessa classificação, os valores de P-rem 7,29 e 6,39 mg L⁻¹ estão contidos dentro da mesma faixa de apreciação, valores entre 4 a 10 mg L⁻¹, indicando pouca importância para a diferenças encontradas entre as formas de aplicação LOC e HVT, todavia com possibilidade de representar reflexos da ocupação de sítios de adsorção em função da aplicação das fontes de P fertilizantes

Tabela 10. Médias dos parâmetros de solo , pH em água, P-rem, P Mehlich 1, P resina , na posição PBFC, aos 92 DAT.

Associação de fontes de P ₂ O ₅	pH água			P-rem			P Mehlich 1			P resina		
FNB/SFT (%)	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média	Aplic. SFT		Média
	HVT ²	LOC ³		HVT	LOC		HMT	LOC		HVT	LOC	
				 mg dm ⁻³			 mg dm ⁻³			 mg dm ⁻³		
100/00	5,76	6,18 +	5,97	8,13 * +	6,96	7,54	68,83 * +	54,25 * +		75,37	132,47 +	103,92 ns ¹
75/25	5,68	6,05 +	5,86	7,23 * +	6,59	6,91	51,46 * +	53,17 * +		117,67 +	87,93	102,8
50/50	5,8	5,99 +	5,90	7,81 * +	6,54	7,18	31,61 * +	27,23		108,96 +	71,86	90,42
25/75	5,85	5,90	5,88	6,76	5,88	6,32	25,59	19,02		95,87	85,07	90,47
00/100	5,81	5,75	5,78	6,54	6,00	6,27	16,94	25,37		55,11	101,6	78,35
Média	5,78	5,97		7,29 a	6,39 b		38,88	35,81		90,6	95,79	
Controle Composto *			5,54			5,26			4,15			53,43
Controle Absoluto +			5,33			5,25			2,43			9,00
CV (%)	4,41			12,05			33,64			46,89		

¹ não significativo. ²HVT: aplicação do SFT realizada de forma homogênea em todo o volume de solos. ³LOC: aplicação do SFT realizada de forma localizada. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ³ médias em asterisco (*) diferem do tratamento Controle Composto e médias marcadas mais (+) diferem do tratamento Controle Absoluto, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.2.2.1 P Mehlich 1, P resina e P-rem para formas de aplicação HVT e LOC na posição PBFC

Pela Tabela 10, não foram observadas diferenças entre as formas de aplicação HVT e LOC e entre as associações de fontes de P. Para os dados retornados de P disponível pelo extrator Mehlich 1, houve resposta como uma função quadrática, com ponto máximo para 0% SFT na associação, provavelmente pela menor fixação de P em função da fonte FNB predominante nesse ponto, retornado pela Equação $64,03 \text{ mg dm}^{-3}$. Notou-se a resposta da fonte FNB em fornecer P com o tempo, neste estudo 122 dias após a aplicação do fosfato natural.

O valor mínimo obtido pela derivada da equação que estima o teor de P no solo (Figura 12) igual a zero remete ao valor de 109 para o % de SFT na associação com o FNB, valor esse irreal. Ao empregar o valor 100% de SFT na associação, temos como valor de P disponível $20,22 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse valor é inferior ao nível crítico para mudas e substratos, conforme descrito por Prezotti (2001), e mostra o poder tampão para P que o solo possui.

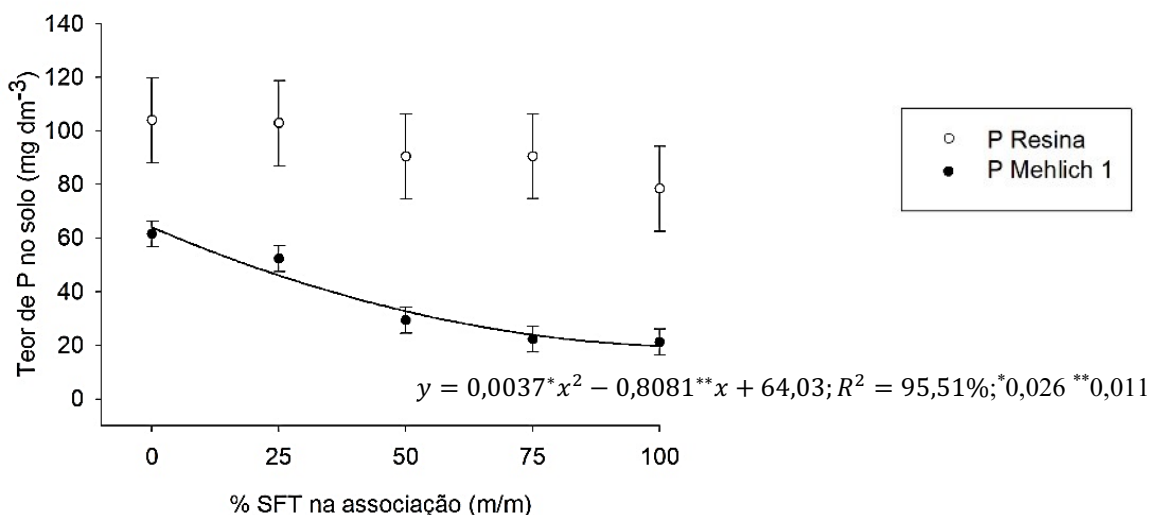


Figura 12. Teores de P disponível, pelos extratores Mehlich 1 e resina, na posição PBFC e formas de aplicação HVT e LOC, em função do % SFT aos 92 DAT.

Não houve diferenças significativas para a característica P-rem na posição PBFC para todos os tratamentos, independentemente do % SFT na associação e formas de aplicação LOC e HVT (Figura 13).

Em relação ao Controle Composto, foram percebidas diferenças significativas de P disponível para as associações 100%:0% e 75%:25% (FNB:SFT) para as formas HVT e LOC, o que mostra a importância da aplicação das fontes minerais com solubilização de P tardias no

solo, como é o caso dos FNR, para a elevação do P disponível para as culturas em fases mais avançadas ou mesmo para planejamento de sistemas agrícolas de longo prazo. Porém, deve-se atentar para suprir com fontes prontamente disponíveis às necessidades pontuais das culturas, pelo uso de fontes de alta disponibilidade atual.

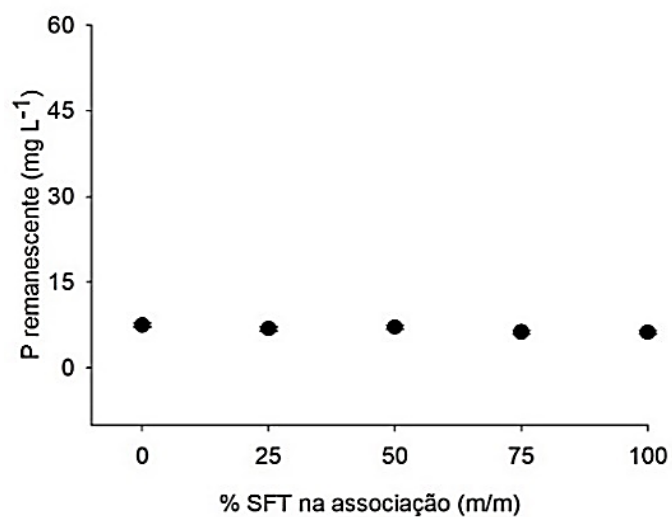


Figura 13. P-rem em função do % SFT na posição PBFC e formas de aplicação HVT e LOC.

5 DISCUSSÃO

5.1 Características de planta

5.1.1 Crescimento e desenvolvimento das mudas

Aos 92 dias após o transplante das mudas para os vasos, não foram observadas diferenças significativas para as características incremento de altura de plantas (Δh), incremento no diâmetro de caule ao nível do solo (Δd) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (NNP). Assis et al. (2009) avaliaram duas fontes de P, super fosfato simples (SFS) e um produto formulado com microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha, nas doses de 25, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e não observaram diferenças significativas entre os tratamentos para a característica diâmetro do caule, com avaliações realizadas aos 60 e 120 dias após o transplantio das mudas, corroborando os resultados obtidos pelo presente estudo. Portanto, a característica diâmetro do caule pode não ser uma variável importante para a fase inicial do desenvolvimento da plantas no campo e devem ser consideradas outras variáveis de forte correlação com características desejáveis.

Os mesmos autores ao avaliarem altura de plantas aos 60 e 120 dias após o transplantio das mudas, observaram diferenças significativas à medida que aumentaram as doses de P₂O₅, todavia não foi observado efeito entre as fontes. Os dados do presente estudo foram analisados de forma diferente do proposto por Assis et al. (2010), pois estudou-se o incremento na altura de plantas (Δh), ou seja, o quanto as plantas cresceram entre as leituras inicial em 03/03/2021 e a realizada aos 92 DAP, em 28/05/2021.

Apesar de serem os dois trabalhos com *Coffea arabica* L. algumas diferenças são importantes entre os estudos, pois foram diferentes as cultivares, Catuaí Amarelo IAC 62 *versus* Guará; o volume de solos nos vasos, 5 dm³ *versus* 50 dm³; e um terceiro fator, a época de transplante das mudas, uma vez que no presente estudo foi realizado em 26/02/2021, tardia para a região do Cerrado, visto que normalmente os plantios no campo realizam-se a partir de novembro, em plena estação de chuvas. Pela análise dos dados médios de temperaturas máximas e mínimas, e precipitação pluvial por mês em Patos de Minas-MG, observou-se após o transplantio das mudas a ocorrência de queda das temperaturas médias mensais máximas e mínimas e regime hídrico de pouca chuvas, totalizado 153,2 mm somente entre março e junho (Figura 1). Essas diferenças, genética e ambiental, podem promover respostas diferentes para as características relacionadas à morfologia de plantas, entre elas a altura de plantas, NNP.

Uma característica interessante é o número de nós nos ramos plagiotrópicos (NNP), mesmo não observada diferença significativa aos 92 DAT no presente estudo (Tabela 4). O tratamento 50%:50% (FNB:SFT), forma de aplicação do SFT localizada, apresentou diferença significativa em relação ao Controle Composto pelo teste de Dunnett® a 5% de probabilidade (Tabela 4).

Diferente do diâmetro do caule, NNP tendem a responder aos tratamentos com valores ampliados na medida em que há maiores intervalos de tempo entre o transplante e a contagem da variável, ou seja, mais tempo para a planta crescer e desenvolver. Silva et al. (2009), ao avaliarem o efeito de altas doses de fósforo, 0, 9, 18, 36, 72, 144, 288 g planta⁻¹ de P₂O₅, em cafeeiro cultivar Rubi MG-1192 com seis anos de idade, 2778 plantas ha⁻¹, no crescimento vegetativo dos ramos plagiotrópicos e dos teores de nutrientes do primeiro e terceiro pares de folhas, concluíram que o aumento do número de internódios esteve relacionado com a elevação dos teores de cálcio nas folhas do terceiro par de folhas e que as doses de fósforo testadas não afetaram significativamente os teores desse elemento no 1º e 3º par de folhas. Foram observadas diferenças significativas para o teor de Ca entre as associações de fontes de P e formas de aplicação do SFT (Tabela 5), porém não se percebeu o mesmo em relação ao NNP.

Ao avaliarem o número de folhas em mudas de café aos 60 e 120 dias após o transplante, Assis et al. (2009) não encontraram diferenças entre os tratamentos aos 60 dias, porém aos 120 dias identificaram quatro classificações distintas para as médias, pela comparação de médias pelo teste Tukey ($p < 0,05$), podendo ser uma variável com potencial de avaliação para estudos futuros.

5.1.2 Teor

As associações das fontes de P (Tabela 5) não promoveram diferenças significativas em relação ao teor de fósforo nos tecidos vegetais analisados, entretanto, promoveram diferenças para as formas de aplicação do SFT, com valores médios de 1,55 g kg⁻¹ para a forma LOC e 1,35 g kg⁻¹ para a forma HVT. O tratamento de relação de 50%:50% (FNB:SFT), com SFT aplicado de forma LOC, mostrou-se com valor médio de 1,85 g Kg⁻¹ de P, diferente estatisticamente pelo teste Tukey a 0,05 de significância em relação aos dois tratamentos adicionais Controle Composto e Controle Absoluto (Tabela 5).

As diferenças significativas entre as associações de fontes de P, para o teor de Ca nos tecidos avaliados, independentemente da forma de aplicação HVT ou LOC, de certa forma é lógico, uma vez que o FNB contém 28,43% de Ca (m/m) (Tabela 2). Os dados mostraram que

o aumento da participação de FNB nas associações de fontes de P promoveram aumento dos teores de Ca, com valores máximos para a média da associação 100%:0% (FNB:SFT) de 11,13 g kg⁻¹ de Ca e mínimo de 9,45 para 0%:100% (Tabela 5)

Em relação ao Controle Composto, observaram-se diferenças para Ca para todas as associações de fontes com aplicação de forma HVT, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância, indicando que o Ca tem como origem principal o FNB e que o composto orgânico utilizado não participou de forma significativa nessas respostas.

Carmo et al. (2014) observaram que ao aplicar 400 mg kg⁻¹ de P os teores de Ca²⁺ do solo aumentaram em 4,0 e 1,2 cmol_c dm⁻³, para o SFS e TM, respectivamente, em comparação com o controle. Os teores de Mg²⁺ no solo aumentaram de 1,0 para 2,2 cmol_c dm⁻³ quando comparados ao controle, com o aumento da dose de P de 200 para 400 mg kg⁻¹, quando a fonte foi o TM. As alterações dos teores de Ca e Mg interferiram na relação Ca/Mg do solo, que aumentou de 6,1 para 10 para o SFS, e reduziu para 1,7 para o Termofosfato magnésiano (TM). O desbalanço no fornecimento de Ca e de Mg pode ainda afetar a absorção de K e N-amoniacal pelas plantas, de modo que o suprimento desbalanceado desses cátions deve ser considerado.

5.1.3 Matéria seca

Carmo et al. (2014) ao estudarem as respostas de doses de P para as fontes superfosfato simples (SFS), termofosfato magnésiano (TM) e um fosfato natural (FN) no crescimento do cafeeiro e disponibilidade de P em mudas de café recém transplantadas observaram aos 92 DAT diferenças significativas para matéria seca parte da aérea para fontes de P, todavia não significativas para doses. Verificaram que houve aumento nos valores de matéria seca total (MST) em função dos teores de P disponíveis no solo, onde fontes de baixa solubilidade em água, como FN e TM, ajustaram-se ao modelo matemático do tipo quadrático, com ponto de máxima produção de MST em 9,7 e 13,8 g vaso⁻¹, respectivamente, aos 92 dias. Para a fonte de alta solubilidade em água, o SFS, os dados ajustaram-se ao modelo do tipo exponencial, com produção máxima de 13,7 g vaso⁻¹ para a dose de 400 mg kg⁻¹. Os valores de médias entre os tratamentos não foram estatisticamente diferentes pelo teste F a 0,05 de significância (Tabela 6); no entanto, esses valores foram obtidos da parte aérea de duas plantas (Figura 4), sem a contribuição do sistema radicular, não avaliada, pois pretende-se, futuramente, estender o estudo até a primeira colheita significativa e, por isso, conforme dito anteriormente, os vasos não foram destruídos para avaliação do sistema radicular.

5.1.4 Conteúdo

A característica conteúdo ou acúmulo de nutrientes na matéria seca dos tecidos vegetais é calculado em função do teor do nutriente e da massa seca de referência (Equação 4). São dependentes da relação entre as variáveis e, da mesma forma que o teor, não foram observadas diferenças entre as associações das fontes de P, porém houve diferença significativa entre as formas de aplicação. Para a forma de aplicação LOC, a média obtida entre as associações de fontes de P foi de 16,28 mg vaso⁻¹ de P, e para a forma de aplicação HVT, 13,79 mg vaso⁻¹ de P (Tabela 7). O P tem como principal processo de absorção pela planta a difusão, ou seja, quanto maior a concentração de P próximo às raízes, mais facilidade de absorção. Ao comparar o adicional Controle Composto por Dunnet a 5% de probabilidade, verificou-se que a associação de 50%:50% (FNB:SFT), SFT aplicado de forma LOC, mostrou-se diferente estatisticamente e obteve o valor máximo das médias de todos os tratamentos e de valor 20,40 mg vaso⁻¹ (Tabela 7).

A característica conteúdo de Ca, em mg vaso⁻¹, acumulado na matéria seca dos segmentos de tecidos avaliados, não se mostraram com diferenças significativas entre os tratamentos e formas de aplicação, e não foram observadas diferenças nos testes de comparação com os adicionais por Dunnet a 5% de probabilidade.

5.2 Características de solo

As aplicações das cinco associações de fontes de P e formas de aplicação promoveram alterações químicas em características do solo. No entanto, ao analisar os dados para as formas de aplicação, observou-se na Tabela 8 que as correlações entre as características de solos P-rem, P resina e P Mehlich 1, na posição PBFC, mostraram-se baixas entre P-rem e P resina; moderadas entre P-rem e P Mehlich 1; moderadas entre P Mehlich 1 e P resina. Entretanto, houve forte correlação na posição PCV entre todas (DEVORE, 2008).

Carmo et al. (2014), estudando crescimento de mudas de cafeeiro recém plantadas em relação a efeito de fontes e doses de 200 e 400 mg dm⁻³ de P, observaram que no tocante ao controle, todas as fontes de P utilizadas promoveram diminuição do pH do solo, com exceção do termofosfato magnésiano, que elevou o pH para valores além do tecnicamente recomendado para a cultura, justificado pelo autor em função da reação alcalina do fertilizante no solo, em razão de ânions de silicato de Ca²⁺ ou Mg²⁺ contidos no adubo.

Apesar disso, não foram observadas alterações significativas em pH independentemente das associações entre as fontes de FNB e SFT, bem como dos modos de aplicação do SFT no presente estudo (Tabelas 10). Korndörfer et al. (1999), ao avaliarem a eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho, não observaram alterações significativas nos valores de pH, nem mesmo quando se utilizaram os fosfatos naturais nas doses mais elevadas de P_2O_5 (400 kg ha^{-1}).

O estudo está segmentado entre as formas de aplicação LOC e HVT, para as análises de amostras de solos retiradas na posição centro do vaso (PCV) (Figura 14), pois foram diferentes estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de significância, embora o mesmo não tenha ocorrido para a posição PBFC.

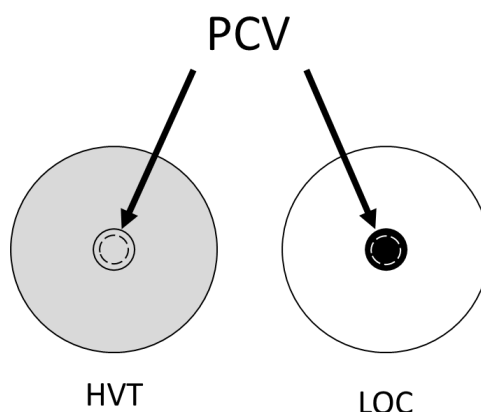


Figura 14. Identificação dos pontos de coleta de solo na posição PCV para as formas de aplicação do SFT nas formas de aplicação: HVT (homogêneo em volume total de solo) e LOC (localizado no centro do vaso) para a fonte SFT.

5.2.1 Características químicas para a posição PCV aos 92 dias

Houve de forma intencional variação temporal de 30 dias entre as formas aplicação do SFT, HVT e LOC, pois no campo é dessa maneira que é comumente realizada. Os insumos calcário, composto orgânico e fertilizantes fosfatados são aplicados com antecedência em relação à data do transplântio, misturados de forma homogênea ao volume de solos trabalhado. Essa forma de implantação favorece um maior contato entre o íon fosfato e a superfície dos colóides. Fontes de P com alta solubilidade em água como o SFT são rapidamente adsorvidas e há uma consequente redução de sua disponibilidade inicial para as mudas de café. O P já nas primeiras horas depois de aplicado no solo tende a precipitar-se com Fe, Al e Mn, ou ainda ser

adsorvido pela superfície das argilas e dos óxidos de Fe e Al, formando compostos de menor solubilidade, consequência da mineralogia e pH desses solos (RESENDE; FURTINI NETO, 2007; NOVAIS et al., 2007; NICHIO, 2015).

De acordo com a Tabela 9 e Figura 8 para a posição PCV, independentemente do método de extração para predição de P disponível, todas as associações de fontes com aplicação do SFT de forma localizada apresentam valores acima de nível crítico conforme Prezotti (2001), calculados para a fase de mudas e substrato os valores de 98,84 e 117,9 mg dm⁻³ para P extraído por Mehlich 1 e resina, respectivamente. Porém ao analisar a 100%:0% (FNB:SFT), SFT = 0%, observa-se P disponível aos 122 dias após a aplicação do FNB com valores de Mehlich 1 de 88,92 mg dm⁻³ e para resina 114,53 mg dm⁻³, muito próximos aos níveis críticos calculados. Entretanto, não se pode garantir que ocorrerá o suprimento de P às plantas de café em intervalos de tempo menores, daí a importância de se associarem fontes de solubilidades contrastantes com formas de aplicações adequadas, respeitando suas características e necessidades de plantas.

Não foram identificadas alterações de pH em água em função das associações de fontes de P e formas de aplicação do SFT; logo, as respostas em solubilização do FNB aplicado em volume total de solo não podem ser em função da acidez gerada da hidrólise do SFT no solo, mesmo ao concentrar o SFT em volume restrito de solo (Tabela 9).

5.2.1.1 Forma de aplicação LOC na posição PCV

Barrow (2015) discorre em seu estudo que o declínio da eficácia do fertilizante fosfatado com o tempo quase sempre é visto em termos negativos, como “fixação” do fosfato e como um “problema” a ser evitado ou contornado, mas, na maioria das vezes, sem sucesso. No entanto, esse declínio é causado pela penetração de íons fosfatos nos colóides do solo e essas partículas não são drenos infinitos. O acúmulo de cargas negativas pode ser a limitação mais importante para o processo de saturação de um colóide.

Esse efeito de acúmulo de cargas negativas pode ser notado com a elevação das concentrações de P provocadas pelo incremento do % SFT nas associações aplicado de forma LOC na posição PCV, fazendo com que ocorra a elevação dos valores de P-rem, indicando uma possível saturação de uma parte dos sítios de adsorção do solo ou uma diminuição na "energia de ligação" do P do solo descrita por Novais et al. (2007). A determinação do fósforo remanescente (P-rem) fornece uma medida da quantidade de P que permanece em equilíbrio na solução em resposta à concentração de P adicionado ao solo. À medida que se aumentou a concentração de SFT no volume de solos de 1,2 dm⁻³, as respostas do P-rem foram lineares e

positivas, com valor mínimo de 12,94 mg L⁻¹ para 100%:0% (FNB:SFT) e máximo de 50,58 mg L⁻¹ para 0%:100% (FNB:SFT), aplicado de forma localizada (Figura 9).

Essa resposta nos mostra que pode haver um efeito residual interessante para P disponível e, nesse caso, a fixação foi um fenômeno não evitado e sim contornado. Precisa-se verificar fatores de plantas que comprovem o fornecimento de P pelo tratamento para um intervalo de tempo maior, entre eles o desenvolvimento do sistema radicular, NNP, produção, etc.

As concentrações de P aplicadas inicialmente provenientes do SFT ao volume restrito de solo de 1,2 dm³ foram: 0; 5.208; 10.417; 15.625 e 20.833 mg dm⁻³ de P₂O₅, para 0; 25; 50; 75 e 100 % de participação do SFT na associação com o FNB, respectivamente. Novais et al. (2007) afirmam que alguns solos do bioma Cerrado apresentam condições extremas de intemperismo e são fortes drenos de P. Para torná-los fontes, são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados. Solos como esses podem adsorver mais de 2 mg cm⁻³ de P, ou seja 4580 mg dm⁻³ de P₂O₅.

As doses aplicadas do SFT na forma LOC foram suficientes para suprir o dreno solo em função da elevação do P-rem e manter o P disponível por mais tempo na região aplicada (Tabela 9). Após 92 dias da aplicação, os valores extraídos por Mehlich de P disponível em função do % SFT ajustaram-se ao modelo matemático do tipo quadrático, com ponto de máxima de 68,29 % para o % SFT na associação de fontes de P, e ao substituir esse valor na equação para Mehlich 1 (Figura 8) tem-se como resposta 704,11 mg dm⁻³ de P, ou seja, máximo valor de P disponível aos 92 dias após a aplicação de forma LOC do SFT, na posição PCV. Ao comparar com os valores iniciais aplicados, observa-se ainda redução muito forte dos valores aplicados e observados por Mehlich, porém como observado pelo aumento dos valores de P-rem, pode-se esperar efeito residual interessante para culturas perenes.

Para a relação 100%:0% (FNB:SFT), aos 122 dias depois de sua aplicação (30 dias de incubação somados a 92 dias após transplante das mudas) na dose de 25 g vaso⁻¹ de P₂O₅, ou 500 mg dm⁻³ de P₂O₅, encontraram-se valores de P disponível em função da equação característica para o extrator Mehlich 1 (Figura 8) de 143 mg dm⁻³ de P, valor superior ao nível crítico para mudas e substratos, que foi calculado de 98,84 mg dm⁻³ de P para o extrator (Equação 1) (PREZOTTI, 2001), para P-rem de 8,86 (Tabela 1). Observa-se pela Tabela 9 que o tratamento 100%:0% (FNB:SFT) apresenta valor médio de 88,92 mg dm⁻³, não diferente estatisticamente do Controle Composto, logo não se pode afirmar que houve efeito de solubilização do FNB. Também não se pode afirmar que a aplicação de fontes de alta

disponibilidade de P como é característico do SFT é desnecessária para atender ao nível crítico inicial da cultura.

A aplicação localizada do SFT apresentou após 92 dias efeito residual e diferente estatisticamente dos Controles Composto e Absoluto, porém não foram observadas diferenças entre os controles.

5.2.1.2 Forma de aplicação HVT na posição PCV

Ao analisar as curvas que representam o teor de P disponível pelos extratores, observa-se que Mehlich 1 apresentou resposta linear decrescente, obtendo-se o valor máximo em % SFT = 0; a substituição na equação descrita para P Mehlich 1 (Figura 10) retorna o valor de $64,82 \text{ mg dm}^{-3}$, inferior ao nível crítico para mudas e substratos calculado em $98,84 \text{ mg dm}^{-3}$ P, em função do P-rem de 8,86 (Tabela 1) (PREZOTTI, 2001).

Os valores de P disponível dados pelo extrator P resina apresentaram resposta quadrática (Figura 10). Pela equação, o valor 43,59 % de SFT retorna como % de SFT, que apresenta o máximo teor de P no solo; pela simples substituição, retorna o valor de $115,78 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, muito próximo do nível crítico calculado, que foi estimado em $117,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Equação 2) para mudas e substratos (PREZOTTI, 2001).

Em contrapartida, para proporção 100%:0% (FNB:SFT), o valor retornado pela Figura 10 foi de $78,73 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, inferior ao nível crítico estabelecido para mudas e substratos (PREZOTTI, 2001), embora com valor muito próximo ao obtido pelo extrator Mehlich 1, $68,83 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, ou seja, após 4 meses de aplicado o FNB os extratores apresentaram respostas similares com relação à solubilização de P proveniente do FNB, sem observar superestimação dos resultados por Mehlich 1 devido ao seu caráter ácido.

Para a característica P-rem não foi observada diferença significativa entre as associações de fontes de P e formas de aplicação HVT e LOC (Figura 11).

Carmo et al. (2014), comparando fontes em doses de 200 e 400 mg dm^{-3} de P_2O_5 em vasos aos 92 DAT, entre elas fontes solúveis em água, SFS, e com pouca solubilidade TM e FN, verificaram que os teores de P disponíveis no solo ajustaram-se ao modelo matemático do tipo quadrático. Nesse modelo quadrático, independentemente da fonte utilizada, houve acréscimos nos teores de P disponível no solo com aumento da dose de P aplicada, e essa resposta deve-se à diminuição da adsorção do P em colóides do solo, à medida que a sua concentração é aumentada (WHALEN e CHANG, 2002; CARMO et al., 2014). Apesar do

estudo não ter avaliado doses de P_2O_5 , observou-se para incrementos de P solúvel aplicados de forma HVT um declínio dos valores de P disponível para SFT (Figura 12), sendo necessário elevar realmente as doses aplicadas para o atendimento do nível crítico para P caso ocorresse o transplântio no momento da coleta de solos estudada,

À medida que se aumentou o % de SFT na associação com FNB, houve redução dos teores de P disponível até o valor mínimo para a relação 0:100 (FNB:SFT), retornado o valor $12,94 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, muito abaixo do nível crítico inicial. Em função do resultado, mostra-se o efeito dreno do solo em adição de fontes de alta solubilidade em água em curto espaço de tempo.

Corroborando o raciocínio anterior, para a característica P-rem não foi observada diferença significativa entre as associações de fontes de P e formas de aplicação HVT na posição PCV (Figura 11). A determinação do fósforo remanescente (P-rem) fornece uma medida da quantidade de P que permanece em equilíbrio na solução em resposta à concentração de P adicionado ao solo. Aqui observa-se que da forma tradicional após 92 DAT não houve sinais de alterações de saturação de parte dos sítios de adsorção do solo ou uma diminuição na "energia de ligação" do P do solo descrita por Novais et al. (2007), ou seja, solo apresentando caráter dreno, sendo necessárias altas doses de P para torná-lo fonte.

5.2.2 Características químicas para a posição PBFC aos 92 dias

Para a posição PBFC, houve moderada correlação entre o P disponível retornado pelos extratores Mehlich 1 e resina, apresentando coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,57$ (Tabela 8) para valor p de 0,00029 (DEVORE, 2008).

Pela Figura 12, percebe-se que à medida que ocorre o aumento do % de SFT na associação de fontes, há redução dos valores de P disponível de forma decrescente para Mehlich 1. Essa resposta está associada a dois fatores: o primeiro devido ao caráter imóvel de P, uma vez que nos tratamentos em que se aplicou o SFT na forma LOC foram encontrados elevados teores de P disponível na posição PCV (Tabela 9, Figura 8) e baixos teores na posição PBFC (Tabela 10, Figura 12), resposta obtida devido ao local de aplicação do SFT ser deslocado 10 cm do ponto de amostragem (Figura 15). O segundo fator é devido ao favorecimento dos processos de adsorção de P provocados pela forma de aplicação HVT, em que todas as fontes, inclusive o SFT, foram aplicadas e misturadas de forma homogênea em todo o volume de solos, 30 DAT. Esse processo maximiza o contato direto entre o P disponível e os colóides do solo, favorecendo a transformação de P para formas não lábeis.

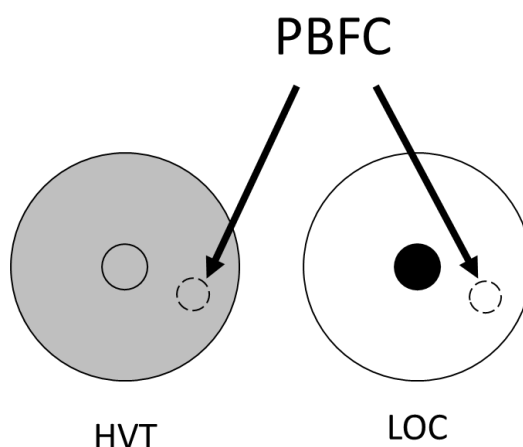


Figura 15. Identificação dos pontos de coleta de solo na posição PBFC para as formas de aplicação do SFT nas formas de aplicação: HVT (homogêneo em volume total de solo) e LOC (localizado no centro do vaso)

Os dois fatores juntos são refletidos nos valores de P disponível percebidos pelo extrator Mehlich 1, para a posição PBFC, com valores máximos de 64,03 e mínimos de 20,22 mg dm⁻³ de P (Figura 12) para as formas de aplicação LOC e HVT, uma vez que não houve diferenças significativas entre as formas de aplicação

Logo, quando se distribui os fertilizantes aplicados a todo o volume de solos de forma homogênea, como se realiza comumente os plantios no campo pelos produtores, os dados nos mostram que os valores para P disponível após 122 dias ficam muito abaixo do desejado e conclui-se que a maior parte do P adicionado se transformou em formas não labéis, independentemente da fonte (Tabela 10).

Carmo et al. (2014) observaram valores superiores de P disponível do fosfato natural de baixa reatividade, 24% P₂O₅ total e 4 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% em relação aos verificados para as fontes termofosfato magnesiano (TM) e SFS. Segundo os autores, o extrator Mehlich 1, por ter caráter ácido, possui a capacidade de solubilizar fosfato de Ca, que aparentemente não é disponível para as plantas durante o ciclo de crescimento. Com isso, pode-se superestimar os teores de P disponíveis em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais.

Para o extrator resina não foram observadas diferenças significativas nas médias de P pelo teste F a 0,05 de significância, entre os tratamentos na posição PBFC (Tabela 10), porém os valores em módulo em função do % SFT são sempre acima do extraído por P Mehlich 1.

Duarte et al. (2015) ao estudarem 4 relações de fosfato natural reativo de Daoui (FND)

e SFT, em dois tipos de solos, Latossolo e Argissolo, observaram valores maiores em módulo para o P resina em relação ao P Mehlich 1 para ambos solos e, segundo os autores, somente o extrator resina foi eficiente para estimar a disponibilidade de P para as plantas no segundo cultivo nas condições do experimento.

Korndörfer; Lara-Cabezas e Horowitz (1999) ao verificarem a eficiência agrônômica de FNR na cultura do milho observaram que a extração de P pelo método da resina foi em média 17% superior ao extraído pelo método de Mehlich 1. Os coeficientes de determinação (r^2) obtidos da relação entre a produtividade de grãos e os teores de P no solo extraído pelos métodos Mehlich-1 e Resina foram 0,50 e 0,77, respectivamente. Segundo os autores, esses valores indicam claramente a superioridade do método da resina sobre o método Mehlich 1 em estimar a quantidade de P disponível no solo para o milho. Como não há disponíveis dados de produtividade no presente estudo, não se pode afirmar o mesmo em relação à superioridade entre os métodos de extração.

Segundo Sousa; Nunes, Rein (2019), deve-se considerar na utilização de fosfatos naturais reativos o extrator para análise de P no solo, uma vez que: no primeiro ano, após a aplicação desses produtos, o extrator Mehlich 1 e resina, utilizado na maioria dos laboratórios, superestimam a disponibilidade de P, pois solubilizam parte do fertilizante ainda não dissolvido no solo, resultando em teores mais altos. Esse problema desaparece quando se completa a dissolução, o que ocorre já a partir do segundo ou terceiro ano após a aplicação desses produtos, a longo com incorporação. Entretanto, é possível ter uma avaliação da disponibilidade de P do solo quando se utiliza aplicação anual de FNR, empregando-se o extrator Bray-1, cuja capacidade de extração de P de solos adubados com fosfatos solúveis em água é semelhante ao do Mehlich-1, porém não superestima P da fonte FNR.

6 CONCLUSÃO

Não houve prejuízos em crescimento e desenvolvimento de plantas provocados pela alteração da forma padrão de fertilização de P no sulco para o plantio do café, que se dá pela aplicação de fontes de alta solubilidade em CNA+ÁGUA, incorporadas e homogeneizadas em volume total de solos.

A aplicação localizada do superfosfato triplo promove alterações benéficas no ambiente ao qual é aplicado, com aumento significativo nas características P remanescente e P disponível por Mehlich 1, e resina, aos 92 dias após o transplante das mudas de café, indicando poder residual de P disponível às mudas.

Para a relação 50% fosfato natural reativo de Bayovar aplicado de forma homogênea em volume total de solo e 50% superfosfato triplo aplicado de forma localizada a 10 cm da muda, foram observadas diferenças significativas aos 92 dias após transplante das características de planta: teor, conteúdo e número de nós nos ramos plagiotrópicos em relação ao Controle Composto, sem aplicação das fontes fosfato natural reativo de Bayovar e superfosfato triplo.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Rafael Tadeu de. **Fontes e doses de fósforo na formação de mudas e produção do cafeeiro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-20092010-101132/pt-br.php>. Acesso em: 27 ago. 2021.

ASSIS, R. T.; FAVARIN, J. I.; NETO, A. P.; TEZOTTO, T.; ALVES, A. L. G. Resposta de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*) a fontes de fósforo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., **Anais [...]**. Vitória, 2009. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio6/381.pdf. Acesso em: 02 ago. 2021.

BALDOINO, Rogério de Oliveira. **Concentração do fosfato de Bayóvar: aspectos fundamentais e tecnológicos**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://doi:10.11606/T.3.2017.tde-01092017-152739>. Acesso em 20 set. 2021.

BARROW, N. J. Soil phosphate chemistry and the P-sparing effect of previous phosphate applications. **Plant and Soil**, v. 397, n. 2, p. 401-409, 2015. Disponível em: www.jstor.org/stable/43872883. Acesso em: 27 ago. 2021.

BELISLE, C. J. P. Convergence theorems for a class of simulated annealing algorithms on Rd. **Journal of Applied Probability**, v. 29, n. 4, p. 885-895. 1992. DOI: <http://doi:10.2307/3214721>.

BINDRABAN, P. S.; DIMKPA, C. O.; PANDEY, R. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 299-317, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>

BONFIM-SILVA, E. M.; DOURADO, L. G. A.; SOARES, D. C.; SANTOS, T. M.; SILVA, T. J. A. S.; FENNER, W. Reactive Natural Phosphate in Safflower Fertilization in Cerrado Oxisol. **The Journal of Agricultural Science**. v. 11, n. 15, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n15p135>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/SDA/CGAL, 220 p., 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-_in-5_-analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

BÜLL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Soils and Plant Nutrition. Sci. Agric.* Piracicaba, v. 61 n. 5, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000500009>

CARMO, D. L., TAKAHASHI, H. Y. U., SILVA, C. A., GUIMARAES, P. T. G. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, abr./jun. 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8028>. Acesso em 10 jun. 2021.

CECAFÉ - Conselho dos exportadores de café do Brasil. **Exportações Brasileiras**: relatório mensal dezembro 2020. São Paulo, 2021. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/CECAFE_Relatorio_Mensal_DEZEMBRO_2020.pdf. Acesso em: 26 jun. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: Safra 2021, 1º Levantamento. Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 10 jul. 2021.

DEVORE, J. L. **Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias**. Tradução de Jorge Romo. 7. ed. Cidade de México: Cengage Learning Editores. 720 p. 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/36482260/Probabilidad_y_Estadistica_para_Ingenieria_y_Ciencias_Jay_Devore_Septima_Edicion. Acesso em 30 jul. 2021.

DIAS, K. G. L.; NETO, A. E. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.; OLIVEIRA, C. H. C. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 2, p.110-120, mar./abr., 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000200002>

DUARTE, R. F.; SANTANA, C. S.; FERNANDES, L. A.; SILVA, I. C. B.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. Phosphorus availability from natural and soluble phosphate sources for irrigated corn production. *African Journal of Agricultural Research*. v. 10, n. 32, p. 3101-3106, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2014.9300>

FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; PINTO, J. M.; GOMES, T. C. A. Efeito de fosfatos naturais em plantas de melão cultivadas em vasos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 6, p. 1083-1091, dez. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600018>

FONTOURA, S. M.; VIEIRA, R. C.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MORAES, R.P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1907-1914, dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600015>

FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LÉON, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fósforo natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p.1092-1099. set. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000900004>

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 97-102, 1984. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/16573/10853>. Acesso em 15 abr. 2021.

IFDC - The International Fertilizer Development Center. **Feed the future soil fertility technology (SFT) adoption, policy reform and knowledge management project**. Semi-annual performance report April 1, 2018. Setembro, 2018. Disponível em: <https://ifdc.org/wp-content/uploads/2020/04/BFS-SFT-Semi-Annual-2018-1.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

KORNDORFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000200019>

NICHIO, B. **Eficiência agronômica e fontes alternativas de fósforo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12223#:~:text=para%20este%20item%3A-https%3A/repositorio.ufu.br/handle/123456789/12223,-Tipo%20do%20documento>. Acesso em: 15 jul. 2021.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: 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, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, L. E. Z. **Biodisponibilidade de fósforo residual em diferentes manejos de solo e adubação de solo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1093462>. Acesso em: 27 ago. 2021.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território Café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032011000300010>

PEREIRA, J. B. M.; GOMES, T. C. A. **Níveis críticos de fósforo para alguns solos do Acre**. Embrapa Acre, Porto Velho, n.139, p.1-2, dez. 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/492656/1/pesquisa139.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PREZOTTI, L. C. **Sistema de recomendação de corretivo e de fertilizantes para a cultura do café arábica**. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/390>. Acesso em 27 jun. 2021.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Editora Ceres. Potafos. Piracicaba. 1991. 343p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing. R FoundATion for Statititcal Computing**. Vienna, Austria; 2016. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em 30 mai. 2021.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 32 p. – (Documentos /Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 195). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/28917/1/doc_195.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, D. S. Are reactive rock phosphate and superphosphate mixtures suitable for no-till soybean? **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1455-1460, jul./ago. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0115>

SÁ JÚNIOR, A. de. **Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3076>. Acesso em: 27 ago. 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J.C. de; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SANTOS, W. O.; MATTIELLO, E. M.; BARRETO, M. S. C.; CANTARUCCI, R. B. Acid Ammonium Citrate as P Extractor for Fertilizers of Varying Solubility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180072>

SCHOLZ, R. W.; WELLMER, F-W. Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: what we may learn from the case of phosphorus? **Global Environmental Change**. v. 23, n. 1, p. 11-27, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.013>

SILVA, A. P.; SANTOS, C. S.; LEITE, M. R.; OLIVEIRA, M. D.; SILVA, L. R.; GRATIERI, L. A.; BREGAGNOLI, M.; FIGUEIREDO, F. C. Efeito de diferentes dosagens de fósforo no crescimento vegetativo e teores de nutrientes no 1º e 3º pares de folhas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em Monte Belo-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., **Anais [...]**. Vitória, 2009. Disponível em: <http://sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2955/363.pdf;sequence=1>. Acesso em 10 jul. 2021.

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; REIN, T. Manejo de fósforo em sistemas de cultivo na região de Cerrado. In: SEVERIANO, E. C.; MORAIS, M. F.; PAULA, A. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 10, p. 239-282, 2019.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>. Acesso em: 26 jun. 2021.

VINHAL-FREITAS, I. C.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, B. Influence of Phosphorus and Carbon on Soil Microbial Activity in a Savannah Agroecosystem of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 9, p. 1291-1302, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.666304>

VOLSI, B.; TELLES, T. S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. **The dynamics of coffee production in Brazil**. PLoS ONE 14(7): e0219742. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>

WHALEN, J. K.; CHANG, C. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n.7-8, p. 1011- 1026, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120003870>