

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS

**POTENCIAL DO EXTRATOR MEHLICH-3 NA AVALIAÇÃO DA
DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE DIFERENTES SOLOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R375p
2016

Reis, Josimar Vieira dos, 1990-
Potencial do extrator Mehlich-3 na avaliação da
disponibilidade de fósforo de diferentes solos / Josimar Vieira
dos Reis. – Viçosa, MG, 2016.
x, 66f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Victor Hugo Alvarez Venegas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.55-64.

1. Fertilidade do solo - Teor de fósforo. 2. Recuperação da
terra. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
II. Título.

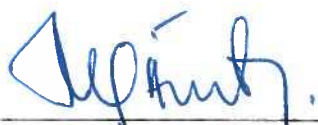
CDD 22. ed. 631.422

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS

**POTENCIAL DO EXTRATOR MEHLICH-3 NA AVALIAÇÃO DA
DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE DIFERENTES SOLOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

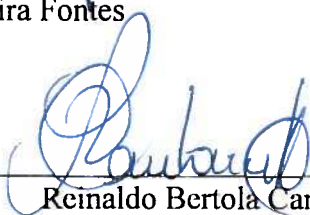
APROVADA: 03 fevereiro de 2016.



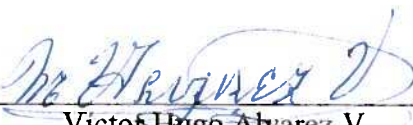
Maurício Paulo Ferreira Fontes



Roberto de Aquino Leite



Reinaldo Bertola Cantarutti
(Coorientador)



Victor Hugo Alvarez V.
(Orientador)

Aos meus pais, João Batista e Mariza.

Às minhas irmãs, Renata e Alessandra.

À Mariana e sua família.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre guiou meus passos e me deu força em todos os momentos.

Aos meus pais que proporcionaram todas as condições para que eu chegasse até aqui e, principalmente, por terem me educado a partir do exemplo de pessoas simples, honestas e trabalhadoras que são.

Às minhas irmãs que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando em todas as decisões e aos meus sobrinhos Andressa e Vítor por tornarem os dias em família sempre mais alegres.

Aos meus avós que influenciaram muito meu modo de enxergar o mundo e tiveram papel ativo em minha educação.

À Mariana pela paciência, apoio, cumplicidade e por sempre acreditar em mim e à sua família, que foi minha família em Viçosa, fazendo com que tudo fosse mais fácil.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pela oportunidade de realização do curso.

Agradeço ao Professor Vítor Hugo Alvarez V. pelos ensinamentos que foram além dos acadêmicos, pela confiança em mim depositada, pela orientação segura e pelo exemplo de comprometimento com o ensino e a pesquisa.

Aos professores do Departamento de solos, especialmente os professores Reinaldo Bertola Cantarutti, Júlio César Lima Neves, Leonardus Vergutz, Edson Marcio Mattiello, Maurício Paulo F. Fontes e João Carlos Ker pelos ensinamentos transmitidos durante o curso de Mestrado e graduação. Também aos demais professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, de modo especial ao Professor Fábio Murilo DaMatta e ao Professor Manoel Batista Grifo Cabral.

A todos os funcionários do Departamento de Solos que, direta ou indiretamente auxiliaram na condução deste trabalho e pelo agradável convívio, particularmente ao Carlos Fonseca, Jorge Orlando, Paulo, Írio, Júlio e ao grande amigo Geovani.

Aos amigos Álefe e Jailson pelo companheirismo, boas conversas, discussões e pelo bom convívio na república.

A todos os amigos que estiveram ao meu lado ao longo dessa caminhada, principalmente aos amigos de curso Geovani, Arlindo, Dionei, Rodrigo, Luis Carlos, Elias, Nicolás, Cileimar, Welldy, Júlia, Willian e Izabela pelas boas conversas e momentos de descontração. Ao Renan e ao Rodrigo pela grande ajuda nas análises. Aos amigos Carol e Lothar que sempre estiveram ao meu lado e da Mariana.

A todos que não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram pra que eu alcançasse esse objetivo.

BIOGRAFIA

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS, filho de João Batista dos Reis e Mariza Vieira Alves, nasceu em Manhuaçu – MG em 12 de Julho de 1990.

Cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual Padre Afonso Braz, em Pequiá, distrito de Iúna – ES e o Ensino Médio na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (EAFA), Alegre – ES, onde se formou como Técnico em Agropecuária, em Janeiro de 2009.

Em Março de 2009 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em Março de 2014.

Em Março de 2014, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Fósforo no solo	3
2.2. Avaliação da fertilidade do solo	5
2.3. Avaliação do P disponível	9
2.3.1. Mehlich-1	11
2.3.2. Resinas	12
2.3.3. Mehlich-3	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Respostas das plantas de milho à aplicação P	29
4.2. Teores de P disponível no solo e taxas de recuperação pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Mista	34
4.3. Correlações entre os teores de P disponível por cada extrator e o conteúdo de P na parte aérea das plantas de milho	39
4.4. Níveis Críticos de P no Solo	46
4.5. Classes de interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-3	52
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
7. ANEXO	65

RESUMO

REIS, Josimar Vieira dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Potencial do extrator Mehlich-3 na avaliação da disponibilidade de fósforo de diferentes solos.** Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Coorientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

A determinação do P disponível é realizada com o uso de diferentes soluções extratoras que apresentam diversas constituições químicas, variações na relação solo-extrator e mecanismos de extração. O extrator Mehlich-1 é utilizado no Brasil pela sua boa capacidade preditiva em solos ácidos, com baixa CTC, muito intemperizados, pobres ou sem formas de P ligado a Ca, condições que atualmente não estão mais presentes em grande parte dos solos cultivados no país. Neste sentido, mediante a hipótese de perda da capacidade preditiva do extrator Mehlich-1 nas atuais condições de uso do solo, o presente trabalho tem por objetivos determinar a disponibilidade de P no solo pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e Resina Mista (RM); determinar as taxas de recuperação (trP) e os níveis críticos de P (ncP) para os três extratores em diferentes solos; avaliar o potencial do Mehlich-3 prever a disponibilidade de P em solos cultivados; determinar modelos preditivos das trP e dos ncP para cada extrator e ajustar tabelas de interpretação da disponibilidade de P no solo pelo extrator M3. Os tratamentos foram gerados pelo fatorial 12×6, sendo 12 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, provenientes de áreas cultivadas e não cultivadas e seis doses de P (dP) (compostas por 80 % de Superfosfato triplo e 20 % de Bayóvar), aplicadas de forma localizada, em 10 % do volume de solo. As unidades experimentais foram constituídas de vasos plásticos com capacidade para 2,0 dm³, onde foram cultivadas quatro plantas de milho híbrido por 45 d em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. As dP foram aplicadas após a calagem e no momento da semeadura. Os demais nutrientes foram aplicados na forma de solução nutritiva durante o cultivo. Após o cultivo, foram determinados a produção de matéria seca (mMS-PA), o teor total de P (ttP-PA) e o conteúdo de P da parte aérea (cP-PA). Foram retiradas amostras de solo de todas as unidades experimentais após o cultivo para determinação dos teores disponíveis de P (tdP) pelos extratores. A amostragem foi realizada na parte superior média dos vasos, de modo a se obter uma amostra composta entre a região que recebeu o P de forma

localizada e a região que não recebeu P. As maiores mMS-PA foram obtidas nos solos coletados em áreas cultivadas e nos menos tamponados. Os maiores tdP foram obtidos com o extrator M1 (59,9 mg/dm³, contra 36,2 mg/dm³ do M3 e 35,7 mg/dm³ da RM), que também apresentou as maiores trP. Houve alta correlação entre o tdP pelos três extratores. A capacidade preditiva dos extratores M1 e M3 quanto à disponibilidade de P, medida pela correlação entre o tdP no solo e o cP-PA das testemunhas foram iguais ($r = 0,84^{**}$) e superiores à da Resina Mista ($r = 0,73^{**}$). Para os três extratores foram obtidos ncP semelhantes aos obtidos em trabalhos de calibração no campo. O P-rem e a proporção de argila foram as duas características relacionadas à capacidade tampão (CT) que melhor se correlacionaram às trP e aos ncP pelos extratores M1 e M3, com maiores correlações obtidas com o P-rem. A RM não apresentou sensibilidade à CT. Em função disso, foram propostas faixas de interpretação dos tdP-M3 em função das características proporção de argila e P-rem. Recomenda-se o Mehlich-3 como extrator do P disponível em solos com diferentes características, desde que se utilize uma medida da CT dos solos como o P-rem ou a proporção de argila.

ABSTRACT

REIS, Josimar Vieira dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Potential of Mehlich-3 extractant on the evaluation of phosphorus availability in different soils.** Adviser: Víctor Hugo Alvarez V. Co-adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti.

The determination of available P is performed with the use of various extracting solutions which have different chemical constitutions, varying in the soil-extractant ratio and in the extraction mechanisms. The Mehlich-1 extractant is used in Brazil as it presents a good predictive ability of P availability in acid soils, with low CEC, very weathered, poor or without P forms binded to Ca, conditions that are not anymore present in most of the cultivated soils in the country. Therefore, we hyphotize a loss in the predictive capacity of the Mehlich-1 extractant on current land use conditions. Thus, the present study aims to determine the availability of P in soils by Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) and Mixed Resin (MR) extractants; determine the recovery rates (Prr) and the P critical levels (Pcl) for the three extractants in different soils; evaluate Mehlich-3's potential to predict the availability of P in fertilized soils; determine predictive models of Prr and Pcl for each extractant and to adjust interpretation tables for the availability of P extracted by M3. The experiment is a factorial 12×6 ; with 12 soil samples at a depth of 0-20 cm, from cultivated and uncultivated areas and six rates of P (Pr) (composed of 80% of Triple Superphosphate and 20% Bayóvar), applied at a localized form, in 10% of soil volume. The experimental units consisted of plastic pots with a capacity of 2,0 dm³, where four plants of hybrid maize were grown for 45 d in greenhouse. The experimental design was a randomized block with four replications. The Pr were applied after liming and at the time of sowing. The other nutrients were applied as a solution during cultivation. After the cultivation, the production of shoot dry matter (Dm-S), P total content (Ptc-S) and shoot P content (Pc-S) were determined. Soil samples were taken from all experimental units after cultivation to determine the available P content (aPc) by the extractants. Sampling was conducted in the middle top of the pots, in order to obtain a sample that contains soil from the region that received P and the region that has not received P. Higher Dm-S were obtained in soils collected in cultivated areas and those with less buffering capacity (BC). The highest aPc was obtained with the extractor M1 (59.9 mg/dm³ against 36,2mg/dm³ of M3 and

35.7 mg/dm³ of RM) which also had the highest P_{rr}. There was high correlation between the aP_c with the three extractants. The prediction capacity of the extractors M1 and M3 for available P, calculated as the correlation between the aP_c in the soil and the cP-S of the control, were both equal ($r = 0,84^{**}$) and higher than the MR ($r = 0,73^{**}$). For the three extractants the cP was similar to those obtained in field experiments. The remaining P (rem-P) and clay content were the two features related to BC that best correlated with P_{rr} and P_{cl} of the extractors M1 and M3, with a higher correlation with rem-P. The MR showed no sensitivity to BC. As a result, interpretation ranges of aP_c-M3 based on the characteristics of clay content and rem-P are proposed. Thus, the M3 extractant is recommended to determine the available P in different soils, but it must be used a measure of the BC as the rem-P or clay content for the interpretation of the results.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da fertilidade do solo é fundamental para o uso adequado de corretivos e fertilizantes, de modo a obter altas produtividades, produtos com adequada qualidade biológica e garantir a proteção ambiental. A utilização correta destes insumos promove o uso adequado dos recursos naturais e econômicos e diminui os impactos ambientais negativos de seu uso indiscriminado.

As pesquisas em avaliação da fertilidade do solo englobam os processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes, com intuito de determinar a quantidade de nutrientes que se encontram em forma disponível no solo para as plantas e detectar a presença de outros fatores que limitam a produtividade (acidez, salinidade, presença de elementos em concentrações tóxicas) (Lopes e Carvalho, 1991; Cantarutti et al, 2007).

Em avaliação da fertilidade são realizados estudos de correlação e calibração de métodos de análise de solo e planta. Na fase de correlação são estudados diferentes métodos de extração e selecionados aqueles que melhor se correlacionam com o método padrão, que é a quantidade do nutriente absorvida e acumulada pela planta. A fase de calibração tem por objetivos definir as doses recomendáveis correspondentes ao nível crítico, as taxas de recuperação dos nutrientes pelos extratores e pelas plantas e os níveis críticos (Alvarez V., 1996).

Muito embora diversos trabalhos tenham sido realizados com diferentes nutrientes, solos e culturas, é importante que aspectos dinâmicos sejam dados à pesquisa de correlação e calibração de métodos de análise de solo, com esforços para melhorar a qualidade das recomendações de corretivos e fertilizantes mesmo em áreas onde os sistemas estejam implantados e funcionando a contento (Lopes e Carvalho, 1991).

O Brasil, devido a grande extensão territorial, apresenta ampla diversidade de solos com propriedades e características distintas. No entanto, de modo geral, os solos extensivamente utilizados na agricultura, são altamente intemperizados e de constituição mineralógica predominantemente caulínica/oxídica (Fontes e Weed, 1996), o que os torna, em condições naturais, ácidos, com baixa CTC, muito intemperizados, com elevada acidez trocável (Al^{3+}), baixa saturação por bases e baixo teor de P disponível (Lopes e Guilherme, 2007). Tais características fizeram da calagem e da adubação fosfatada, duas práticas essenciais à obtenção de altas produtividades nestes solos.

Devido ao elevado poder de adsorção e fixação de P na grande maioria dos solos desenvolvidos em climas tropicais, este nutriente se torna o mais limitante da produção vegetal nessas regiões. Isto ocorre não apenas pela deficiência natural desses solos em P, mas também pela dificuldade de fertilização com este nutriente, dada à forte competição entre solo e planta pelo P (Novais e Smyth, 1999).

O extrator Mehlich-1 é utilizado no Brasil pela sua boa capacidade preditiva em solos ácidos, com baixa CTC, muito intemperizados, pobres ou sem formas de P ligado a Ca (P-Ca). Essas condições, no entanto, atualmente não estão presentes em grande parte dos solos cultivados no país, devido ao aumento no uso de insumos como fertilizantes, calcário e fosfatos naturais que incrementam formas de P-Ca no solo, aumentam a CTC, diminuem a acidez do solo e, portanto, colocam à prova a capacidade do Mehlich-1 em prever de forma satisfatória a disponibilidade de P.

Neste sentido, para testar a hipótese de perda da capacidade preditiva do extrator Mehlich-1 nas atuais condições de uso do solo e que, nestas condições, o extrator Mehlich-3 é mais adequado, o presente trabalho teve por objetivos determinar a disponibilidade de P no solo pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Mista; determinar as taxas de recuperação e os níveis críticos de P para o extrator Mehlich-3; avaliar o potencial do Mehlich-3 prever a disponibilidade de P em solos cultivados; determinar modelos preditivos dos níveis críticos e taxas de recuperação de P para cada extrator e ajustar tabelas de interpretação da disponibilidade de P no solo pelo extrator Mehlich-3.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fósforo no solo

O P é um dos nutrientes que mais limita a produção vegetal em solos de regiões de clima tropical, devido ao elevado poder de adsorção e fixação de P na grande maioria destes solos (Novais e Smyth, 1999). A adsorção ocorre por reações químicas e físico-químicas em interfaces, desta forma, o P (adsorvato) adsorvido a superfícies de óxidos de Fe e Al (adsorvente), por exemplo, representa o P lábil (disponível para a planta) enquanto a fixação indica P não lábil, ou seja, que não se encontra mais em equilíbrio com o P da solução do solo (Alvarez V., 1982).

A difusão é o principal mecanismo de transporte do P no solo até as raízes das plantas (Braidá et al., 1996; Novais e Mello, 2007) onde é o nutriente absorvido nas formas aniônicas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} e assimilado nos compostos orgânicos como PO_4^{3-} . Na planta, o P é constituinte dos ácidos nucleicos, fosfolipídios, proteínas, éster fosfato, dinucleotídeos e adenosina trifosfato (ATP), fazendo parte da maioria dos processos metabólicos como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia (Dechen e Nachtigall, 2007).

As bases para conceituação dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q), Capacidade Tampão de fosfatos ($\Delta Q/\Delta I$, ou CT) e difusão foram desenvolvidas, principalmente, entre as décadas de 1950 e 1970 (Larsen, 1952; Olsen, 1952; Schofield, 1955; Beckett e White, 1964; Beckwith, 1965; Holford e Mattingly, 1979) e são essenciais para compreensão do comportamento da planta em diferentes solos, dos extratores do P disponível, e das interdependências e equilíbrios do P no sistema solo-planta (Bahia Filho, 1974, 1982).

O fator I de P é expresso pela sua concentração, atividade ou potencial na solução do solo. A concentração de P na solução do solo para adequado crescimento das plantas varia conforme a CT, desde 0,2 mg/L de P para solos com baixa CT, até valores menores que 0,05 mg/L em solos com grande CT. No entanto, em solos com maior CT, há intensa reposição do P na solução do solo pelo P adsorvido (Novais e Smyth, 1999).

O fator Q corresponde ao P lábil, que se encontra adsorvido, mas disponível para as plantas. Portanto, para fins práticos diz-se que o P disponível corresponde à soma de I e Q, (praticamente Q, por ser a magnitude de I muito menor que de Q). Embora, em alguns casos, os valores de P disponível por determinado extrator seja considerado

como fator Q, na maioria das vezes, o P extraído é apenas uma fração desse fator que apresenta estreita correlação com alguma variável de crescimento e produção das plantas (Bray, 1948; Novais e Smyth, 1999). Desta forma, o fator Q é estimado de forma mais adequada utilizando-se técnicas de diluição isotópica como a determinação do Fósforo Isotopicamente Trocável, pelo valor E e valor L (Becket e White, 1964; Alvarez V., 1974). O fator Q também pode ser determinado por meio de cultivos sucessivos, até o esgotamento do P disponível (Novais, 1977).

A Capacidade Tampão (CT) pode ser entendida como a resistência do solo às alterações no fator I (pela adição ou subtração de P da solução do solo). Desta forma, para aumentar a disponibilidade de P em solos com alta CT, é necessário utilizar doses mais elevadas de P em relação a solos com baixa CT. Contudo, solos com maior CT mantem mais constante a atividade de P na solução do solo, e nestes solos há uma tendência de melhor eficiência na utilização do P pelas plantas (Novais e Smyth, 1999).

Os métodos de análise buscam, de modo geral, determinar o fator Q, por ser o fator que explica a maior parte das respostas das culturas em relação à disponibilidade de P (Dalal e Hallsworth, 1976; Raij, 1978). Contudo, quando são comparados solos com diferentes CT é necessário conhecer alguma medida que se correlacione com a CT, principalmente para extratores sensíveis à CT (Cabala e Wild, 1982).

No solo, o P pode ser adsorvido por óxidos de Fe e Al, por minerais de argila silicatados, pela matéria orgânica e precipitar com as formas iônicas de Fe e Al em solos ácidos, ou com Ca em solos não muito ácidos, formando compostos pouco solúveis (Novais e Smyth, 1999). Em Latossolos brasileiros, a adsorção de fosfatos está intimamente relacionada à mineralogia (Fontes e Weed, 1996), com a hematita, a goethita e a gibbsita sendo os principais minerais envolvidos neste fenômeno. A adsorção por óxidos de Fe e Al e por aluminossilicatos ocorre de forma semelhante. Inicialmente há uma rápida adsorção de P ao solo, devida à atração eletrostática e, posteriormente, ocorre adsorção por meio de troca de ligantes (quimiossorção), caracterizada por uma ligação covalente (adsorção específica) (Novais e Smyth, 1999). A adsorção de P ao solo tende a ser máxima com valores baixos de pH, enquanto com o aumento do pH do solo ocorre uma diminuição na adsorção de P. Contudo, em condições de pH elevado há diminuição da forma H_2PO_4^- no solo em relação a HPO_4^{2-} , forma que é preferencialmente adsorvida ao solo, fazendo com que a relação entre o aumento do pH e a diminuição da adsorção de P ao solo não ocorra de forma tão direta (Vasconcelos et al., 1974).

A matéria orgânica pode aumentar ou diminuir a adsorção de P ao solo, embora grande parte dos trabalhos indique que o efeito principal do aumento da matéria orgânica no solo é a redução da adsorção de P, principalmente pelo fato de ácidos orgânicos liberados pela decomposição da matéria orgânica bloquearem sítios de adsorção presentes nos óxidos de Fe e Al e nos aluminossilicatos. O aumento da adsorção de P devido à matéria orgânica pode ocorrer por pontes de cátions, como Al, Fe e Ca que se encontram adsorvidos à matéria orgânica (Novais e Smyth, 1999).

Desta forma, a magnitude da adsorção de P irá depender, dentre outros fatores, da natureza do adsorvato ao qual o P se liga, do tempo de contato, da concentração de eletrólitos no meio, do pH e da temperatura (Alvarez V., 1982). A determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato de um solo (CMAP) é feita com a utilização de isotermas de adsorção. Os dados a serem ajustado às isotermas são obtidos pela adição de soluções com concentrações crescentes de P a subamostras de um solo e, após certo período de tempo de agitação, que é variável conforme o estudo (Novais e Smyth, 1999), é determinada a concentração de P na solução de equilíbrio. O P adsorvido é estimado pela diferença entre a concentração de P adicionada à amostra e a concentração na solução de equilíbrio.

É difícil separar a adsorção da precipitação do P com formas iônicas de Al, Fe e Ca no solo. Em solos pouco ácidos, que apresentam alto teor de Ca^{2+} natural ou proveniente de calagem, há formação de formas de P-Ca de menor disponibilidade para as plantas que as formas de P-Fe ou P-Al, formadas em condições ácidas (Novais e Smyth, 1999).

2.2. Avaliação da fertilidade do solo

A obtenção de altas produtividades na agricultura é dependente da atuação conjunta de diversos fatores relacionados ao clima, solo, planta, economia, dentre outros. No que se refere ao solo, a fertilidade é de fundamental importância por ser a propriedade pela qual o solo expressa sua capacidade em ceder nutrientes às plantas durante seu ciclo de vida (Raij, 1991; Alvarez V., 1996). Desta forma, a determinação da quantidade de nutrientes no solo que se encontram em formas disponíveis à absorção pelas plantas é um dos objetivos dos estudos em avaliação da fertilidade do solo. A análise química de solo para avaliação de sua fertilidade é um dos principais veículos de

transferência dos resultados de pesquisa na área de adubação de culturas para os agricultores (Silva e Raij, 1999).

As pesquisas em avaliação da fertilidade do solo englobam os processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes, com intuito não só de determinar a quantidade de nutrientes que se encontram em forma disponível para as plantas, mas também detectar a presença de outros fatores que limitam a produtividade (acidez, salinidade, presença de elementos em concentrações tóxicas) (Lopes e Carvalho, 1991; Cantarutti et al., 2007).

Operacionalmente, a avaliação da fertilidade do solo realiza estudos de correlação e calibração de métodos de análise de solo e planta. Na fase de correlação são estudados diferentes métodos de extração e selecionados aqueles que melhor se correlacionam com o método padrão, que é a quantidade do nutriente absorvida e acumulada pela planta. A fase de calibração tem por objetivos definir as doses recomendáveis correspondentes ao nível crítico, as taxas de recuperação dos nutrientes pelos extratores e os níveis críticos (Alvarez V., 1996).

A disponibilidade dos nutrientes e sua dinâmica no contínuo solo-solução-planta é governada por processos complexos, principalmente se considerarmos que as plantas não se comportam como agentes passivos quanto à aquisição dos nutrientes do solo, pois elas utilizam diferentes mecanismos como acidificação da rizosfera, associação com fungos micorrízicos, síntese e liberação de fosfatases, para aumentar a eficiência em obter os nutrientes adsorvidos ao solo (Cantarutti et al., 2007). Desta forma, a determinação da disponibilidade de um nutriente no solo por um método de análise não pode ser interpretada de maneira simples, por ser um valor empírico que, em muitos casos, não reflete a real disponibilidade do nutriente no solo (Alvarez V., 1996).

Os trabalhos de correlação de análise química do solo, por motivos de praticidade e economia, são geralmente realizados em casa de vegetação, com grande número de solos com características diferentes (Sims e Johnson, 1991). Estes trabalhos têm por objetivo comparar métodos existentes quanto sua eficiência em prever a disponibilidade de um nutriente para determinada cultura, ou a eficiência de novo método proposto.

Um ponto importante nesta etapa é que os métodos de análise sejam padronizados desde a amostragem e preparo das amostras de solo e de planta até a definição do método de dosagem, para que seja obtida exatidão nos estudos de

correlação (Alvarez V., 1996). Fato corroborado por Santos et al. (2014), que observaram que grande parte do elevado coeficiente de variação dos teores de P disponível por Mehlich-1 entre laboratórios do Estado do Rio Grande do Sul (ROLAS-RS/SC, 2004) pode estar relacionado à falta de padronização no processo analítico, mesmo que os laboratórios utilizem o mesmo protocolo. O grau de moagem, velocidade de agitação, tempo de repouso e temperatura tem influência no teor de P extraído por Mehlich-3 e Mehlich-1 e há necessidade de uso de um mesmo tipo de frasco ou erlenmeyer para as extrações, uma vez que o volume vazio altera os teores de P extraídos por estes extratores (Santos et al., 2015).

A correlação expressa o grau de aproximação entre duas ou mais variáveis dependentes, já a calibração tem duas fases. Na primeira fase, se determina o valor de uma variável dependente (produção) em função de uma variável independente (doses do nutriente aplicadas ao solo) por meio de regressão e, em uma segunda fase, o valor da variável independente é estimado pela escolha do valor da variável dependente (produtividade desejada, por exemplo) (Alvarez V. 1996).

Para a calibração de análises de solo, o nível crítico é definido como o teor disponível de determinado nutriente no solo que condiciona a produção de máxima eficiência econômica, quando os demais nutrientes e se encontram em teores adequados no solo e todos os fatores de produção estão próximos do nível adequado (Alvarez V., 1996). De modo geral, os experimentos de calibração são realizados em campo, onde há integração de todos os fatores que influenciam na fertilidade do solo e na produção das culturas (Sims e Johnson, 1991), além de que, no campo, é possível determinar a dose do nutriente correspondente à máxima eficiência econômica. No entanto, se conduzidos em casa de vegetação, há possibilidade de realizar estudos mais detalhados quanto a variações dos níveis críticos e taxas de recuperação, pela utilização de maior número de solos (Souza, 1999), com economia de tempo e recursos (Novais et al., 1991).

A determinação de níveis críticos dos nutrientes no solo é amplamente estudada, principalmente para o P, que é o nutriente que possui maior número de pesquisas neste sentido (Novais et al., 1991; Beegle, 2005). No entanto, pela grande diversidade de extratores utilizados ainda há falta de consenso entre pesquisadores a respeito do tema, o que sugere a necessidade de estudos com isolamento dos fatores que influenciam a obtenção dos níveis críticos, estudar diferentes características de solo e ambiente e trabalhar com grande número de solos (Novais et al., 1991), o que pode ser conseguido de forma mais eficiente em estudos em casa de vegetação.

Em experimentos realizados em casa de vegetação, o nível crítico é definido como teor disponível de determinado nutriente no solo que condiciona 90 % da produção máxima, quando os demais nutrientes e condições se encontram em teores adequados no solo e todos os fatores de produção estão próximos do nível adequado (Alvarez V., 1996). Outra diferença em relação aos trabalhos desenvolvidos no campo é que os níveis críticos obtidos em experimentos em casa de vegetação são, de modo geral, maiores que aqueles obtidos no campo (Corrêa, 1991), impossibilitando extrapolar estes valores para condições de campo.

Contudo, em trabalho realizado em casa de vegetação, Leite et al. (2006) estudou a variação dos níveis críticos de P de acordo com diferentes formas de localização e de amostragem do solo para a cultura do milho em vasos. Foi observado que quando o P é localizado na parte central do vaso, simulando a cova no campo e quando a amostragem é realizada pela mistura da região da cova com a região do vaso que não recebeu P (metade superior do vaso), simulando a amostra composta realizada no campo, são obtidos níveis críticos de P compatíveis com aqueles obtidos em trabalhos de calibração realizados em condições de campo. Resultados semelhantes foram obtidos para a cultura da soja (Muniz, 1983) e do eucalipto (Leite et al., 2009).

Desta forma, a obtenção de elevados níveis críticos em casa de vegetação é consequência da dose de P ser aplicada no volume total de solo. Nesta condição, os níveis críticos só seriam compatíveis com os obtidos no campo se a amostragem no campo fosse realizada apenas na região da cova ou do sulco de plantio (Alvarez V., 1996). Assim, os níveis críticos são variáveis que dependem do método de extração, da cultura, das características do solo e também da forma de aplicação do nutriente e da forma de amostragem do solo (Alvarez V., 1996).

Portanto, a confiabilidade da interpretação e da recomendação de corretivos e fertilizantes depende, respectivamente, dos trabalhos realizados em correlação e calibração de métodos de análise de solo, ou seja, de quanto o método de análise empregado se aproxima da real disponibilidade do nutriente no solo e de como foram obtidos os níveis críticos, as taxas de recuperação e definidas as doses recomendáveis por determinado método para obtenção da máxima eficiência econômica (Alvarez V., 1996).

A análise química do solo, um dos procedimentos mais utilizados no Brasil para a avaliação da fertilidade do solo, é um método essencialmente empírico, em que os conhecimentos surgem a partir da observação de fenômenos e resultados de

experimentos (Cantarutti et al., 2007). Um programa de análise que vise além da avaliação, o melhoramento da fertilidade do solo, deve envolver algumas fases inter-relacionadas que sempre perpassam por trabalhos de pesquisa, o que mostra a necessidade de constante aprimoramento das técnicas já existentes (Fitts, 1974; Lopes e Carvalho, 1991).

2.3. Avaliação do P disponível

A determinação do P disponível é realizada com o uso de diferentes soluções extratoras que apresentam diversas constituições químicas, variações na relação solo-extrator (quadro 1) e mecanismos de extração (complexação, dessorção, solubilização, troca iônica ou hidrólise). Os resultados obtidos nas extrações fornecem valores que se situam entre I e Q, sendo que em alguns casos há extração de P não-lábil (Novais e Smyth, 1999).

O conceito de disponibilidade de um nutriente no solo foi proposto inicialmente por Bray (1948), segundo o qual, um extrator de P, por exemplo, apenas determina a disponibilidade de P em um solo se extrair total ou parcialmente, formas disponíveis dos nutrientes em solos com amplas variações em características e propriedades, e houver correlação entre o teor de P extraído do solo pelo extrator com alguma variável da planta que expresse seu crescimento e, ou, produção.

A grande diversidade de soluções extratoras para o P se deve ao fato de que a disponibilidade do nutriente para a planta, além de depender das características e propriedades dos diferentes solos, depende também da planta, do manejo da adubação, da associação das plantas com microrganismos, além de outros fatores ainda não elucidados (Novais e Smyth, 1999). Desta forma, existem dificuldades em desenvolver um extrator universal e as pesquisas devem ser realizadas buscando extratores que apresentem resultados satisfatórios para os solos e culturas de uma região.

Silva e Raij (1999) indicam que essa diversidade de extratores de P, além de ser reflexo da complexidade do comportamento do nutriente no solo, comprova a falta de concordância sobre qual método seria o mais adequado. Esta dificuldade decorre do fato do P se encontrar adsorvido aos colóides do solo com diferentes energias de ligação e formando compostos de baixa solubilidade (Pavinato e Rosolem, 2008; Rheinheimer et al., 2008). O desenvolvimento de extratores específicos para determinada forma de P no solo não é adequado, pois estas formas variam em importância para a disponibilidade de

P para as plantas conforme o solo, além de que os extratores de P não são totalmente específicos para uma determinada forma de P, extraíndo sempre parte de outras formas (Raij e Feitosa, 1980).

Quadro 1. Composição química e relação solo:extrator dos extratores de P disponível mais utilizados

Extrator	Composição	Relação solo:extrator	Referência
Ácido cítrico	Ácido cítrico a 10 g/L	1:10	Dyer (1894)
Bray-1	HCl 25 mmol/L + NH ₄ F 30 mol/L	1:10 ^{1/}	Bray e Kurtz (1945)
Bray-2	HCl 100 mmol/L + NH ₄ F 30 mmol/L	1:17 ^{1/}	Bray e Kurtz (1945)
CaCl ₂	CaCl ₂ 10 mmol/L		Schofield (1955)
Egner	Lactato de Ca 10 mmol/L + HCl 20 mmol/L	1:20	Egner et al. (1960)
IAC	H ₂ SO ₄ 25 mmol/L	1:10	Catani e Gargantini (1954)
Mehlich-1	HCl 50 mmol/L + H ₂ SO ₄ 12,5 mmol/L	1:4 ^{1/}	Melich (1953)
Mehlich-2	NH ₄ F 15 mmol/L + CH ₃ COOH 200 mmol/L + NH ₄ Cl 200 mmol/L + HCl 12 mmol/L	1:10	Melich (1978)
Mehlich-3	NH ₄ F 15 mmol/L + CH ₃ COOH 200 mmol/L + NH ₄ NO ₃ 250 mmol/L + HNO ₃ 13 mmol/L + EDTA 1 mmol/L	1:10	Mehlich (1984)
Morgan	CH ₃ COOH 540 mmol/L + NaC ₂ H ₃ O ₂ 700 mmol/L (pH = 8)	1:10	Morgan (1941)
Olsen	NaHCO ₃ 500 mmol/L (pH = 8,5)	1:20	Olsen et al. (1954)
Papel aniônico	Papel de filtro impregnado de Fe(OH) ₃	^{2/}	Van der Zee et al. (1987)
Resina	Resina de adsorção aniônica	-	Amer et al. (1955)
Resina	Resina mista (catiônica + aniônica)	-	Raij et al. (1986)
Truog	H ₂ SO ₄ 1 mmol/L + (NH ₄) ₂ SO ₄ (pH = 3,0)	1:100	Truog (1930)
Valor A	³² P	-	Fried e Dean (1952)
Valor E	Troca isotópica entre solo-P e ³² P	-	McAuliffe et al. (1948)
Valor L	Troca isotópica entre solo-P e ³² P avaliada por meio de planta	-	Larsen (1952)

^{1/} No Brasil, esses extratores têm sido utilizados numa relação solo:extrator de 1:10. ^{2/} 40,2 cm² de papel aniônico/2,5 cm³ de solo (Gjorup et al., 1993). Fonte: Adaptado de Novais e Smyth (1999).

Extratores que são constituídos por soluções diluídas de ácidos fortes como o H₂SO₄ 25 mmol/L (Catani e Gargantini, 1954) usado em laboratórios de rotina do Estado de São Paulo de 1965 até 1982 (Silva e Raij, 1999) Mehlich-1 (Mehlich, 1954) e o Mehlich-1 são importantes extratores utilizados no Brasil para avaliação da disponibilidade de P, sendo o Mehlich-1 o mais utilizado atualmente no Brasil. Os extratores Mehlich-1, Bray-1, e Olsen, são os mais utilizados no mundo (Corrales, 2013). Atualmente, no Brasil, são utilizados o M1 e a RM, sendo esta última utilizada oficialmente apenas no estado de São Paulo (Raij et al, 2001).

2.3.1. Mehlich-1

O extrator Mehlich-1 (HCl 50 mmol/L + H₂SO₄ 12,5 mmol/L) foi proposto inicialmente na década de 50 para extração de P, Ca, Mg, K, Na e NH₄ (Mehlich, 1953). Sua utilização como extrator oficial ocorreu em 1954 em laboratórios do Estado da Carolina do Norte (EUA) (Mehlich, 1984). O princípio da extração se baseia no fato de o SO₄²⁻ impedir a readsorção do P removido pelos íons H⁺ em solução (pH = 1,2) ao bloquear os sítios de adsorção de P (Mehlich, 1953; Nelson et al., 1953). A facilidade de extração, rapidez, baixo custo e obtenção de extratos límpidos (condição importante para determinação por espectrofotometria de absorção molecular), que permite eliminar o processo de filtração (Santos et al., 2014), constituem grandes vantagens na utilização do M1 (Rossi e Fagundes, 1998; Raij et al., 1984).

O Mehlich-1 quando utilizado em solos ácidos, com baixa CTC, muito intemperizados, pobres ou sem P-Ca, apresenta boa capacidade preditiva ($R^2 \geq 0,7$). No entanto, em solos argilosos, principalmente naqueles com pH elevado e com alto poder tampão da acidez, o pH inicial de 1,2 do Mehlich-1 é rapidamente elevado para valores de pH próximos ao do solo. Ao mesmo tempo, o SO₄²⁻ do extrator é também rapidamente adsorvido pelo solo em sítios de adsorção ainda não ocupados pelo P (Novais e Smyth, 1999; Silva e Raij, 1999; Bortolon et al., 2009). Nessas condições, o extrator perde seu poder de extração e são obtidos menores valores de P disponível e, portanto, de níveis críticos do que em solos onde o extrator sofre menor desgaste (solos mais arenosos e solos ácidos), o que não é um problema, mas sim uma característica do extrator.

Desta forma, quando o Mehlich-1 começou a ser utilizado em solos de pH neutros ou alcalinos de North Carolina e em solos em que o P disponível estava predominantemente na forma de apatita (P-Ca), foram observadas baixas correlações com crescimento e produção das plantas em estudos realizados em casa de vegetação e no campo (Mehlich, 1984). A partir de então, foram intensificados estudos para o desenvolvimento de novos extratores que culminaram com o desenvolvimento dos extratores Mehlich-2 e Mehlich-3.

A incorporação de novas áreas pobres em P para exploração agrícola, a disponibilidade de jazidas de fosfato natural no Brasil e as facilidades de importação de fosfatos naturais de maior reatividade têm estimulado o uso destes produtos nas últimas décadas (Novais e Smyth, 1999), sobretudo em solos cultivados sob o sistema de plantio

direto (Schlindwein e Gianello, 2008). Em função disso, diversos estudos foram realizados no país com vistas a avaliar o potencial de extração de P pelo M3 em comparação aos métodos atuais em uso (M1 e RM).

Pelo conhecimento de características que expressam a capacidade tampão (CT) do solo, como a capacidade máxima de adsorção de fosfatos, é possível estratificar a sensibilidade do extrator M1 à CT. Diversos trabalhos geraram funções que permitem encontrar o nível crítico de P de um solo por meio de características que expressam sua CT (Holford e Mattingly, 1979; Freire et al., 1985; Muniz et al., 1987; Neves et al., 1987; Alvarez V., 1982). A partir de estudos com S (Alvarez V., 1988) foi observado que ao se conhecer, por exemplo, a proporção de argila e, ou, P-rem é possível calcular o valor de S e P relativo, que é o teor do nutriente em relação ao seu nível crítico no solo, o que permite classificar os teores de P disponível dentro de classes de P-rem (Alvarez V. et al, 2000).

Solos menos intemperizados, ricos em Ca^{2+} , ou ainda solos ácidos que receberam adubações com fosfatos naturais e calagem ao longo de vários anos, apresentam maior proporção de P-Ca em relação a P-Fe e P-Al. Nestes solos, O M1 extrai de forma eficiente o P-Ca, enquanto para a maioria das culturas, essa forma de P é absorvida de forma parcial ou não é absorvida. Com isso, alguns autores reportam uma superestimação do P disponível nestas condições (Novelino et al., 1985; Viégas, 1991; Novais e Smyth, 1999). No entanto, diferentemente do desgaste do extrator em solos com maior CT, a interferência de maiores teores de P-Ca no solo na perda da capacidade preditiva do método, ainda não foi devidamente corrigida (Novais e Smyth, 1999).

Contudo, diversos trabalhos realizados no sentido de comparar a capacidade preditiva do M1 utilizando solos com diferentes características e com aplicação de diferentes fontes fertilizantes de P, inclusive fosfatos naturais, tem mostrado que este extrator apresenta resultados satisfatórios, quando comparado com outros extratores (Moreira e Malavolta, 2001; Santos e Kliemann, 2005; Farias et al., 2009b).

2.3.2. Resinas

A utilização de Resina como extrator foi inicialmente proposto por Amer et al. (1955) que utilizou Resina de troca aniônica. O método de extração de P com utilização de uma mistura de Resinas de troca catiônica e aniônica (Resina Mista) saturada com

bicarbonato de sódio, que tampona o meio e favorece a extração do P (Sibbesen, 1978; Raij et al., 1986) tem apresentado uso crescente em laboratórios de rotina (Silva e Raij, 1999; Raij et al., 2001). Isto se deve a modificações e simplificação do método, com automatização na etapa de separação da Resina misturada ao solo.

Em revisão feita por Silva e Raij (1999) foi observado que, nos 72 trabalhos consultados, os métodos mais estudados foram Olsen, Bray-1, Resina e Mehlich-1 (em ordem decrescente). O autor destaca o interesse pelo método da resina mesmo não sendo um método de uso generalizado como os demais.

A Resina é comercializada na forma de pequenas esferas que formam um sistema poroso com presença de grupos funcionais. Isso faz com que o material se comporte como base forte, dissociando-se em qualquer valor de pH. O processo de extração ocorre na suspensão aquosa de solo e Resina (Silva e Raij, 1999).

As etapas de extração consistem em: i) desagregação do solo, em suspensão com água, com agitação com bolinha de vidro; ii) agitação do solo e Resina saturada com bicarbonato de sódio, em suspensão aquosa por 16 h; iii) separação da Resina do solo com uso de peneiras e; iv) extração do P da Resina e determinação analítica (Raij et al., 2001).

A Resina tem ação semelhante à das raízes das plantas que, ao absorver o P da solução, vai, gradualmente, consumindo o P da solução do solo e, progressivamente, o P lábil (Raij e Feitosa, 1980; Novais e Smyth, 1999), sendo esta característica enumerada como ponto positivo do uso da Resina por Raij et al. (1984) e Raij et al. (1986), que também citam outras características como: não utilização de reagentes químicos que poderiam dissolver formas não lábeis; pH da suspensão solo-extrator próximo à faixa de pH de maior disponibilidade de P nos solos; a presença de bicarbonato que mantém o tamponamento da suspensão, minimizando a influência de alterações nas quantidades de solo, Resina ou água.

Contudo, Novais e Smyth (1999) evidenciam que em solos com altos valores de CT a Resina é submetida a alguma restrição à total dessorção de Q, subestimando, nestes solos, o valor de Q + I e ainda, que há subestimação pela resina em solos ricos em P-Ca, cultivados com plantas capazes de solubilizar essa forma de P. Silva e Raij (1999) destacam que erros na estimativa de Q + I, em solos com alta CT são bem maiores para os extratores mais sensíveis à CT que para a Resina.

Braida et al. (1996) ao comparar a extração de P por Mehlich-1 e Resina Aniônica em dez solos do Rio Grande do Sul verificaram que os métodos se equivalem,

no entanto evidenciou a sensibilidade do Mehlich-1 à proporção de argila dos solos e que o Mehlich-1 é menos laborioso que o método da Resina Aniônica.

2.3.3. Mehlich-3

A solução extratora Mehlich-3 (NH_4F 15 mmol/L + CH_3COOH 200 mmol/L + NH_4NO_3 250 mmol/L + HNO_3 13 mmol/L + EDTA 1 mmol/L, pH=2,5) foi proposta por Mehlich (1984) depois de modificações na solução extratora Mehlich-2 (M2) (Melich,1978) que consistiram, inicialmente na substituição de NH_4Cl 200 mmol/L + HCl 12 mmol/L do M2 por NH_4NO_3 250 mmol/L + HNO_3 13 mmol/L e, posteriormente, na adição de EDTA 1 mmol/L. Estas modificações tiveram como objetivos incluir a extração de Cu, que era realizada de forma separada pelo extrator “Mehlich-Bowling” (Mehlich e Bowling, 1975), manter ou aumentar a amplitude de solos com diferentes características a serem analisados com o mesmo extrator e eliminar as propriedades corrosivas do extrator Mehlich-2 aos equipamentos de laboratório.

A substituição de cloretos por nitratos não alterou a eficácia da extração, mas diminuiu os danos corrosivos causados a materiais de laboratório pela solução extratora Mehlich-2. A adição de EDTA (quelante) melhorou a capacidade de extração dos micronutrientes Cu, Mn e Zn (Melich,1984).

O NH_4F é específico para formas de P-Al, que é a forma que, em solos sob condições tropicais, mais libera P para as plantas, seguida por P-Fe e em menor quantidade P-Ca (Novais e Kamprath, 1978), devido à predominância de P-Fe e P-Al em relação a P-Ca ser uma característica de solos mais intemperizados. No entanto, cada forma de P poderá ser fonte importante de P para as plantas a depender do tipo de solo. Além disso, o NH_4F evita a precipitação do Ca solubilizado pelo F^- , evitando dissolução excessiva de P-Ca em função do pH tamponado com CH_3COOH (pH = 2,5) (Bortolon et al., 2009), além de diminuir a solubilização de P-Ca (Novais e Smith, 1999). O NH_4NO_3 facilita a extração de cátions de caráter básico como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ . O HNO_3 extrai P-Fe, P-Al e ainda os micronutrientes (Bortolon et al., 2009).

Assim como o Mehlich-1, o Mehlich-3 apresenta como vantagens a facilidade, rapidez na extração e limpidez do extrato (Bortolon et al., 2009). Por ser um extrator multielementar, o M3 reduz os custos de análise (Mallarino, 2003). Com uso de espectrofotometria de emissão em plasma induzido (ICP-OES), o uso de extratores multielementares como o Mehlich-3 que permite determinar, no mesmo extrato, vários

elementos, simplifica os procedimentos analíticos, além de aumentar a eficiência nas análises de laboratório (Bortolon e Gianello, 2010). De modo geral, o extrator Mehlich-3 tem mostrado resultados satisfatórios para análise de P disponível em solos que são analisados por Mehlich-1 (Jones, 1990).

Steiner et al. (2012) estudando os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Aniônica em doze solos do estado do Paraná, encontraram que os três extratores apresentaram eficiência semelhante, com maior correlação do teor de P extraído pela RA (0,93) seguido pelo M3 (0,90) com o conteúdo de P nas plantas. Da mesma forma que o Mehlich-1, o Mehlich-3 é sensível ao fator capacidade tampão do solo, necessitando de faixas de interpretação dos teores de P (Bortolon et al., 2009). O extrator Mehlich-3 é mais sensível que o Mehlich-1 às variações de tipos de solo, o que é importante devido a grande variabilidade de solos analisados em um mesmo laboratório (Silva et al., 1999; Bortolon et al., 2009).

O extrator Bray-1 é considerado por alguns autores o mais adequado para determinação da disponibilidade de P em solos que foram fertilizados com diferentes fontes de P (Kaminski, 1983). Contudo, Lins e Cox (1989) observaram que o Mehlich-3 foi superior ao Bray-1 e RA em sete solos do Cerrado com ampla variação de características, mostrando que o M3 é adequado para ampla variação de solos, como também foi observado por Piha (1993), com melhores resultados para o Mehlich-3 em relação à Resina Aniônica em solos do Zimbábue.

Em cinco solos da amazônia adubados com diferentes fontes de P (fontes solúveis e fosfatos naturais com diferentes reatividades), o Mehlich-3 apresentou as melhores correlações às respostas de crescimentos de plantas de arroz e caupi, independentemente da fonte de P utilizada, além de, juntamente com Bray-1, demonstrar maior sensibilidade às variações de solo comparados ao Mehlich-1 e à Resina Aniônica (Brasil e Muraoka, 1997). Neste mesmo trabalho, foram observadas baixas correlações para o Mehlich-1 e para Resina Aniônica quando foi utilizado fosfato natural da Carolina do Norte, sendo que as menores correlações foram observadas para Resina Aniônica.

Santos et al. (2014) ao estudar a variabilidade analítica dos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 na determinação do P disponível observaram que, na extração, deve ser usado o mesmo tipo de erlenmeyer devido a influência do volume vazio nos teores de P extraído, além da padronização do grau de moagem das amostras, que teve influência na extração de P pelo Mehlich-3. Há, também, influência do tempo de contado dos

extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 com as amostras de solo (tempo de repouso) da velocidade de agitação no teor de P extraído por estes extratores (Santos et al., 2015).

Para a extração de K no Brasil são utilizados Mehlich-1 e Resina Mista. O Mehlich-3 também pode ser utilizado para extração do K trocável do solo. Medeiros et al. (2010) estudando a extração de K pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Mista em doze solos do estado da Paraíba com baixo e alto grau de desenvolvimento, observaram que nos solos mais desenvolvidos não houve diferenças entre os extratores. Porém, nos solos menos desenvolvidos, Mehlich-1 e Mehlich-3 extraíram teores semelhantes entre si e maiores que a Resina Mista. Contudo, os autores concluem que, de forma geral, os três extratores podem ser utilizados para avaliar a disponibilidade de K para as plantas nos dois grupos de solos estudados.

Diversos autores comprovaram a eficiência do Mehlich-3 para extração de micronutrientes. Rodrigues et al. (2001) estudando a disponibilidade de Fe para arroz em solos da Amazônia pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, verificaram que as melhores correlações entre o teor disponível e conteúdo na planta foram obtidos com Mehlich-3. Da mesma forma, Cancela et al. (2001) concluíram que o Mehlich-3 foi considerado o extrator mais eficiente para avaliar a disponibilidade de Cu para milho, seguido pelo DTPA.

Silva et al. (2009) ao comparar métodos de extração para Fe, Zn, Mn e Cu testando diferentes relações solo:extrator, concluíram que Mehlich-1 (1:10 ou 1:5), DTPA e Mehlich-3 apresentaram boa correlação entre si, corroborando com resultados de outros autores como Milagres et al. (2007). No entanto, Milagres et al. (2007) alertam que os teores disponíveis de micronutrientes dosados por espectrofotometria de absorção atômica e espectrofotometria de emissão em plasma induzido (ICP-OES) são estatisticamente diferentes, comprometendo a interpretação de valores obtidos no plasma com os níveis críticos gerados com dosagem em absorção atômica. Contudo, apesar da diferença estatística encontrada por Milagres et al. (2007), os teores dos micronutrientes obtidos com os dois extratores são de magnitude semelhante, o que, possivelmente, não interfere na interpretação da disponibilidade de micronutrientes no solo.

O extrator Mehlich-3 tem sido um dos mais utilizados nos estudos que visam à obtenção de soluções extratoras multielementares com objetivo de redução dos custos das análises pela simplificação dos procedimentos analíticos (Bortolon e Gianello, 2008). Este extrator se torna ainda mais interessante à medida em que os laboratórios de

análise de solo e planta passam a utilizar o ICP-OES, que além de diminuir os limites de detecção, permite a determinação simultânea de vários elementos no mesmo extrato (Milagres et al., 2007).

Com base nesses resultados, o Mehlich-3 apresenta potencial para prever a disponibilidade de P nos diferentes solos brasileiros, adubados ou não com fosfatos naturais, não só pela boa correlação com o P extraído pelas plantas, mas também por extrair de forma satisfatória, em diferentes solos, K, Fe, Mn, Zn e Cu. No entanto, ainda são necessários trabalhos que estabeleçam os valores de níveis críticos, taxas de recuperação e tabelas de interpretação da disponibilidade de P para este extrator, ou seja, ainda faltam trabalhos de calibração, como o realizado por Schlindwein e Gianello (2008) para o sistema de plantio direto e o de Bortolon e Gianello (2008) que propuseram faixas de interpretação da disponibilidade de P por Mehlich-3 com base na correlação da disponibilidade de P entre os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, ambos os trabalhos realizados para solos da região Sul do Brasil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados 11 solos do Estado de Minas Gerais e um solo do Estado do Espírito Santo com diferentes características mineralógicas, texturais, teores de matéria orgânica, disponibilidade de P e, portanto, com diferentes capacidades tampão de fosfato (CT). As amostras de solo foram coletadas a profundidade de 0-20 cm, algumas provenientes de áreas cultivadas e outras de áreas não cultivadas (Quadro 2).

Quadro 2. Classificação e procedência dos solos

Solo	Símbolo	Procedência
Latossolo Vermelho distrófico	LVd1	Rio Paranaíba (ANC)
Latossolo Vermelho distrófico	LVd2	Rio Paranaíba (AC)
Latossolo Vermelho distrófico	LVd3	Rio Paranaíba (AC)
Argissolo Vermelho distrófico	PVd	Viçosa (ANC) ^{1/}
Latossolo Vermelho distroférico	LVdf	Presidente Olegário (ANC)
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	LVAd1	Viçosa (ANC) ^{1/}
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	LVAd2	Três Marias (ANC) ^{1/}
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	PVAd1	Viçosa (AC)
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	PVAd2	Viçosa (AC)
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	PVAd3	Viçosa (AC)
Cambissolo Háptico distrófico	CXbd	João Pinheiro (ANC)
Latossolo Amarelo distrófico	LAd	Linhares-ES (ANC) ^{1/}

^{1/}Solos pertencentes ao banco de solo do Departamento de Solos da UFV (DPS-UFV). ANC – Solo coletado em área não cultivada; AC – Solo coletado em área cultivada.

Após a coleta, as amostras dos solos foram passadas em peneira de malha de 4,0 mm e secas ao ar até atingirem, aproximadamente, 1/4 da capacidade de campo, para que pudessem ser armazenadas. Depois de secas e homogeneizadas; foi retirada uma subamostra de cada amostra de solo, a qual foi passada em peneira com malha de 2,0 mm para realizar as análises físicas e químicas.

A caracterização física das amostras de solo foi realizada no laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV (DPS-UFV) onde foram determinados: densidade do solo pelo método da proveta e equivalente de umidade. A análise granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila) foi realizada por dispersão química em NaOH 0,1 mol/L e a classificação textural foi realizada com base nos critérios estabelecidos pela Sociedade Brasileira de Ciência do solo (SBCS), que adota as classes de textura do Sistema Americano, de acordo com o Soil Survey Manual (Estados Unidos, 1993) com modificação na classe muito argilosa para solos com mais

de 60 % de argila. A caracterização química das amostras de solo foi realizada, no laboratório de Fertilidade do Solo do DPS-UFV, de acordo com Lopes e Alvarez (1999) (Quadro 3).

Após a caracterização química e física das amostras dos solos (Quadros 3 e 4), estas foram divididas em quatro grupos de acordo com o P remanescente (P-rem), obtido após agitação de 5 cm³ de TFSA durante 1 h com 50 mL de solução de CaCl₂ 10 mmol/L contendo 60 mg/L de P (Alvarez V. et al; 2000). Os solos LVd1, LVd2 e LVd3 com P-rem variando de 0-10 mg/L constituem o grupo 1; os solos PVd, LVdf e LVAd1, com P-rem variando de 10-19 mg/L constituem o grupo 2; os solos LVAd2, PVAd1, PVAd2, PVAd3 e CXbd, com P-rem variando de 19-30 mg/L constituem o grupo 3 e o solo LAd com P-rem dentro do intervalo de 30-60 mg/L constitui o grupo 4.

Quadro 3. Características químicas dos solos

Solo	Características																	
	pH H ₂ O ^{1/}	P	P-rem	MO	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	Cu	Mn	Fe	Zn
		mg/dm ³	mg/L	g/kg	mg/dm ³	-----	-----	-----	cmol _c /dm ³	-----	-----	-----	-----	---- % ----	-----	-----	mg/dm ³	-----
LVd1	5,15	1,0	4,3	71,1	52	0,67	0,34	0,35	7,69	1,15	1,50	8,84	13,0	23,5	1,67	11,27	114,33	1,48
LVd2	6,92	39,4	8,3	43,5	159	5,14	1,37	0,01	3,02	6,92	6,93	9,94	69,6	0,1	6,34	26,69	33,24	17,60
LVd3	6,78	50,9	8,9	48,7	303	5,94	1,38	0,06	1,87	8,09	8,15	9,96	81,2	0,7	3,36	22,59	35,91	14,40
PVd	5,14	0,5	10,8	17,7	5	0,32	0,00	0,72	3,84	0,33	1,06	4,17	8,0	68,4	2,23	3,46	74,91	0,53
LVdf	5,50	3,8	11,4	44,8	44	1,39	0,78	0,40	7,69	2,28	2,69	9,98	22,9	15,0	7,63	99,49	120,02	2,70
LVA d1	6,16	0,7	12,6	15,2	15	1,39	0,29	0,13	2,65	1,72	1,85	4,37	39,4	7,1	6,66	101,16	59,09	2,75
LVA d2	6,54	0,5	21,9	2,5	17	0,08	0,00	0,16	0,87	0,12	0,27	0,98	12,1	57,8	0,63	1,53	27,03	1,43
PVA d1	5,91	96,5	25,0	22,4	183	4,08	1,15	0,25	3,69	5,69	5,95	9,38	60,7	4,3	9,89	53,88	113,30	10,36
PVA d2	6,02	21,4	26,1	23,7	96	4,46	1,49	0,11	3,32	6,19	6,30	9,51	65,1	1,7	6,98	88,79	111,11	13,71
PVA d3	5,42	11,5	27,1	26,3	77	2,35	0,87	0,23	5,28	3,42	3,65	8,70	39,3	6,3	9,24	103,67	135,29	10,25
CXbd	5,24	0,4	28,8	10,5	12	0,12	0,00	0,43	2,87	0,15	0,57	3,02	4,9	74,4	0,95	3,29	107,93	0,26
LAd	5,70	7,9	44,1	15,2	68	3,35	1,13	0,13	1,72	4,66	4,79	6,38	73,0	2,7	1,46	8,21	73,25	7,25

^{1/}Relação solo: água 1:2,5; P, K, Cu, Mn, Fe e Zn - Extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - Extrator KCl 1,0 mol/L; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L (pH 7,0); SB – Soma de Bases Trocáveis; t – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V – Saturação por Bases; m – Saturação por Al; MO – Matéria Orgânica = C. Org × 1,724 (Walkley-Black); P-rem – Fósforo Remanescente. Solos coletados em área não cultivada: LVd1, PVd, LVdf, LVA d1, LVA d2, CXbd e LAd; solos coletados em área cultivada: LVd2, LVd3, PVA d1, PVA d2 e PVA d3.

Quadro 4. Características físicas dos solos

Solo	Características						Classe Textural ⁽³⁾
	DS ⁽¹⁾	EU ⁽²⁾	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
	kg/dm ³	g/kg	----- % -----				
LVd1	1,165	320	9,4	6,7	17,3	66,6	Muito Argilosa
LVd2	1,075	300	10,5	8,0	29,2	52,3	Argila
LVd3	0,965	310	8,8	6,8	22,6	55,7	Argila
PVd	1,030	330	21,0	14,0	3,0	62,0	Muito Argilosa
LVdf	1,245	250	11,4	12,1	27,5	49,0	Argila
LVAd1	1,045	275	20,0	15,0	10,0	55,0	Argila
LVAd2	1,390	87	27,0	53,0	4,0	16,0	Franco Arenosa
PVAd1	1,110	310	22,5	12,9	15,5	49,1	Argila
PVAd2	1,210	300	20,6	19,3	14,6	45,5	Argila
PVAd3	1,095	240	33,4	12,7	13,2	40,6	Argila
CXbd	1,340	90	27,7	45,5	2,6	24,1	Franco Argilo Arenosa
LAd	1,340	85	54,0	20,0	4,0	22,0	Franco Argilo Arenosa

^{1/}Densidade do solo. ^{2/}Equivalente de Umidade. ^{3/}Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Solos coletados em área não cultivada: LVd1, PVd, LVdf, LVAd1, LVAd2, CXbd e LAd; solos coletados em área cultivada: LVd2, LVd3, PVAd1, PVAd2 e PVAd3.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do DPS-UFV, no período de Março-Abril de 2015. Os tratamentos foram gerados pela combinação do fatorial 12×6 , sendo 12 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm e seis doses de P (dP). As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com orifícios de drenagem com 2,0 dm³ de solo, onde foram cultivadas quatro plantas de milho híbrido Bio Gene 7040 (*Zea mays* L.). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições.

De posse dos resultados das análises químicas foram realizados os cálculos da necessidade de calagem (NC) para a cultura do milho, com a finalidade de corrigir a acidez e fornecer Ca e Mg. Para tanto, a NC foi determinada de acordo com o método da Saturação por Bases ($V_e = 50\%$) e pelo método da Neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ($m_t = 15\%$; $X = 2\text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). A necessidade de calagem utilizada foi escolhida conforme os critérios do algoritmo proposto por Alvarez V.¹, que apresenta a seguinte estrutura:

- i) Calcula-se a NCi pelos métodos da saturação por bases e neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ;
- ii) É selecionada a menor NCi que fique entre X e T ($NC_R = X \leq NC_i < T$).

O calcário utilizado foi composto por uma mistura de $CaCO_3$ e $MgCO_3$ com relação molar Ca:Mg de 4:1 (PRNT = 103 %). A aplicação da quantidade de calcário necessária foi realizada por unidade experimental de modo a permitir uma melhor homogeneização do calcário com o solo. A quantidade de calcário foi, inicialmente, misturada a um menor volume de solo sobre uma lona plástica e, posteriormente, misturada com o volume restante da unidade experimental até obtenção de completa homogeneização visual.

Após a aplicação do calcário, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e foi realizada uma irrigação para elevar a umidade solo até 80 % da capacidade de campo (CC) de acordo com a equação 1, que permite estimar a CC a partir da determinação do equivalente de umidade (EU) (Ruiz et al, 2003).

$$CC = 0,081 + 0,888 EU \quad R^2 = 0,910 \quad (\text{Equação 1})$$

¹ Comunicação pessoal Víctor Hugo Alvarez V., em Novembro de 2014. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

A incubação foi realizada durante 18 d e o solo foi reumidecido com a mesma quantidade de água da primeira irrigação, por uma vez nesse período. Após o período de incubação as amostras de solo foram secas ao ar e novamente passadas em peneira com malha de 4,0 mm.

O espaço experimental das dP aplicadas a cada solo foi definido de acordo com o P-rem (Alvarez V. et al., 2000). Como as dP foram aplicadas de forma localizada, em 10 % do volume total do solo contido no vaso, foi utilizado 1/3 das doses recomendadas. As fontes de P utilizadas foram Superfosfato triplo (20 % de P) e Bayóvar (12,6 % de P). A mistura foi composta de 80 % de Superfosfato triplo e 20 % de Bayóvar, que foram pesados separadamente, por unidade experimental. A mistura foi feita no momento da aplicação.

Cada grupo de solos recebeu a dP de acordo com os níveis: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 5,0, sendo que o nível 5,0 corresponde a maior dose do intervalo. Desta forma, os solos do grupo 1 receberam 0,0; 18,7; 37,4; 74,8; 112,2 e 187,0 mg/dm³, os solos pertencentes ao grupo 2 receberam 0,0; 16,0; 32,0; 64,0; 96,0 e 160,0 mg/dm³, os solos pertencentes ao grupo 3 receberam 0,0; 13,7; 27,4; 54,8; 82,2 e 137,0 mg/dm³ e o solo do grupo 4 recebeu 0,0; 10,0; 20,0; 40,0; 60,0 e 100 mg/dm³.

Para aplicar as dP de forma localizada em 10 % do volume do solo (0,2 dm³) o vaso foi dividido em duas regiões, conforme figura 1. As dP calculadas para cada solo foram misturadas aos 0,2 dm³, onde, no mesmo dia, foi realizada a semeadura de sete sementes de milho por vaso

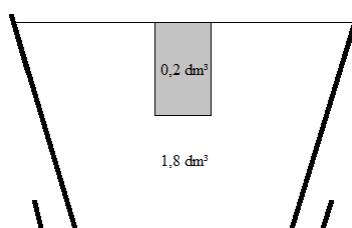


Figura 1. Esquema de localização do P na região central das unidades experimentais.

Foram feitos desbastes de 4 a 6 d após a emergência das plântulas, de modo a deixar quatro plantas de milho em cada vaso para o cultivo. As plantas foram cultivadas por 45 d, mantendo-se a umidade do solo próxima de 80 % da capacidade de campo por meio de irrigações diárias na parte superior dos vasos. Os orifícios de

drenagem dos vasos foram tampados por meio da colocação de uma folha de papel toalha no fundo do vaso durante enchimento dos mesmos. Desta forma foi possível a estruturação do solo sem que ocorresse a perda de solo pelos orifícios de drenagem durante as primeiras irrigações.

As adubações com os demais nutrientes foram realizadas por aplicações na forma de solução nutritiva, conforme algumas modificações feitas na recomendação de Novais et al. (1991). As doses e fontes dos demais nutrientes corresponderam a: 300 mg/dm³ de N [(NH₂)₂CO]; 160 mg/dm³ de K (KCl); 80 mg/dm³ de S [(NH₄)₂SO₄]; 0,81 mg/dm³ de B (H₃BO₃); 1,33 mg/dm³ de Cu (CuSO₄.5H₂O); 1,55 mg/dm³ de Fe (FeCl₃.6H₂O); 3,66 mg/dm³ de Mn (MnCl₂.4H₂O); 0,15 mg/dm³ de Mo (NaMoO₄.2H₂O) e 4,0 mg/dm³ de Zn (ZnSO₄.7H₂O). As doses dos macronutrientes foram parceladas em quatro aplicações e as dos micronutrientes em seis aplicações durante o cultivo.

Próximo ao fim da condução do experimento foram realizadas irrigações por aspersão com intuito de lavar as plantas para retirar poeira e possíveis resíduos de inseticidas aplicados durante o cultivo. Aos 45 d de cultivo foi realizada a colheita da parte aérea das plantas. O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, por 72 h. A produção de matéria seca da parte aérea (mMS-PA) foi pesada, moída e armazenada em sacos de papel para facilitar a secagem e homogeneização das amostras. A determinação de P no tecido vegetal foi realizada por digestão nítrico-perclórica (3:1) e a dosagem realizada pelo método da Vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974). Após a determinação do teor total de P na parte aérea das plantas (ttP-PA) proveniente das quatro plantas cultivadas em cada unidade experimental, foi calculado o conteúdo de P na parte aérea (cP-PA) em cada unidade experimental.

Foram retiradas amostras de solo de todas as unidades experimentais. A amostragem foi realizada na parte superior média do vaso, de modo a se obter uma amostra composta entre a região que recebeu o P de forma localizada e a região que não recebeu P (Figura 2), com intuito de simular a amostragem realizada no campo, para obtenção de níveis críticos em casa de vegetação similares àqueles obtidos no campo. As amostras de solo foram secas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm para análise do P disponível por M1 (Mehlich, 1953), M3 (Mehlich, 1984) e RM (Raij et al. 2001) e dosagem pelo método da Vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974).

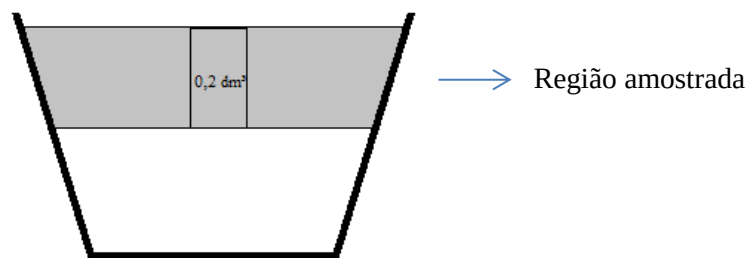


Figura 2. Esquema da coleta das amostras de solo na metade superior das unidades experimentais.

A extração de P pelo extrator M1 (HCl 50 mmol/L + H_2SO_4 12,5 mmol/L) foi realizada na proporção solo:solução de 1:10 (5 cm³ de solo para 50 mL do extrator). As amostras foram agitadas com a solução extratora por 5 min e, em seguida, procedeu-se a filtragem com papel filtro de filtragem lenta. Após obtenção do extrato, a determinação do P foi realizada pelo método da Vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974). A extração com M3 (NH_4F 15 mmol/L + CH_3COOH 200 mmol/L + NH_4NO_3 250 mmol/L + HNO_3 13 mmol/L + EDTA 1 mmol/L) também foi realizada na proporção solo:solução de 1:10 e o procedimento analítico foi o mesmo empregado para o M1.

A extração com RM foi realizada com uma mistura de resinas de troca catiônica e aniônica, saturadas com bicarbonato de sódio. Na fase de pré-condicionamento as resinas aniônicas e catiônicas foram retidas em peneira com malha de 0,5 mm e foram misturados volumes iguais das resinas (500 mL de resina catiônica e 500 mL de resina aniônica). Após a mistura das resinas, foram adicionados 2,0 L de água deionizada (utilizada em todos os processos). Posteriormente, foi adicionada à mistura de resinas 100 mL de uma solução contendo 5,0 g de KH_2PO_4 , 4,0 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e 2,0 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. A mistura foi agitada com bastão de vidro e, posteriormente, também com agitação, foram adicionados de 10 mL de HCl 1,0 mol/L. A mistura de resinas ficou em contato com a solução descrita acima por duas semanas, período no qual foram feitas agitações ocasionais. Depois deste período, a mistura de resinas foi lavada cinco vezes com água e transferida para uma coluna de percolação, onde foram passados, em sequência e de forma lenta, cinco volumes de NaOH 1,0 mol/L, cinco volumes de

água, cinco volumes de HCl 1,0 mol/L, 10 volumes de NH₄Cl 1,0 mol/L e um volume de H₂O para cada volume de resina presente na coluna de percolação (Raij et al., 2001).

Terminada a fase de pré-condicionamento foi realizado o tratamento da resina para uso, que consistiu em deixar a mistura de resinas em contato com uma solução de NaHCO₃ 1,0 mol/L, pH 8,5 por, aproximadamente 1,0 h com agitações ocasionais e, em seguida, a mistura de resinas foi transferida para outra coluna de percolação para passagem de, aproximadamente, cinco volumes da mesma solução de NaHCO₃ 1,0 mol/L, pH 8,5 de forma bem lenta. Ao final, foram passados 20 volumes de água para cada volume de resina tratado, ficando a RM pronta para ser utilizada para a extração. Durante todo o processo a mistura de resinas deve sempre estar em água (Raij et al., 2001).

A extração com a RM foi realizada adicionando 2,5 cm³ de TFSA em frascos plásticos, nos quais foram adicionados 25 mL de água e uma bolinha de vidro com agitação durante 15 min a 220 rpm para promover a desagregação do solo. Depois foi retirada a bolinha de vidro e adicionado 2,5 cm³ de RM, para agitação por 16 h a 220 rpm. Depois da agitação, a RM foi separada do solo utilizando um conjunto de peneiras com malha de 0,4 mm, lavadas com o mínimo de água e transferidas para outro frasco plástico onde foram adicionados 50 mL da solução NH₄Cl 0,8 mol/L em HCl 0,2 mol/L e agitação por 1 h a 220 rpm para obtenção dos extratos (Raij et al., 2001). Após obtenção do extrato a determinação do P foi realizada pelo método da Vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Sistema para Análise Estatística (SAEG), versão 9.1 e foram ajustadas equações de regressão da mMS-PA em função das doses de P (dP) aplicadas a cada solo. Os coeficientes das equações de regressão (linear, quadrático e raiz quadrático) foram testados até o nível de significância de 25 %. Com as equações de mMS-PA em função das dP foram calculadas as doses recomendáveis (DR) para atingir 90 % da produção máxima em cada solo (0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$). A DR foi determinada igualando a primeira derivada das equações a zero e, obtendo, desta forma, a dP correspondente a produção máxima (dP- $\hat{y}_{\text{máx}}$). Uma vez obtido o valor de 0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$, este foi substituído na mesma equação para obtenção da dP correspondente a 0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$ (dP-0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$). Para os solos em que a dP- $\hat{y}_{\text{máx}}$ ficou fora do espaço experimental e para aqueles cujo modelo raiz quadrática melhor se ajustou aos dados, mas que não

houve ponto de máxima, a maior dP utilizada em cada solo foi tomada como dP- $\hat{y}$ máx.

Para avaliar a capacidade preditiva dos extratores quanto a disponibilidade de P nos solos, foram feitas correlações lineares simples entre os teores de P disponível (tdP) pelos três extratores nas testemunhas (dP = 0,0 mg/dm³) com o conteúdo de P na parte aérea das plantas (cP-PA) das testemunhas. Posteriormente foram realizadas outras correlações agrupando os solos de acordo com a capacidade tampão (estimada pelo P-rem) além de correlações que foram feitas com o conjunto de todas as doses e o respectivo cP-PA das plantas de milho para cada solo.

Para obter os níveis críticos de P (ncP) para cada extrator e em cada solo, as DR foram substituídas nas equações de regressão dos tdP recuperado em função das dP adicionadas. Os coeficientes das equações de regressão (componente linear e quadrático) foram testados até o nível de significância de 10 %. Por meio destas equações também foram obtidos as taxas de recuperação de P (trP) para cada extrator, em cada solo. Nos solos em que o modelo linear melhor se ajustou aos dados, a trP foi dada pelos coeficientes lineares das equações e nos solos em que o modelo quadrático melhor se ajustou aos dados, foi calculada a taxa de recuperação diferencial no intervalo de doses dP = 0,0 mg/dm³ até a DR. Após obtenção das taxas de recuperação, foram feitas correlações e ajustados modelos preditivos das trP por cada extrator com características do solo relacionadas com a CT.

Foi ajustado o modelo linear platô para a relação entre ncP-M3 e P-rem. O método iterativo de Cate e Nelson (1971) utilizado para determinação do nível crítico como sendo aquele que separa solos de alta probabilidade de resposta, de solos de baixa probabilidade de resposta à adição de determinado nutriente, foi aqui utilizado para determinar o valor de P-rem a partir do qual se estabelece a região do platô da curva. O coeficiente linear foi testado até o nível de 10 % de probabilidade. Para tanto, os dados foram dispostos em ordem crescente de P-rem acompanhado do correspondente valor de ncP-M3. Em seguida os dados foram divididos em duas populações (A e B). A população A teve, inicialmente, dois pontos e a B o restante dos pontos. À medida que foram se alterando o número de dados entre as populações foram obtidos, para ncP-M3, uma série de valores de R². O platô foi definido pelo valor intermediário do último valor da população A com o primeiro valor da população B, correspondentes ao maior valor de R² obtido. Para o cálculo de R² foi utilizada a fórmula indicada por Braga (1972):

$$R^2 = \frac{SQT - SQA - SQB}{SQT}$$

Em que: R^2 = Coeficiente de determinação;
 SQT = Soma de quadrados total;
 SQA = Soma de quadrados da população A;
 SQB = Soma de quadrados da população B.

Foram determinadas as classes de interpretação da disponibilidade de P pelo extrator M3 em função do P-rem e da proporção de argila. Para tanto, foi estabelecida correlação entre os tdP-M3 e os tdP-M1 e ajustado um modelo preditivo dos tdP-M3 em função dos tdP-M1 obtidos em todas as unidades experimentais. Desta forma, os limites de definição de classes da tabela de interpretação da disponibilidade de P nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Alvarez V. et al., 1999) foram substituídos na equação que relaciona os tdP-M3 em função dos tdP-M1 para obtenção dos limites de definição de classes por M3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Respostas das plantas de milho à aplicação P

Com exceção do solo LVAd2, houve aumento significativo da produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (mMS-PA) em função das doses de P (dP) aplicadas aos solos (Quadro 6). Em média, a maior produção de mMS-PA foi obtida no solo PVAd1 (24,17 g/vaso), coletado em área cultivada e a menor produção foi obtida no solo PVd (4,76 g/vaso), coletado em área não cultivada (Quadro 5). O mesmo comportamento foi observado para os demais solos, com maiores mMS-PA obtidas nas amostras de solo coletadas em áreas cultivadas (média de 17,93 g/vaso contra 9,43 g/vaso em solos provenientes de áreas não cultivadas), devido à maior disponibilidade de P nestes solos, que pode ser observado pelos maiores tdP-M1 na análise realizada antes do cultivo (Quadro 3). As dP crescentes adicionadas aos solos provocaram maior incremento médio de mMS-PA nos solos coletados em áreas não cultivadas do que nos solos coletados em áreas cultivadas, 342 % contra 30 %, respectivamente.

Com relação ao efeito das características relacionadas à CT na mMS-PA, foi observada tendência de maior mMS-PA em solos menos tamponados. Comportamento semelhante aos comumente observados em trabalhos similares realizados em casa de vegetação (Bahia Filho, 1982; Fabres, 1986). Resultado oposto ao observado foi encontrado por Fonseca (1987) que, ao estudar ncP para o estabelecimento de forrageiras em 11 solos com diferentes características, obteve maiores mMS-PA em solos mais tamponados. Contudo, este resultado se deveu à metodologia utilizada na determinação das dP aplicadas aos solos. Como as dP foram definidas de acordo com a capacidade máxima de adsorção de fosfatos (CMAP), foram aplicadas altas dP nos solos com elevada CT, suficientes para atingir a produção máxima nestes solos, o que não ocorreu com os solos com menor CT e, conseqüentemente, com menores CMAP, que receberam menores dP.

Foram obtidas equações de regressão da mMS-PA em função das dP aplicadas aos solos (Quadro 6), os modelos quadrático e raiz quadrática foram os que melhor se ajustaram aos dados. A falta de ajuste no solo LVd2 ocorreu devido ao elevado tdP-M1 antes do cultivo, acima do ncP-M1, muito embora tenha

Quadro 5. Produção de matéria seca (mMS-PA), teor total de P (ttP-PA) e conteúdo de P (cP-PA) da parte aérea de plantas de milho em função dos níveis de P (nP)

Solo	nP						Média
	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0 ^{1/}	
mMS-PA							
	g/vaso						
LVd1	2,76	4,39	5,35	7,10	9,14	11,52	6,71
LVd2	12,54	12,42	12,80	13,07	13,63	14,67	13,19
LVd3	13,73	5,38	17,32	18,25	17,60	19,39	16,95
PVd	1,40	2,65	4,04	6,41	6,62	7,44	4,76
LVdf	10,91	12,92	14,39	15,38	17,08	18,79	14,91
LVAd1	2,50	3,42	6,54	10,18	10,86	14,26	7,96
LVAd2	2,15	3,46	7,15	8,52	10,75	13,25	7,55
PVAd1	22,10	23,58	24,29	24,78	25,00	25,27	24,17
PVAd2	14,87	15,02	15,92	17,98	19,59	18,98	17,06
PVAd3	14,85	17,44	17,18	18,35	19,92	21,95	18,28
CXbd	2,72	6,25	7,71	11,92	11,95	14,58	9,19
LAd	8,28	11,43	13,39	18,42	17,51	20,73	14,96
Média	9,07	9,86	12,17	13,36	14,97	16,74	12,97
ttP-PA							
	g/kg						
LVd1	0,89	1,12	1,11	1,13	1,21	1,25	1,12
LVd2	1,42	1,48	1,41	1,34	1,34	1,38	1,40
LVd3	1,52	1,25	1,51	1,38	1,30	1,41	1,40
PVd	0,83	1,03	1,24	1,46	1,76	2,25	1,43
LVdf	1,85	1,47	1,68	1,41	1,53	1,57	1,59
LVAd1	0,80	0,99	1,20	1,23	1,28	1,84	1,22
LVAd2	0,89	0,96	1,06	1,15	1,53	1,68	1,21
PVAd1	2,22	2,27	2,60	2,54	2,80	2,77	2,53
PVAd2	1,66	1,61	1,48	1,68	1,61	2,36	1,73
PVAd3	1,51	1,42	1,55	1,50	1,51	1,85	1,56
CXbd	0,76	1,06	0,97	1,11	1,28	1,37	1,09
LAd	1,10	1,29	1,29	1,60	1,89	2,58	1,63
Média	1,29	1,33	1,43	1,46	1,59	1,86	1,49
cP-PA							
	mg/planta						
LVd1	0,62	1,23	1,48	2,01	2,74	3,60	1,95
LVd2	3,92	4,61	4,32	4,34	4,54	5,05	4,46
LVd3	5,16	5,46	5,81	6,30	5,74	6,86	5,89
PVd	0,29	0,68	1,23	2,31	2,94	4,06	1,92
LVdf	5,05	4,77	5,95	5,34	6,55	7,36	5,84
LVAd1	0,50	0,86	1,98	3,14	3,48	6,62	2,76
LVAd2	0,48	0,83	1,90	2,48	4,05	5,59	2,56
PVAd1	12,38	13,30	14,23	13,85	17,45	17,46	14,78
PVAd2	6,20	6,05	5,91	7,54	7,91	11,24	7,48
PVAd3	5,61	6,16	6,61	6,94	7,47	10,06	7,14
CXbd	0,53	1,66	1,87	3,25	3,87	5,02	2,70
LAd	2,29	3,63	4,28	7,35	8,27	13,34	6,53
Média	3,59	4,10	4,63	5,40	6,25	8,02	5,33

^{1/}A dose de P (dP) correspondente ao nível 5,0 foi de 187,0 mg/dm³ para os solos LVd1, LVd2 e LVd3; 160,0 mg/dm³ para os solos PVd; LVdf e LVAd1; 137,0 mg/dm³ para os solos LVAd2; PVAd1; PVAd2; PVAd3 e CXbd e de 100,0 mg/dm³ para o solo LAd.

havido resposta à adubação nos solos LVd3 e PVAd1 que também apresentaram, inicialmente, tdP-M1 acima do ncP-M1 (Quadro 6 e Figura 3).

A escolha da população de solos para um estudo deve ser realizada com base nos objetivos a serem alcançados. Desta forma, para determinar o efeito de doses de um nutriente sobre o crescimento e/ou produção de uma planta, os solos devem possuir teores dos nutrientes abaixo do nível crítico; caso o objetivo seja relacionar características do solo com a disponibilidade de um nutriente, deve-se selecionar uma população de solos com características variáveis (Novais et al., 1991).

Como o presente estudo tem como objetivos, além de estabelecer curvas de mMS-PA das plantas em resposta as dP, também avaliar a capacidade preditiva do M3 em solos cultivados e determinar modelos preditivos para obtenção dos ncP e trP para cada extrator, foram coletados solos que, possivelmente, apresentariam tdP acima do ncP como de fato ocorreu com os solos LVd2, LVd3 e PVAd1.

Quadro 6. Equações de produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (mMS-PA) ($\hat{y}$, g/vaso) em função das doses de P (dP) (x , mg/dm³) aplicadas a cada solo, 90 % da produção máxima (0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$) e doses recomendáveis (DR)

Solo	Equação	R ²	0,9- $\hat{y}_{\text{máx}}$	DR
			g/vaso	mg/dm ³
LVd1	$\hat{y} = 2,70 + 0,2856^{\Delta} \sqrt{x} + 0,0279^{\circ} x$	0,996	10,64	161,0
LVd2	$\hat{y} = \bar{y} = 13,19$	-	13,19	0,0
LVd3	$\hat{y} = 13,67 + 0,5864^{*} \sqrt{x} - 0,0134^{\text{ns}} x$	0,925	17,26 ^{1/}	54,4
PVd	$\hat{y} = 1,40 + 0,0924^{***} x - 0,0003^{***} x^2$	0,983	7,66	100,7
LVdf	$\hat{y} = 10,87 + 0,5324^{*} \sqrt{x} + 0,0078^{\text{ns}} x$	0,990	16,97 ^{1/}	99,8
LVAd1	$\hat{y} = 2,23 + 0,1344^{***} x - 0,0004^{**} x^2$	0,977	12,14 ^{1/}	109,4
LVAd2	$\hat{y} = 2,23 + 0,1475^{***} x - 0,0005^{**} x^2$	0,975	11,75 ^{1/}	95,3
PVAd1	$\hat{y} = 22,17 + 0,4881^{\circ} \sqrt{x} - 0,0190^{\text{ns}} x$	0,995	22,76 ^{1/}	1,6
PVAd2	$\hat{y} = 14,26 + 0,0911^{***} x - 0,0004^{*} x^2$	0,944	17,51	44,2
PVAd3	$\hat{y} = 15,06 + 0,3707^{\Delta} \sqrt{x} + 0,0177^{\text{ns}} x$	0,969	19,64	76,3
CXbd	$\hat{y} = 2,48 + 1,1800^{***} \sqrt{x} - 0,0112^{\text{ns}} x$	0,974	13,28 ^{1/}	102,6
LAd	$\hat{y} = 8,76 + 0,2592^{***} x - 0,0014^{***} x^2$	0,949	18,68	54,1

ns, Δ , $^{\circ}$, * , ** , *** não significativo até 25 % e significativo a 25, 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente. ^{1/}90 % da produção máxima estimada com a maior dose de P aplicada ao solo.

A figura 3 mostra o efeito da aplicação de dP em solos com características semelhantes, sobretudo àquelas relacionadas à CT, quando são utilizados solos que possuem tdP acima ou abaixo do ncP. Em A, são representados dois solos pertencentes ao grupo 1 (mais tamponados), LVd1 que, antes do cultivo, apresentou

muito baixo tdP-M1 e LVd3 que apresentou muito bom tdP-M1. Em B, são representados dois solos pertencentes ao grupo 3 (tamponamento intermediário), PVAd2 que apresentou bom tdP-M1 e PVAd1 que apresentou muito bom tdP-M1. Os solos LVd3 e PVAd1 que possuem tdP-M1 acima do ncP-M1 apresentam maiores valores de intercepto e menores declividades. O contrário ocorreu com os solos LVd1 e PVAd2 que apresentaram, antes do cultivo, tdP-M1 menor que o ncP-M1.

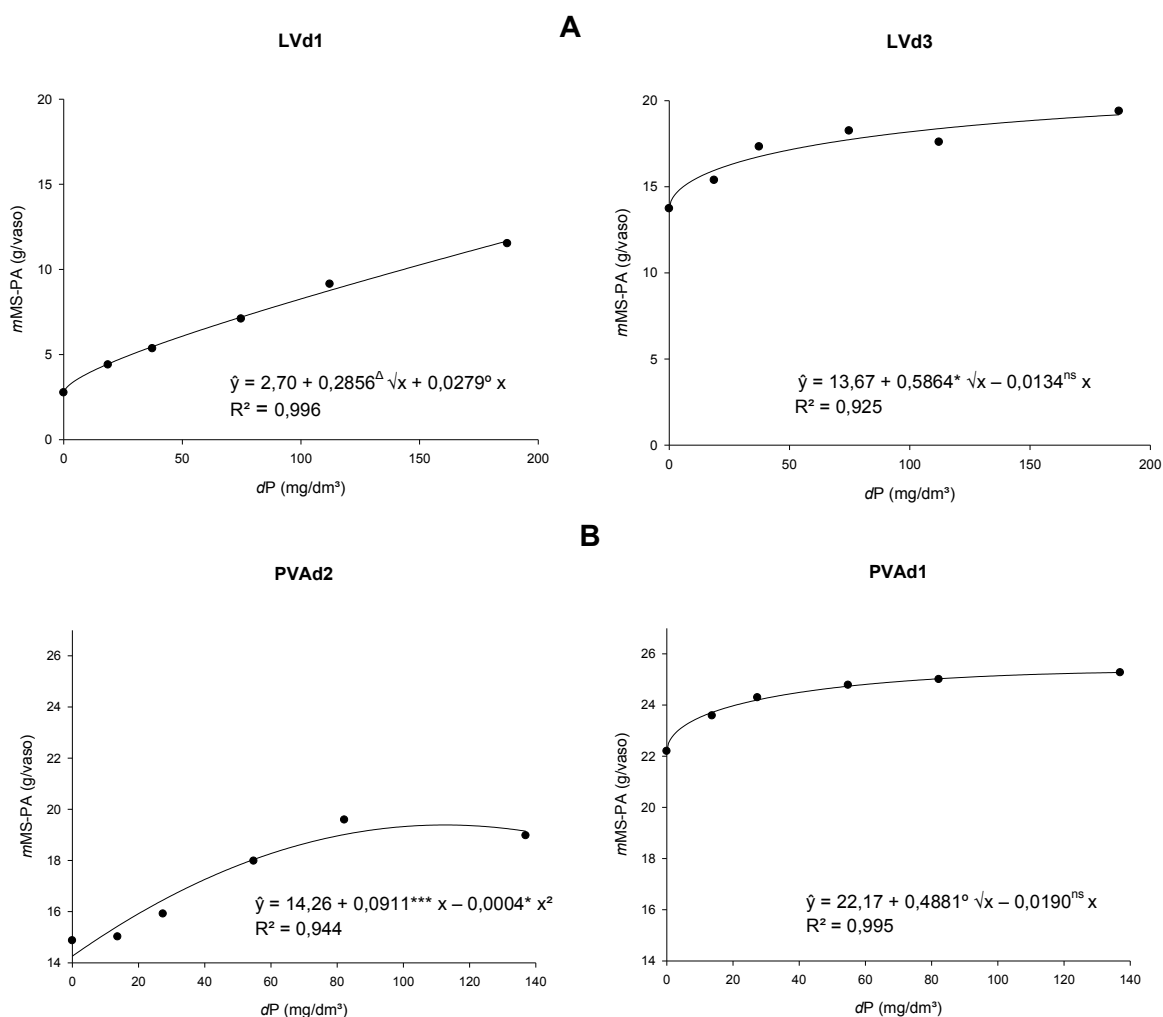


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (mMS-PA) em função das doses de P (dP) aplicadas em solos com teores de P disponível abaixo do nível crítico (LVd1 e PVAd2) e acima do nível crítico (LVd3 e PVAd1). A) Solos menos tamponados (LVd1 e LVd3, com P-rem = 4,3 e 8,9 mg/L, respectivamente); B) Solos de tamponamento intermediário (PVAd2 e PVAd1, com P-rem = 26,1 e 25,0 mg/L, respectivamente).

Pode-se perceber que para os solos mais tamponados (A) é necessário aplicação de maiores dP para atingir a produção máxima, enquanto para os solos menos tamponados (B), as dP necessárias para atingir a produção máxima são menores.

A partir das equações de mMS-PA em função das dP aplicadas aos solos, foram estimadas as dP necessárias para atingir 90 % da produção máxima, ou seja, as doses recomendáveis (DR) que correspondem às dP necessárias para atingir os ncP em cada solo (Alvarez V., 1996). As DR variaram de acordo com os solos de 0,0 mg/dm³ no solo LVd2 a 161,0 mg/dm³ no solo LVd1 (Quadro 6), refletindo novamente o efeito da diferença na disponibilidade de P inicial dos solos, com maiores DR obtidas em solos com tdP-M1 inicialmente baixos.

Foram ajustadas equações de regressão do teor total (ttP-PA) e do conteúdo de P da parte aérea (cP-PA) das plantas de milho em função das dP adicionadas aos solos (Quadro 7). O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados, sendo que não houve ajuste de ttP-PA nos solos LVd2, LVd3 e LVdf e do cP-PA no solo LVd2. A falta de ajuste dos ttP-PA nos solos LVd2 e LVd3 e de cP-PA no solo LVd2 em função das dP se devem aos altos tdP nestes solos antes do cultivo, o que não ocorreu com o solo LVdf, em que era esperado aumento do ttP-PA em resposta às adições de P, uma vez que este solo apresentou baixo tdP antes do cultivo. No entanto, foi observada resposta do cP-PA em função das dP para o solo LVdf, o que mostra ser o cP mais adequado para estudos de correlação por não sofrer efeito de concentração ou diluição, como ocorre com o ttP no tecido (Alvarez V., 1996).

Quadro 7. Equações do teor total de P (ttP-PA) ($\hat{y}$, g/kg) e conteúdo de P (cP-PA) (y , mg/planta) na parte aérea de plantas de milho em função das doses de P (dP) (x , mg/dm³) adicionadas aos solos

Solo	Equação	R ²
ttP-PA		
LVd1	$\hat{y} = 1,01 + 0,0015^* x$	0,673
LVd2	$\hat{y} = \bar{y} = 1,397$	-
LVd3	$\hat{y} = \bar{y} = 1,396$	-
PVd	$\hat{y} = 0,89 + 0,0087^{***} x$	0,992
LVdf	$\hat{y} = \bar{y} = 1,586$	-
LVAd1	$\hat{y} = 0,87 + 0,0057^{***} x$	0,919
LVAd2	$\hat{y} = 0,89 + 0,0061^{***} x$	0,951
PVAd1	$\hat{y} = 2,32 + 0,0041^{***} x$	0,734
PVAd2	$\hat{y} = 1,47 + 0,0050^{***} x$	0,652
PVAd3	$\hat{y} = 1,43 + 0,0024^* x$	0,811
CXbd	$\hat{y} = 0,89 + 0,0039^{***} x$	0,837
LAd	$\hat{y} = 1,06 + 0,0146^{***} x$	0,986
cP-PA		
LVd1	$\hat{y} = 0,84 + 0,0155^{***} x$	0,981
LVd2	$\hat{y} = \bar{y} = 4,462$	-
LVd3	$\hat{y} = 5,34 + 0,0077^* x$	0,875
PVd	$\hat{y} = 0,44 + 0,0240^{***} x$	0,978
LVdf	$\hat{y} = 4,91 + 0,0151^{***} x$	0,835
LVAd1	$\hat{y} = 0,48 + 0,0371^{***} x$	0,976
LVAd2	$\hat{y} = 0,55 + 0,0381^{***} x$	0,982
PVAd1	$\hat{y} = 12,74 + 0,0388^{***} x$	0,823
PVAd2	$\hat{y} = 5,47 + 0,0381^{***} x$	0,918
PVAd3	$\hat{y} = 5,56 + 0,0300^{***} x$	0,949
CXbd	$\hat{y} = 1,04 + 0,0315^{***} x$	0,948
LAd	$\hat{y} = 2,38 + 0,1082^{***} x$	0,989

*, *** Significativo a 5 e 0,1 %, respectivamente.

4.2. Teores de P disponível no solo e taxas de recuperação pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Mista

Como esperado, houve grande variação entre os tdP pelos extratores, devido as diferentes características de cada extrator. Os maiores tdP foram obtidos com o extrator M1. Os tdP obtidos com os extratores M3 e RM foram semelhantes (Quadro 8). O mesmo ocorreu quando os solos foram separados em grupos coletados em áreas cultivadas e não cultivadas.

Quadro 8. Teor de P disponível pelos extratores Melich-1 (tdP-M1), Mehlich-3 (tdP-M3) e Resina Mista (tdP-RM) em função das doses de P (dP) aplicadas a cada solo e os respectivos níveis (nP)

Solo	nP						Média
	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0 ^{1/}	
tdP-M1							
	mg/dm ³						
LVd1	0,7	1,7	6,0	10,3	16,9	29,4	10,8
LVd2	56,2	60,7	68,2	76,5	106,2	139,1	84,5
LVd3	98,8	114,1	122,3	136,5	163,7	201,7	139,5
PVd	0,4	3,3	8,4	15,7	34,7	71,6	22,4
LVdf	4,6	6,6	9,7	16,9	27,9	53,4	19,9
LVAd1	0,6	3,9	6,5	17,9	28,2	74,3	21,9
LVAd2	0,3	1,9	4,1	15,2	45,1	70,6	22,9
PVAd1	205,7	225,2	228,7	252,6	261,7	311,4	247,6
PVAd2	25,1	29,5	34,7	46,4	60,9	81,9	46,4
PVAd3	13,8	17,3	25,3	35,3	54,5	83,5	38,3
CXbd	0,3	2,8	6,1	20,4	41,7	78,3	24,9
LAd	10,4	14,3	22,3	34,3	55,6	101,9	39,8
Média	34,7	40,1	45,2	56,5	74,8	108,1	59,9
tdP-M3							
	mg/dm ³						
LVd1	0,9	2,1	3,7	7,7	12,4	21,2	8,0
LVd2	45,4	48,0	48,8	57,0	61,1	73,4	55,6
LVd3	64,2	69,7	72,5	80,0	87,2	96,6	78,4
PVd	0,2	2,0	5,0	12,6	20,9	43,5	14,0
LVdf	6,1	8,2	9,8	14,0	21,2	36,4	16,0
LVAd1	0,3	1,5	2,9	9,4	13,2	29,7	9,5
LVAd2	0,2	4,8	9,3	16,0	37,8	57,7	21,0
PVAd1	96,8	104,2	113,4	125,6	139,9	159,7	123,3
PVAd2	21,7	25,1	28,6	35,1	47,1	64,1	37,0
PVAd3	12,9	16,0	20,5	29,3	36,2	53,5	28,1
CXbd	0,9	3,2	5,7	11,1	29,4	52,9	17,2
LAd	7,1	10,8	12,1	18,8	43,4	68,8	26,8
Média	21,4	24,6	27,7	34,7	45,8	63,1	36,2
tdP-RM							
	mg/dm ³						
LVd1	2,0	2,9	3,2	7,0	10,1	13,5	6,5
LVd2	49,7	55,5	58,2	70,1	67,6	96,4	66,3
LVd3	87,9	91,5	104,6	109,7	138,2	159,7	115,3
PVd	2,6	4,9	4,4	11,0	19,9	29,1	12,0
LVdf	5,0	7,4	7,8	15,9	17,1	35,1	14,7
LVAd1	2,7	4,0	4,8	8,8	11,6	23,6	9,3
LVAd2	2,9	2,7	5,0	9,1	9,7	15,2	7,4
PVAd1	81,4	83,1	89,7	99,7	116,8	124,3	99,2
PVAd2	25,2	26,4	28,7	37,5	47,2	56,8	37,0
PVAd3	12,5	14,9	19,4	28,1	42,2	50,3	27,9
CXbd	1,7	2,9	3,8	9,8	18,2	52,2	14,8
LAd	5,1	7,4	10,6	13,6	28,3	41,0	17,7
Média	23,2	25,3	28,4	35,0	43,9	58,1	35,7

^{1/}A dP correspondente ao nível 5,0 foi de 187,0 mg/dm³ para os solos LVd1, LVd2 e LVd3; 160,0 mg/dm³ para os solos PVd; LVdf e LVAd1; 137,0 mg/dm³ para os solos LVAd2; PVAd1; PVAd2; PVAd3 e CXbd e de 100,0 mg/dm³ para o solo LAd.

A média do tdP-M1 antes do cultivo foi de 19,5 mg/dm³ (Quadro 3), enquanto a média do tdP-M1 no solo das testemunhas após o cultivo foi de 34,7 mg/dm³ (Quadro 8). Desta forma, houve menor desgaste do extrator M1 na extração realizada nas amostras coletadas após o cultivo, o que pode ser explicado pelo efeito da calagem. Em solos ácidos, há grande quantidade de sítios de adsorção de P que provocam consumo de íons sulfato do extrator pelos grupos funcionais não ocupados pelo P. Quando é realizada a calagem, estes sítios de adsorção de P diminuem e, como consequência, há maior troca de sulfato do extrator pelo fosfato adsorvido ao solo, diminuindo o desgaste do extrator (Bortolon et al., 2009). Desta forma, o efeito da calagem no aumento de disponibilidade de P para as plantas foi detectado pelo extrator M1, o que não ocorreu no trabalho de Raij e Quaggio (1990), onde apenas a RA indicou o efeito do aumento da disponibilidade de P devido à calagem em comparação ao M1 e Bray-1.

Os maiores tdP-M1 podem ter ocorrido devido à elevada acidez inicial deste extrator (pH = 1,2) que tem maior capacidade de solubilizar formas de P-Ca presentes nos solos pela adição do fosfato natural e também de outras formas de P-Ca formadas devido à realização da calagem, além da solubilização, em menor quantidade, de P-Fe e P-Al (Mehlich, 1953). Desta forma, não houve perda expressiva da capacidade de extração do M1 nos solos do estudo.

Ao estudar o comportamento dos extratores M1 e M3 em seis solos do Estado do Rio Grande do Sul com diferentes características, Bortolon et al. (2009) encontraram tdP-M3 50 % a 150 % superiores aos tdP-M1, resultado semelhante ao observado por Bortolon e Gianello (2008), embora estes últimos autores tenham observado maior desgaste do extrator M3 em solos mais argilosos. Nestes estudos, para realização da correlação dos tdP pelos extratores, as amostras de solo foram coletadas antes do cultivo, proporcionando condições para maior desgaste do M1.

Os tdP pelos três extratores foram diretamente influenciados pelas dP adicionadas aos solos. Foram obtidas diferentes declividades das curvas de tdP em função das dP para cada solo, o que mostra a influência das características dos solos nas trP pelos extratores, devido à diferença na CT dos solos e na ação de cada extrator, que resulta em diferentes quantidades extraídas, embora com menor influência nas trP-RM (Quadro 9). As diferenças nos valores de intercepto são

Quadro 9. Equações dos teores de P recuperado pelos extratores Mehlich-1 (tdP-M1), Mehlich-3 (tdP-M3) e Resina Mista (tdP-RM) ($\hat{y}$, mg/dm³) em função das doses de P (dP) (x, mg/dm³) aplicadas a cada solo e taxa de recuperação de P por Mehlich-1 (trP-M1), Mehlich-3 (trP-M3) e pela Resina Mista (trP-RM)

Solo	Equação	R ²	
Mehlich-1			trP-M1
LVd1	$\hat{y} = -0,398 + 0,1565^{***} x$	0,994	0,157
LVd2	$\hat{y} = 51,71 + 0,4569^{***} x$	0,976	0,457
LVd3	$\hat{y} = 100,7 + 0,5402^{***} x$	0,993	0,540
PVd	$\hat{y} = 0,25 + 0,1718^{\Delta} x + 0,0017^{*} x^2$	0,997	0,343 ^{1/}
LVdf	$\hat{y} = 1,02 + 0,3074^{***} x$	0,973	0,307
LVAd1	$\hat{y} = 1,54 + 0,0740^{ns} x + 0,0023^{**} x^2$	0,997	0,326 ^{1/}
LVAd2	$\hat{y} = -6,15 + 0,5528^{***} x$	0,956	0,553
PVAd1	$\hat{y} = 209,48 + 0,7252^{***} x$	0,982	0,725
PVAd2	$\hat{y} = 24,08 + 0,4253^{***} x$	0,997	0,425
PVAd3	$\hat{y} = 10,96 + 0,5204^{***} x$	0,992	0,520
CXbd	$\hat{y} = -1,67 + 0,3283^{*} x + 0,00019^{o} x^2$	0,994	0,348 ^{1/}
LAd	$\hat{y} = 10,03 + 0,4656^{*} x + 0,0045^{*} x^2$	0,999	0,709 ^{1/}
		Média	0,451
Mehlich-3			trP-M3
LVd1	$\hat{y} = 0,052 + 0,1109^{***} x$	0,994	0,111
LVd2	$\hat{y} = 44,76 + 0,1514^{***} x$	0,992	0,151
LVd3	$\hat{y} = 66,06 + 0,1719^{***} x$	0,985	0,172
PVd	$\hat{y} = -2,68 + 0,2726^{***} x$	0,979	0,273
LVdf	$\hat{y} = 4,35 + 0,1891^{***} x$	0,977	0,189
LVAd1	$\hat{y} = -1,81 + 0,1840^{***} x$	0,971	0,184
LVAd2	$\hat{y} = -1,79 + 0,4337^{***} x$	0,977	0,434
PVAd1	$\hat{y} = 99,06 + 0,4612^{***} x$	0,990	0,461
PVAd2	$\hat{y} = 20,44 + 0,3144^{***} x$	0,993	0,314
PVAd3	$\hat{y} = 12,40 + 0,2981^{***} x$	0,999	0,298
CXbd	$\hat{y} = -3,33 + 0,3907^{***} x$	0,962	0,391
LAd	$\hat{y} = 2,26 + 0,6411^{***} x$	0,955	0,641
		Média	0,302
Resina Mista			trP-RM
LVd1	$\hat{y} = 1,74 + 0,0657^{*} x$	0,977	0,066
LVd2	$\hat{y} = 49,65 + 0,2316^{***} x$	0,936	0,232
LVd3	$\hat{y} = 86,61 + 0,3998^{***} x$	0,972	0,400
PVd	$\hat{y} = 1,26 + 0,1748^{***} x$	0,974	0,175
LVdf	$\hat{y} = 3,48 + 0,1831^{***} x$	0,956	0,183
LVAd1	$\hat{y} = 1,36 + 0,1286^{***} x$	0,965	0,129
LVAd2	$\hat{y} = 2,51 + 0,0937^{*} x$	0,968	0,094
PVAd1	$\hat{y} = 81,11 + 0,3438^{***} x$	0,951	0,344
PVAd2	$\hat{y} = 23,89 + 0,2489^{***} x$	0,980	0,249
PVAd3	$\hat{y} = 12,27 + 0,2975^{***} x$	0,965	0,298
CXbd	$\hat{y} = -4,24 + 0,3619^{***} x$	0,905	0,362
LAd	$\hat{y} = 4,55 + 0,3561^{***} x$	0,958	0,356
		Média	0,240

^Δ, ^o, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo a 25, 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente. ^{1/}Taxa de recuperação diferencial obtida do intervalo de dP = 0,0 mg/dm³ até a dP correspondente a 90 % da produção máxima (dP-0,9 $\hat{y}$ max.) em cada solo.

devidas às quantidades iniciais de tdP de cada solo, que refletiu diretamente, como demonstrado no quadro 5, na produção de mMS-PA, no ttP-PA e no cP-PA.

Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de P recuperado pelos extratores em função das doses de P adicionadas a cada solo foram os modelos linear e quadrático, sendo que para os extratores M3 e RM foi ajustado apenas o modelo linear, enquanto para o extrator M1, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou para os solos PVd, LVAd1, CXbd e LAd (Quadro 9).

Com o extrator M1 foram obtidas as maiores trP e com extrator RM, as menores. Apenas no solo CXbd, as taxas de recuperação dos extratores M3 e RM foram superiores a do M1. Para os três extratores houve aumento da taxa de recuperação com a diminuição da CT dos solos.

Quando foram excluídos os solos LVd2, LVd3 e PVAd1, as trP pelos extratores M1 e M3 mostraram-se melhor correlacionadas com as características do solo relacionadas com a CT, ao contrário das trP-RM, que apresentou correlação apenas com o P-rem. Foram observadas correlações positivas com o P-rem e negativas com as demais características (EU, Argila, MO e H +Al). As melhores correlações foram obtidas entre as trP pelos extratores e P-rem, sendo que o maior coeficiente de correlação para esta característica foi obtido com o extrator M3 (0,913***), seguido pelo M1 (0,870**) e pela RM (0,826**). As boas correlações ($R^2 > 0,7$), permitiram estabelecer modelos preditivos das trP-M1 e trP-M3 em função das características do solo relacionadas com a CT (Quadro 10).

A trP por determinado extrator permite estimar as dP para que haja incremento na disponibilidade de P até que se chegue ao ncP (Souza, 1999). Em função disso é importante saber se a trP é ou não influenciada por características do solo que refletem a CT, ou seja, se há desgaste do extrator. As equações do quadro 10 indicam que a recuperação do P adicionado é maior em solos com menor CT (solos arenosos) em relação a solos com maior CT (solos argilosos) para os extratores M1 e M3. Resultado semelhante foi encontrado por Bortolon e Gianello (2008), que mostram a necessidade de gerar tabelas de interpretação do tdP-M3 em função de características do solo relacionadas a CT e de fácil obtenção em laboratório, como é o caso do P-rem.

Estudos com avaliação da disponibilidade de P, S e Zn em solos tropicais mostram que, além da correlação estreita entre o teor do nutriente disponível por determinado método e o conteúdo do nutriente na planta, é desejável que o método

tenha comportamento previsível diante da variação da CT, pois há melhoria da capacidade preditiva do método, quando existe correlação entre a disponibilidade do nutriente pelo extrator e características do solo relacionadas à CT (Souza, 1999).

Quadro 10. Equações das taxas de recuperação de P para o Mehlich-1 (trP-M1), Mehlich-3 (trP-M3) e pela Resina Mista (trP-RM) em função de características dos solos relacionadas com a capacidade tempão (CT): Equivalente de Umidade (EU), Argila, Fósforo remanescente (P-rem), Matéria Orgânica (MO) e acidez potencial (H + Al)

trP por cada extrator	Característica	
	EU (kg/kg)	
trP-M1	$\hat{y} = 0,64 - 0,0010^{\circ} x$	$R^2 = 0,428$
trP-M3	$\hat{y} = 0,59 - 0,0012^{**} x$	$R^2 = 0,647$
trP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 0,212$	
	Argila (%)	
trP-M1	$\hat{y} = 0,70 - 0,0069^{*} x$	$R^2 = 0,584$
trP-M3	$\hat{y} = 0,63 - 0,0074^{**} x$	$R^2 = 0,704$
trP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 0,212$	
	P-rem (mg/L)	
trP-M1	$\hat{y} = 0,17 + 0,0116^{**} x$	$R^2 = 0,757$
trP-M3	$\hat{y} = 0,07 + 0,0119^{***} x$	$R^2 = 0,834$
trP-RM	$\hat{y} = 0,06 + 0,0074^{**} x$	$R^2 = 0,682$
	MO (g/kg)	
trP-M1	$\hat{y} = 0,54 - 0,0050^{\circ} x$	$R^2 = 0,415$
trP-M3	$\hat{y} = 0,44 - 0,0050^{\circ} x$	$R^2 = 0,423$
trP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 0,212$	
	H + Al (cmol _c /dm ³)	
trP-M1	$\hat{y} = 0,59 - 0,0446^{*} x$	$R^2 = 0,444$
trP-M3	$\hat{y} = 0,50 - 0,0475^{*} x$	$R^2 = 0,528$
trP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 0,212$	

[°], *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente. Foram excluídos os solos LVd2, LVd3 e PVAd1.

4.3. Correlações entre os teores de P disponível por cada extrator e o conteúdo de P na parte aérea das plantas de milho

A comparação dos métodos quanto a capacidade preditiva da disponibilidade de P foi feita por correlação linear entre o cP-PA e o tdP por cada extrator, pelo fato do cP-PA ser uma medida pouco afetada (não sofrer efeito de concentração ou de diluição), pelo maior ou menor crescimento das plantas, como ocorre com o teor de P no tecido (Alvarez V., 1996). A grande maioria dos trabalhos para comparação ou seleção de extratores são realizados por meio da correlação entre o P absorvido e

acumulado pela planta teste, cultivada em casa de vegetação e o tdP no solo extraído pelos extratores (Silva e Raij, 1999).

Inicialmente foi feita correlação linear entre o cP-PA das testemunhas e o tdP pelos três extratores em todos os solos. Neste caso, os coeficientes de correlação para o extrator M1 e M3 foram iguais e superiores ao da RM (Quadro 11). Posteriormente foram retirados três solos (LVd2, LVd3 e PVAd1) que não se ajustaram bem às regressões realizadas entre o ncP no solo pelos três extratores em função de características do solo relacionadas à CT (P-rem e proporção de argila), que foram os mesmos solos que apresentaram elevados valores de tdP-M1 em relação ao ncP-M1 antes do cultivo. Quando estes solos foram retirados, foi obtida maior correlação para o M3, seguida pelo M1 e RM (Quadro 11).

Quadro 11. Coeficientes de correlação linear (r) entre o conteúdo de P na parte aérea de plantas de milho (cP-PA) e o teor de P disponível pelos extratores Mehlich-1 (tdP-M1), Mehlich-3 (tdP-M3) e Resina Mista (tdP-RM) nas testemunhas de todos os solos do estudo, em nove solos e em grupos de acordo com o P-rem (G1, G2 e G3)

Métodos	12 Solos	9 Solos	Grupo 1 ^{1/}	Grupo 2 ^{1/}	Grupo 3 ^{1/}
Mehlich-1	0,84***	0,84**	0,81***	0,98***	0,87***
Mehlich-3	0,84***	0,90***	0,93***	0,98***	0,89**
Resina Mista	0,73**	0,81**	0,88***	0,71**	0,93***

, * Significativo a 1 e 0,1 %, respectivamente. ^{1/} Grupos formados de acordo com a CT estimado pelo P-rem; o Grupo 1 é composto pelos solos mais tamponados LVd1, LVd2 e LVd3, o Grupo 2 pelos solos de tamponamento intermediário PVd, LVdf e LVAd1 e o Grupo 3 pelos solos menos tamponados LVAd2, PVAd1, PVAd2, PVAd3 CXbd e LAd.

De modo geral, quando os solos foram separados por classes, em função da CT, estimada pelo P-rem, os coeficientes de correlação aumentaram para os três extratores em relação aos coeficientes de correlação obtidos com nove solos. Houve maior aumento da correlação para o extrator M3 em todas as classes, o que indica a sensibilidade deste extrator à CT, o que justifica a separação dos solos em classes de acordo com características relacionadas com a CT, como tem sido feito para interpretação de tdP-M1 em solos do estado de Minas Gerais utilizando classes de P-rem e proporção de argila (Avalrez V. et al, 1999).

Quando a correlação foi realizada entre o tdP e o cP-PA utilizando todas as dP, foram obtidos altos coeficientes de correlação linear para os três extratores (Quadro12), o que mostra que a correlação deve ser realizada com os resultados médios das testemunhas e não individualmente por solo (Quadro 11).

Quadro 12. Coeficiente de correlação linear simples entre conteúdo de P da parte aérea de plantas de milho (cP-PA) e o teor de P disponível pelos extratores Mehlich-1 (tdP-M1), Mehlich-3 (tdP-M3) e Resina Mista (tdP-RM) nos solos com todas as doses de P

Solo	Mehlich-1	Mehlich-3	Resina Mista
LVd1	0,980***	0,980***	0,983***
LVd2	0,816*	0,816*	0,834*
LVd3	0,852*	0,863*	0,799*
PVd	0,943**	0,958**	0,969***
LVdf	0,915**	0,915**	0,855*
LVAd1	0,971***	0,984***	0,981***
LVAd2	0,973***	0,988***	0,971***
PVAd1	0,865*	0,930**	0,956**
PVAd2	0,956**	0,960**	0,944**
PVAd3	0,976***	0,975***	0,920**
CXbd	0,934**	0,919**	0,867*
LAd	0,981***	0,958**	0,926**

*, **, *** significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Ao comparar os métodos M1, M3, RA e Bray-1, Brasil e Moraoka (1996) estabeleceram correlações dos tdP por cada extrator com a mMS e o cP de plantas de caupi e arroz. Os dados mostram que as maiores correlações, independentemente do extrator, foram obtidas quando, na correlação, foi utilizado o cP e não a mMS, muito embora os autores tenham tomado a correlação entre as tdP e a mMS para comparar a capacidade preditiva dos métodos nos solos em estudo, concluindo que o M3 foi superior aos demais extratores.

Resultados semelhantes foram obtidos por Braidá et al. (1996) ao estudar o comportamento do M1 e RA em 10 solos do Rio Grande do Sul com diferentes teores de argila. Ao separar os solos em classes de acordo com a proporção de argila, foram obtidos maiores coeficientes de correlação tanto para o M1 como para RA, embora com maiores aumentos para o M1. Os autores concluíram que a resina apresenta vantagem para análises de rotina por não haver necessidade de agrupar os solos em classes de acordo com a CT, mas destacam a maior facilidade de extração do M1. No entanto, a separação dos solos em classes não é necessária para as análises de rotina, uma vez que para interpretação da disponibilidade de P pelo

extrator M1 faz-se necessário o conhecimento do P-rem como medida da CT do solo, que é realizado rotineiramente em laboratórios que empregam oficialmente o M1 para determinação do P disponível (Lopes e Alvarez V., 1999).

Os resultados para utilização de resinas têm sido variáveis de acordo com os trabalhos em comparação com os demais extratores. Neste trabalho, a RM apresentou eficiência inferior ou semelhante aos demais extratores a depender da correlação realizada (Quadros 11 e 12). A técnica de extração de P pela RM apresenta boa fundamentação teórica, pois o processo simula a absorção de P pelas raízes, onde há transferência de P lábil para solução do solo e depois para as raízes (Silva e Raij, 1999).

Diversas vantagens da utilização da RM são citadas por Silva e Raij (1999) tais como extração contínua dentro do tempo de agitação devido à alta capacidade de troca da resina em relação às quantidades adsorvidas aos solos (Raij et al., 1986); não é utilizado nenhum reagente químico que poderia dissolver formas de P não lábeis, muito embora, a utilização de RM possa solubilizar, mesmo que em pequenas quantidades, algo de P-Ca, uma vez que este extrator também atua como dreno Ca. Em solos adubados com fosfato natural da Carolina do Norte, Termofosfato Yoorin-granular e Termofosfato Yoorin-fino, as correlações entre tdP-RA e o cP em plantas de caupi e arroz foram inferiores às obtidas com M1, M3 e Bray-1 (Brasil e Muraoka, 1996).

No processo de extração com a RM há uma etapa prévia de desagregação do solo em solução aquosa com agitação com bolinha de vidro por 1,0 h a 220 rpm (Raij et al., 2001) o que pode fazer com que haja extração de formas de P não disponíveis em condições naturais do solo devido ao efeito na diminuição do tamanho das partículas do solo (Wang et al., 2006; Rolim et al., 2008).

A superestimação de P pelo extrator Mehlich-1 em solos naturalmente ricos em P-Ca ou naqueles que receberam adubações com fosfatos naturais é amplamente reportada na literatura (Mehlich, 1984; Raij, 1978; Raij e Diest, 1980; Braida et al., 1996; Novais e Smyth, 1999). Com o aumento do uso de fertilizantes fosfatados como superfosfato simples, fosfatos naturais e com altas doses de calcário utilizadas na agricultura brasileira ao longo de vários anos, que incrementam formas de P-Ca no solo, diversos estudos avaliaram a efetividade do extrator M1 em predizer a disponibilidade de P para as plantas nestas condições. Neste trabalho houve alta

correlação entre o tdP-M1 nas testemunhas e o cP-PA das plantas milho, tanto em solos provenientes de áreas naturais quanto de solo provenientes de áreas cultivadas.

A eficiência dos extratores de P pode ser relacionada à capacidade de extração de formas de P inorgânico que se correlacionem com a absorção pelas plantas (Novais e Smyth, 1999; Souza Júnior, 2012). Estudos de fracionamento de P em solos tropicais tem mostrado que as plantas, de modo geral, absorvem, preferencialmente, P-Fe e P-Al e pouco P-Ca (Novais e Kamprath, 1978, Silva et al., 2003) por serem as frações P-Fe e P-Al predominantes em solos ácidos e pobres em Ca^{2+} .

Ao estudar o fracionamento do P inorgânico do solo e suas correlações com o P quantificado pelos extratores M1, M3, RM e Bray-1, Souza Júnior et al. (2012) chama atenção para o fato de que, em alguns solos alcalinos e com altos teores de Ca^{2+} em que se esperava aumento na fração P-Ca como consequência da aplicação de P no solo, houve aumento da fração P-Al e que na extração sequencial das frações de P, em que o P-Al é extraído com NH_4F antes da extração do P-Ca, o íon fluoreto pode complexar Ca, formando CaF_2 . Além de que, no mesmo estudo, foram observadas correlações positivas entre P-Al e os teores de Ca^{2+} ($r = 0,67^{**}$). Desta forma, os autores afirmam que não há como garantir que todo o P-Al seja realmente P-Al, podendo ser retirada alguma parte de P-Ca no fracionamento de Chang e Jackson (1957).

Assim, a boa capacidade preditiva do extrator M1 em solos corrigidos e frequentemente adubados com diferentes fontes de P, como nos solos coletados em áreas cultivadas neste estudo, pode estar relacionado à formação de P-Ca com menor energia de ligação que o P-Ca formado em solos alcalinos, naturalmente ricos em Ca^{2+} . Desta forma, o extrator M1 extrai formas de P-Ca em solos cultivados com capacidade semelhante a das plantas, não perdendo sua capacidade preditivas nestas condições.

A proporção de 80 % de fonte solúvel e 20 % de fosfato natural na composição das dP neste estudo, aliado ao curto período de cultivo (45 d) fez com que o P mais lábil, proveniente da fonte solúvel ou o P-Ca com menor energia de ligação presente nos solos provenientes de áreas cultivadas, fosse suficiente para atender a demanda das plantas neste cultivo. Desta forma, foi encontrada boa correlação entre tdP-M1 e cP-PA, uma vez que a quantidade de fosfato natural

utilizada pode não ter sido suficiente para que ocorresse dissolução excessiva de P-Ca pelo M1.

Estes resultados demonstram que os três extratores (M1, Me e RM) podem ser utilizados de forma satisfatória para determinação da disponibilidade de P em solos com diferentes características. No entanto, deve-se atentar para a sensibilidade dos extratores M1 e M3 quanto à CT.

O extrator M3 apresentou elevados coeficientes de correlação com o cP-PA. Este resultado está em conformidade com diversos trabalhos realizados em casa de vegetação e até em campo, utilizando o M3. Em cinco experimento de campo com adubação de correção, Lins e Cox (1989) observaram superioridade do M3 em relação à RA e ao Bray 1.

Além dos bons resultados apresentados para a extração de P, outros estudos apontam a efetividade do M3 como extrator multielementar, que é um dos principais fatores que tem motivado as pesquisas em métodos de análises (Raij, 1994; Silva e Raij, 1999) por simplificar os procedimentos analíticos e aumentar a economia e a eficiência dos laboratórios de análise de solo (Bortolon e Gianello, 2010). Fato que se torna ainda mais importante com o crescente uso da técnica de ICP-OES (Sikora et al, 2005; Milagres et al., 2007).

É importante destacar que trabalhos em que se aplicam doses de determinado nutriente seguida pela extração dias após a aplicação, não há grande interação do nutriente com a matriz do solo, que pode levar a maiores valores de correlação (Couto, 1985; Rodrigues et al, 2010). Fato particularmente importante para o P, em que ligações adicionais são formadas com o tempo de contato com o solo, reduzindo a disponibilidade do nutriente para as plantas e podendo alterar as correlações estabelecidas inicialmente (Novais e Smyth, 1999).

Foram realizadas correlações entre os tdP obtidos pelos extratores nas testemunhas e em todas as doses e todas unidades experimentais (Figura 4). Foram obtidas estreitas correlações entre os extratores tanto nas testemunhas quanto nos demais tratamentos. Houve alto grau de correlação entre os tdP-M1 e os tdP-M3 ($r = 0,976^{***}$ para as testemunhas e $r = 0,982^{***}$ para todos os tratamentos), assim como entre os tdP-M3 e tdP-RM ($r = 0,963^{***}$ para as testemunhas e $r = 0,909^{***}$ para todos os tratamentos) e entre os tdP-M1 e tdP-RM ($r = 0,898^{***}$ para as testemunhas e $r = 0,896^{***}$ para todos os tratamentos).

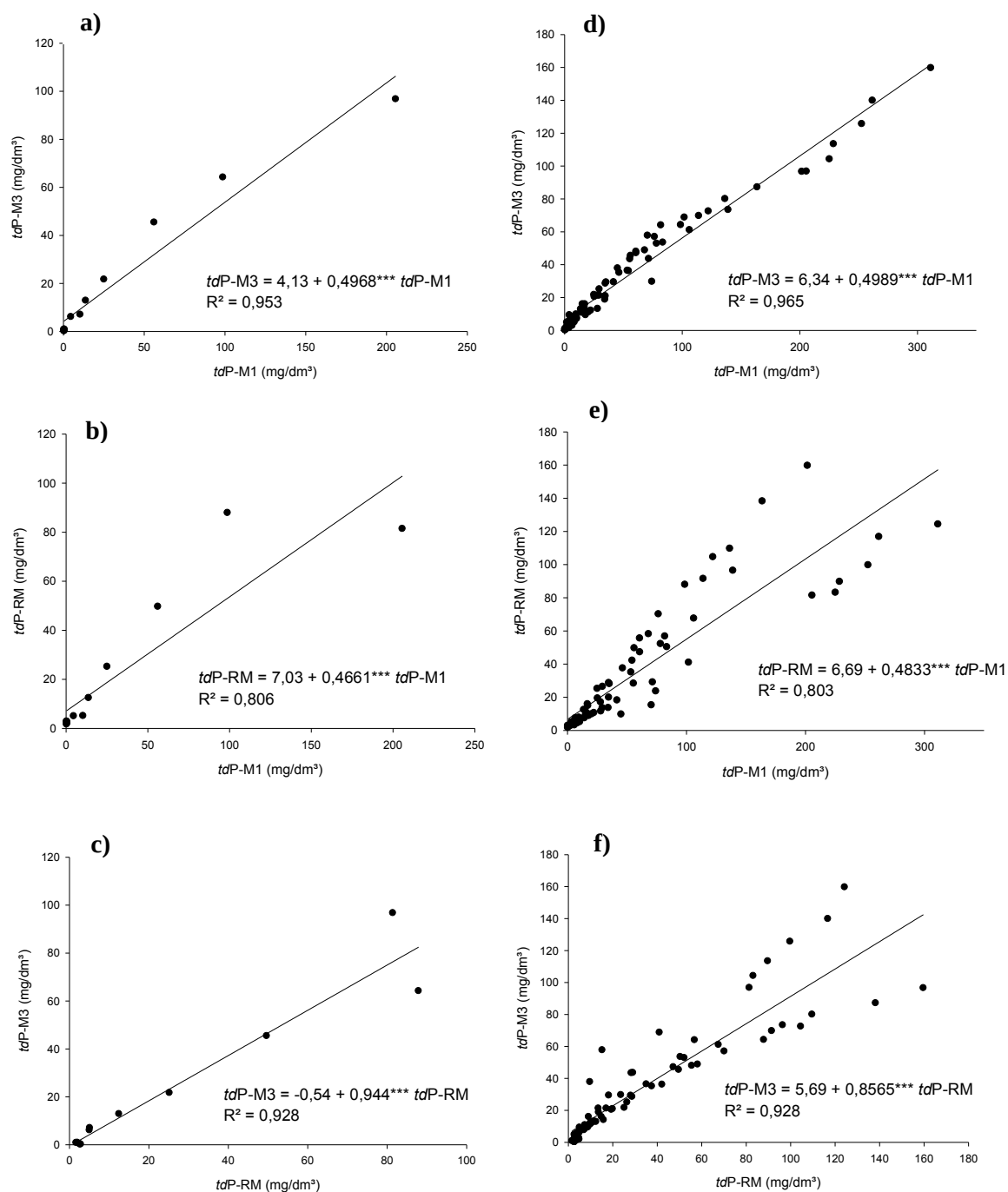


Figura 4. Correlação entre os teores de P disponível pelos extratores Mehlich-1 (tdP-M1), Mehlich-3 (tdP-M3) e Resina Mista (tdP-RM). Correlação realizada com os tdP das testemunhas (a, b, c) e correlação realizada com os tdP de todas as unidades experimentais (d, e, f). *** significativo a 0,1 %.

Menores coeficientes de correlação foram observados entre tdP-M1 e tdP-M3 em estudo realizado com cinco solos da Amazônia cultivados com caupi e arroz, em que foram obtidos $r = 0,521^{**}$ em amostras coletadas antes da semeadura do caupi e $r = 0,572^{**}$ em amostras coletadas antes da semeadura do arroz (Brasil e Muraoka, 1997). Neste mesmo trabalho, as melhores correlações foram obtidas entre os extratores M3 e Bray-1 e houve menor correlação entre os tdP-M1 e os tdP-RA ($r = 0,496^{**}$ e $r = 0,529^{**}$ para cada cultivo).

Ao comparar os tdP-M1 e tdP-M3 em 360 amostras de solo do Estado do Rio Grande do Sul com ampla variação de características físicas e químicas, Bortolon e Gianello (2008) obtiveram alto grau de correlação entre os extratores ($r = 0,95^{**}$). Resultado semelhante em estudo realizado com seis solos também do Estado do Rio Grande do Sul ($r = 0,99^{*}$) (Bortolon et al., 2009).

4.4. Níveis Críticos de P no Solo

Foi observada ampla variação nos ncP pelos extratores (Quadro 13). Em média, os maiores ncP foram obtidos com o extrator M1 e os menores com o M3, seguindo a mesma tendência dos tdP e das trP. Os maiores valores de ncP para os três extratores foram obtidos nos solos coletados em áreas cultivadas.

A amplitude de variação dos ncP foi de 24,8 a 210,6 mg/dm³ para ncP-M1, de 17,9 a 99,8 mg/dm³ para ncP-M3 e de 11,4 a 108,4 mg/dm³ para a RM (Quadro 13). A grande variação nos ncP pelos extratores se deve, além das diferentes CT dos solos, das diferenças na disponibilidade de P dos solos antes do cultivo. Quando os solos foram agrupados de acordo com o local de coleta, foi observado que a amplitude dos ncP foi menor, sobretudo quando foram desconsiderados os solos LVd2, LVd3 e PVAd1, que apresentavam tdP-M1 acima do ncP-M1 antes do cultivo. Neste caso, a amplitude de variação foi de 24,8 a 50,7 mg/dm³ para ncP-M1, 17,9 a 39,5 mg/dm³ para ncP-M3 e 11,4 a 35,0 para ncP-RM.

As tabelas de interpretação da disponibilidade de P nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5º Aproximação) (Ribeiro et al., 1999) estratificam a disponibilidade de P de acordo com a proporção de argila em quatro classes ou com o P-rem em cinco classes, considerando a sensibilidade do

extrator à CT. Na tabela de interpretação da disponibilidade de P para as culturas de um modo geral, os ncP-M1 variam de 8,0 a 30,0 mg/dm³ de acordo com a proporção de argila e de 6,0 a 30,0 mg/dm³ de acordo com o P-rem (Alvarez et al., 1999). Desta forma, os ncP obtidos em casa de vegetação neste trabalho se aproximam bem dos ncP obtidos em estudos de calibração no campo. Embora a média dos ncP com todos os solos seja maior, quando foram retirados os solos com tdP-M1 acima do ncP-M1 (LVd2, LVd3 e PVAd1), a média dos ncP foi de 39,0 mg/dm³ para o M1, 29,6 para o M3 e 22,9 para a RM (Quadro 13).

Quadro 13. Níveis Críticos de P no solo pelos extratores Mehlich-1 (ncP-M1), Mehlich-3 (ncP-M3) e Resina Mista (ncP-RM); média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) dos ncP obtidos por cada extrator com os 12 solos e com os 9 solos (após retirar os solos LVd1, LVd2 e PVAd1)

Solo		ncP-M1	ncP-M3	ncP-RM
		mg/dm ³		
	LVd1	24,8	17,9	12,3
	LVd2	51,7	44,8	49,7
	LVd3	130,1	75,4	108,4
	PVd	34,8	24,8	18,9
	LVdf	31,7	23,2	21,8
	LVAd1	37,2	18,3	15,4
	LVAd2	46,5	39,5	11,4
	PVAd1	210,6	99,8	81,7
	PVAd2	42,9	34,3	34,9
	PVAd3	50,7	35,1	35,0
	CXbd	34,0	36,8	32,9
	LAd	48,4	36,9	23,8
	Média	62,0	40,6	37,2
12 solos	Desvio Padrão	54,1	24,1	29,8
	CV (%)	87,3	59,4	80,1
	Média	39,0	29,6	22,9
9 Solos	Desvio Padrão	8,6	8,5	9,4
	CV (%)	22,2	28,8	41,1

A recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, Boletim Técnico nº 100 (Raij et al., 1997) estratifica a disponibilidade de P pela RM em cinco classes de acordo com a cultura em questão. Para espécies florestais o ncP-RM é de 8,0 mg/dm³, para culturas perenes 30,0 mg/dm³, para culturas anuais 40,0 mg/dm³ e para hortaliças 60,0 mg/dm³. Considerando que os ncP-RM variaram de 11,4 a 35,0 mg/dm³ quando foram desconsiderados os solos LVd2, LVd3 e

PVAd1, os ncP-RM obtidos em casa de vegetação neste estudo também estão de acordo com os ncP-RM obtidos em trabalhos de calibração realizados no campo.

De modo geral, os ncP obtidos em casa de vegetação com cultivo em vasos são superiores àqueles obtidos em experimentos de campo (Corrêa, 1991), o que torna necessário a realização de experimentos de calibração no campo para definição dos ncP e das trP para obtenção das DR (Alvarez V., 1996). Estes experimentos são realizados após os estudos de correlação realizados em casa de vegetação. Devem-se escolher criteriosamente os solos e os locais para montagem dos experimentos e faz-se necessária a realização de repetições dos experimentos em diferentes anos para minimizar os efeitos que não podem ser mantidos constantes, como o clima, por exemplo, o que onera a realização destes estudos (Cantarutti et al., 2007).

Os elevados ncP obtidos em casa de vegetação são consequência da dP ser aplicada ao volume total de solo. Nesta condição, os níveis críticos só seriam compatíveis com os obtidos no campo se a amostragem no campo fosse realizada apenas na região da cova ou do sulco de plantio. Assim, os níveis críticos são variáveis que dependem do método de extração, da cultura, das características do solo e também da forma de aplicação do nutriente e da forma de amostragem do solo (Alvarez V., 1996; Leite et al, 2006; Leite et al., 2009).

A obtenção de ncP em casa de vegetação com cultivo em vasos, semelhantes aos ncP obtidos em experimentos de campo ocorreu devido à forma de aplicação das dP às unidades experimentais e à forma de amostragem do solo nas unidades experimentais após o cultivo. A aplicação das dP foi realizada simulando a cova ou o sulco de plantio realizado para a cultura do milho no campo. Para tanto, as dP foram aplicadas em 10 % do volume total do solo (0,2 dm³), na metade superior do vaso (Figura 1). Após o cultivo, a amostragem foi realizada pela mistura da parte que foi aplicado P com a parte que não recebeu P na metade superior do vaso (Figura 2), simulando a amostragem composta realizada no campo.

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos obtidos em trabalho realizado em casa de vegetação por Leite et al. (2006) que estudaram a variação dos ncP de acordo com diferentes formas de localização e de amostragem do solo para a cultura do milho em vasos. Foi observado que quando o P é localizado na parte central do vaso, simulando a cova no campo e quando a amostragem é realizada pela mistura da região da cova com a região do vaso que não recebeu P (metade superior do vaso), simulando a amostragem composta, são obtidos ncP compatíveis com

aqueles obtidos em trabalhos de calibração realizados em condições de campo. Resultados semelhantes também foram obtidos para a cultura da soja (Muniz, 1983) e do eucalipto (Leite et al., 2009).

A grande amplitude dos ncP também pode ser observada pelos elevados CV obtidos para os três extratores, com maiores CV para M1 e RM e menor para o M3 (Quadro 13). Quando foram excluídos os solos LVd2, LVd3 e PVAd1, os coeficientes de variação diminuíram drasticamente (22,2 % para ncP-M1; 28,8 % para ncP-M3 e 41,1 % para ncP-RM). O CV pode ser utilizado como uma medida da sensibilidade dos extratores à CT do solo. Neste caso, quanto maior o CV, maior a sensibilidade do extrator à CT. Quando o CV foi calculado com todos os solos, o extrator mais sensível, por este critério, foi o M1 e o M3 o menos sensível (Quadro 13). Quando são eliminados os solos que possuem tdP acima do ncP, o extrator mais sensível é a RM e o menos sensível é o M1. No entanto, como pode ser observado no quadro 10, houve correlação significativa apenas entre as trP-RM e o P-rem, mostrando que este extrator é menos sensível à CT que o M1 e o M3, que se correlacionaram melhor com o P-rem e ainda, com as demais características relacionadas à CT.

Foram realizadas correlações dos ncP pelos diferentes extratores em função das características dos solos relacionadas à CT. Apenas os ncP-M1 e ncP-M3 correlacionaram-se com estas características. Para os ncP-M1, os coeficientes de correlação linear foram de -0,642° com a proporção de argila, 0,756* com o P-rem, -0,644° com a MO e -0,613° com H+Al, não houve correlação entre o ncP-M1 e EU. Para o M3 os coeficientes de correlação linear foram de -0,888** com a proporção de argila, 0,826** com o P-rem, -0,644° com a MO, -0,618° com H+Al e de -0,744* com o EU. Os ncP-RM não apresentaram correlação com estas características dos solos. As melhores correlações foram obtidas entre os ncP-M3 e os teores de argila e P-rem dos solos.

Como houve variação dos ncP pelos extratores em função das características dos solos relacionadas com à CT, foram estabelecidas equações de regressão dos ncP por cada extrator com estas características (desconsiderando os solos LVd2, LVd3 e PVAd1) (Quadro 14). O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados, com exceção da relação entre os ncP-M3 e P-rem em que o modelo descontínuo (linear platô) foi o que melhor explicou o fenômeno (Quadro 14 e Figura 5).

Os ncP-M3 só foram dependentes do P-rem até o valor de 21,2 mg/L, a partir do qual não houve mais dependência dos ncP-M3 desta medida de CT do solo, diferentemente dos ncP-M1, em que o modelo linear melhor se ajustou aos dados (Figura 4), o que sugere que não haja desgaste contínuo do M3 com diminuição da CT do solo.

Quadro 14. Equações dos níveis críticos de P para o Mehlich-1 (ncP-M1), Mehlich-3 (ncP-M3) e para Resina Mista (ncP-RM) em função de características dos solos relacionadas com a capacidade tempão (CT): Equivalente de Umidade (EU), Argila, Fósforo remanescente (P-rem), Matéria Orgânica (MO) e acidez potencial (H + Al)

(H + Al)		
ncP por cada extrator	Característica	
	EU (kg/kg)	
ncP-M1	$\hat{y} = \bar{y} = 39,0$	$R^2 = 0,554$
ncP-M3	$\hat{y} = 43,16 - 0,0615^* x$	
ncP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 22,9$	
	Argila (%)	
ncP-M1	$\hat{y} = 51,94 - 0,3059^o x$	$R^2 = 0,412$
ncP-M3	$\hat{y} = 47,33 - 0,4180^{**} x$	$R^2 = 0,888$
ncP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 22,9$	
	P-rem (mg/L)	
ncP-M1	$\hat{y} = 27,92 + 0,5328^* x$	$R^2 = 0,572$
ncP-M3	$x \leq 21,2 : \hat{y} = 9,74 + 1,2293^* x$ $x > 21,2 : \hat{y} = \bar{y} = 35,8$	$R^2 = 0,991$
ncP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 22,9$	$R^2 = 0,444$
	MO (g/kg)	
ncP-M1	$\hat{y} = 45,72 - 0,2669^o x$	$R^2 = 0,415$
ncP-M3	$\hat{y} = 36,31 - 0,2639^o x$	$R^2 = 0,414$
ncP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 22,9$	
	H + Al (cmol _c /dm ³)	
ncP-M1	$\hat{y} = 47,67 - 2,1743^o x$	$R^2 = 0,375$
ncP-M3	$\hat{y} = 38,31 - 2,1687^o x$	$R^2 = 0,381$
ncP-RM	$\hat{y} = \bar{y} = 22,9$	

^o, ^{*}, ^{**}, Significativo a 10, 5 e 1 %, respectivamente. Foram excluídos os solos LVd2, LVd3 e PVAd1.

Comportamento semelhante ao dos ncP-M3 do presente trabalho foi obtido por Novais e Smyth (1999) ao plotar os dados de ncP-M1 obtidos em nove solos de cerrado cultivados com soja do trabalho de Muniz et al. (1987) em função do P-rem (utilizando P-rem 30 mg/L). Muniz et al. (1987) utilizou o modelo linear ($\hat{y} = 11,2 + 0,9550^{**} x$, $R^2 = 0,880$) para expressar a relação entre os ncP-M1 e o P-rem. Novais e Smyth (1999) observaram que, apesar da significância, o modelo

linear não era o mais adequado para expressar o relacionamento entre as variáveis e, com os mesmos dados, ajustaram o modelo linear platô (para $x \leq 5,33$ mg/L : $\hat{y} = 5,31 + 3,51^{**} x$; e para $x > 5,33$ mg/L : $\hat{y} = 24,02$ mg/dm³; $R^2 = 0,949$). Esta simulação mostra que não houve desgaste do extrator M1 de forma contínua de acordo com o P-rem, mas que, a partir de valores intermediários de P-rem (5,33 mg/L) não houve mais desgaste do extrator.

Recentemente, Novais et al. (2015) ao estudar o desgaste do extrator M1 na determinação de P de 20 solos com acentuada variação de P-rem, por meio da determinação do teor de S nos extratos (mg/L) após o período de repouso, observou também um desgaste descontínuo do M1 com relação ao P-rem (60 mg/L) (para $x \leq 19,7$ mg/L : $\hat{y} = 128,9 + 8,77^{**} x$; e para $x > 19,7$: $\hat{y} = \bar{y} = 301,86$ mg/L; $R^2 = 0,904$). O valor de P-rem a partir do qual não há mais desgaste do extrator M1 no trabalho de Novais et al. (2015) foi de 19,7 mg/L, próximo ao valor de 21,2 mg/L encontrado para o extrator M3 no presente trabalho.

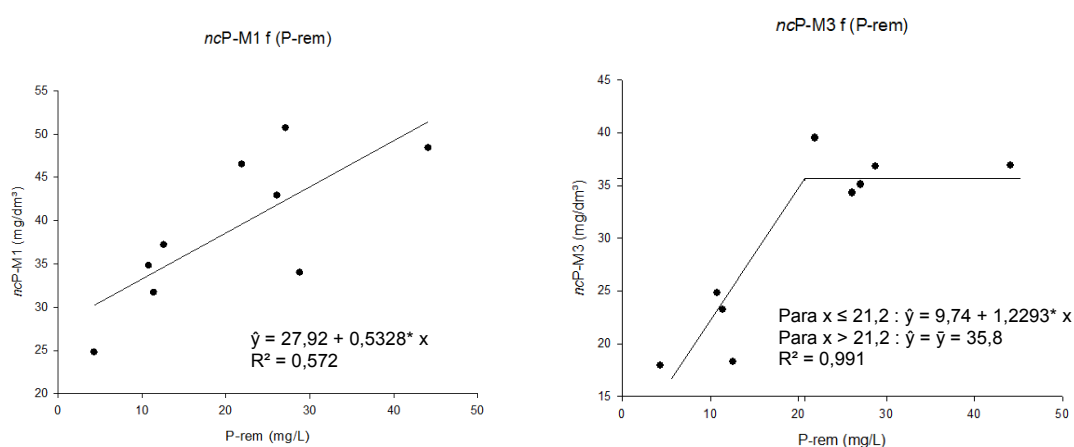


Figura 5. Níveis críticos de P pelo extrator Mehlich-1 (ncP-M1) e Mehlich-3 (ncP-M3) em função do P-rem. Para melhor ajuste dos modelos foram excluídos os solos LVd2, LVd3 e PVAd1 que apresentaram teor disponível de P acima do nível crítico.
* significativo a 5 %.

Muito embora o modelo linear tenha se ajustado melhor aos dados de ncP-M1 em função do P-rem (Figura 5), pode-se observar que não houve bom ajuste dos dados ($R^2 = 0,572$), o que indica que também houve uma perda da dependência da CT na determinação dos ncP-M1 a partir de determinado valor de P-rem (próximo de

20 mg/dm³) mesmo que a tendência do modelo linear platô não tenha sido bem caracterizada para o M1 como foi para o M3.

Resultados como este sugerem que medidas de CT como o P-rem para interpretação da disponibilidade de P em solos com diferentes CT possam estar perdendo importância em um cenário de enriquecimento dos solos com P ao passar dos cultivos como sugerido por Novais e Smyth (1999). Isto ocorre devido à diminuição gradual da energia de ligação do P ao solo, à medida que este é enriquecido com P (Bahia Filho, 1982). Desta forma, quando são utilizados extratores sensíveis à CT, como M1 e M3 deve-se também utilizar um modelo descontínuo para interpretação da disponibilidade de P no solo, como proposto por Novais et al. (2015).

4.5. Classes de interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-3

Como foi observado a sensibilidade do extrator M3 à CT do solo, devido à influência de características relacionadas à CT nas trP-M3 e nos ncP-M3 e, conseqüentemente, nos tdP-M3, foram propostas faixas de interpretação dos tdP-M3 em função das características proporção de argila e P-rem (Quadro 15), que foram as medidas de CT que melhor se correlacionaram com as trP-M3 e com os ncP-M3.

A equação utilizada para determinar os limites de definição de classes foi a que relaciona os tdP-M3 em função dos tdP-M1 obtidos em todas as unidades experimentais: $tdP-M3 = 6,34 + 0,4989^{***} tdP-M1$ ($R^2 = 0,965$) (Figura 4, d). Desta forma, os limites de definição de classes da tabela de interpretação da disponibilidade de P nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Alvarez V. et al., 1999) foram substituídos na equação acima para obtenção dos limites de definição de classes por M3.

Faixas de interpretação dos tdP-M3 foram propostas por Bortolon e Gianello (2008) para solos do Estado do Rio Grande do Sul em que os limites de classe também foram determinados por meio de modelos preditivos estabelecidos entre os tdP-M1 e os tdP-M3. Contudo, estes autores levaram em consideração apenas a proporção de argila como medida da CT. Por não fornecer informação a respeito da qualidade da argila e pela dispersão incompleta da argila em alguns solos tropicais

(Donagemma et al, 2003), a análise textural não é tão adequada para estratificação da disponibilidade de P quanto o P-rem. O P-rem, além de ser determinado rotineiramente nos laboratórios que adotam oficialmente o M1, é uma melhor medida da CT (Corrêa et al, 2001) como pode ser observado nas correlações entre trP e ncP pelos extratores M1 e M3 neste trabalho.

Quadro 15. Classes de interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-3 (tdP-M3) de acordo com a proporção de argila do solo ou com o P-rem

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ^{1/}	Bom	Muito bom
	tdP-M3				
Argila (%)	----- mg/dm ³ -----				
60 – 100	≤ 7,7	7,8 – 9,0	9,1 – 10,3	10,4 – 12,3	>12,3
35 – 60	≤ 8,3	8,4 – 10,3	10,4 – 12,3	12,4 – 15,3	>15,3
15 – 35	≤ 9,6	9,7 – 12,3	12,4 – 16,3	16,4 – 21,3	>21,3
0 – 15	≤ 11,3	11,4 – 16,3	16,4 – 21,3	21,4 – 28,8	>28,8
P-rem (mg/L)					
0 – 4	≤ 7,8	7,9 – 8,5	8,6 – 9,3	9,4 – 10,8	>10,8
4 – 10	≤ 8,3	8,4 – 9,3	9,4 – 10,5	10,6 – 12,6	>12,6
10 – 19	≤ 9,3	9,4 – 10,5	10,6 – 12,0	12,2 – 15,1	>15,1
19 – 30	≤ 10,3	10,4 – 12,0	12,1 – 14,2	14,3 – 18,3	>18,3
30 – 44	≤ 11,8	11,9 – 14,2	14,3 – 17,2	17,3 – 22,8	>22,8
44 – 60	≤ 13,8	13,9 – 17,2	17,3 – 21,3	21,4 – 28,8	>28,8

^{1/} Os limites superiores desta classe representam os níveis críticos.

Como pode ser observado no quadro 15, o tdP-M3 é estratificado de acordo com o P-rem em menores intervalos a partir do P-rem acima de 19 mg/L (14,2 – 21,3 mg/dm³) do que na recomendação de Alvarez V. et al. (1999) para os tdP-M1 (15,8 – 30,0 mg/dm³) tomando os ncP como exemplo. Desta forma, as faixas de interpretação dos tdP-M3 propostas neste trabalho levam em consideração o desgaste descontínuo do extrator M3 (Figura 5), como proposto por Novais et al. (2015) para o extrator M1. Menores intervalos de disponibilidade também foram obtidos para a argila como medida da CT em comparação com os intervalos propostos por Alvarez V. et al. (1999).

5. CONCLUSÕES

O Extrator Mehlich-1 apresentou maior capacidade de extração de P que o Mehlich-3 e a Resina Mista.

A capacidade preditiva dos extratores Mehlich-3 e Mehlich-1 quanto à disponibilidade de P são maiores do que a da Resina Mista.

O P-rem e a proporção de argila foram as duas características relacionadas à capacidade tampão do solo que melhor se correlacionaram às taxas de recuperação e aos níveis críticos de P pelos extratores Mehlich-3 e Mehlich-1. A Resina Mista não apresentou sensibilidade à capacidade tampão.

Os níveis críticos de P pelo extrator Mehlich-3 só foram dependentes do P-rem como medida da capacidade tampão até $P\text{-rem} = 21,2 \text{ mg/L}$, a partir do qual não houve desgaste do extrator, o que refletiu em menores intervalos de disponibilidade de P na tabela classes de interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-3.

Recomenda-se o Mehlich-3 como extrator do P disponível em solos com diferentes características, desde que se utilize uma medida da CT dos solos como o P-rem ou a proporção de argila.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez V VH, Novais RF, Dias LE, Oliveira JA. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000;25:27-33.

Alvarez V VH, Novais RF, Barros NF, Cantarutti RB, Lopes AS. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimaraes PTG, Alvarez V VH. editores. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5 Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG; 1999. p. 25-32.

Alvarez V VH. Correlação e calibração de métodos de análises de solo. In: Alvarez V VH, Fontes LEF e Fontes MPF, editores. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 1996. p.615-46.

Alvarez V VH. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo, Micoacán. [Tese]. Chapingo: Colégio de Postgraduados; 1982.

Alvarez V VH. Enxofre: Critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: Borkert CM, Lantmann AF, editores. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1988. p.31-60.

Alvarez V VH. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1974.

Amer F, Bouldin DR, Black CA, Duke FR. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P32-equilibration. Plant Soil. 1955;6:391-408.

Bahia Filho AFC. Fósforo em Latossolos do estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo “disponível” e crescimento vegetal. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1974.

Bahia Filho AFC. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1982.

Beckett PHT, White RE. Studies on the phosphate potential of soils Part III: The pool of labile inorganic phosphate. Plant soil. 1964;21:253-82.

Beckwith SR. Soberd phosphate at standart supernatant concentration as an estimate of the phosphate needs of soils. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb. 1965;5:52-8.

Beegle D. Assessing soil phosphorus for crop production by soil testing. In: Sims JT, editores. Phosphorus: agriculture and the environment. Madson: SSSA, 2005. p. 123-44.

Bortolon L, Gianello C, Schlindwein JA. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. Sc. Agraria. 2009;10:305-12.

Bortolon L, Gianello C. Fósforo extraído pela solução de Mehlich-1 determinado por colorimetria e ICP em solos do sul do Brasil. R. bras. Ci. Solo. 2010;34:263-68.

Bortolon L, Gianello C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo. 2008;32:2751-56.

Braga JM, Defelipo BV. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres.1974; 21:73-85.

Braga JM. Formas de Potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais [Tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; 1972.

Braida JA, Camargo, FAO, Rosso IJ, Gianello C, Meurer EJ. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R. Bras. Ci. Solo. 1996;20:345-47.

Brasil EC, Muraoka T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. R. bras. Ci. Solo. 1997;21:599-606.

Bray RH, Kurtz LT. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 1945;59:39-45.

Bray RH. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requiriment. IN: Kitchen HB. editor. Diagnostic techniques for soils and crops. Washington. The American Potash Institute; 1948. p. 53-86.

Cabala R, Wild A. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction time in soil. Plant Soil. 1982; 65:351-62.

Cancela RC, Freire AR, Abreu CA, Paz Gonzalez A. Eficacia de cuatro extractantes en la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. Bragantia. 2001;60:205-12.

Cantarutti RB, Barros NF, Martinez HEP, Novais RF. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007; p.769-850.

Catani RA, Gargantini H. Extração do fósforo do solo pelo método de Neubauer e por métodos químicos. *Bragantia*. 1954;13:55-62.

Cate, RSJ, Nelson LA. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings*. 1971; 35:658 - 60.

Chang SC, Jackson ML. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci*. 1957;84:133-44.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFSRS/SC. Manual de recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: SBSC/NRS; 2004.

Corrales RA. Avaliação e Calibração de extratores de fósforo em três diferentes ordens de solo da Costa Rica. [Dissertação]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, 2013.

Corrêa LA. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. cv Marandu e *Panicum maximum* Jacq., em Latossolo Vermelho-Amarelo álico [Tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; 1991.

Corrêa RM, Nascimento DC, Rocha DA. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. *Acta Sci Agron*. 2011;33:153-9.

Couto C, Novais RF, Barros NF, Neves JCL. Resposta do eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. *R Árvore*. 1985;9:134-48.

Dalal RC, Hallsworth EG. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Am. Proc*. 1976; 40:541-6.

Dechen AR, Nachtigall GR. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007; p.92-132.

Donagemma GK, Ruiz HA, Fontes MPF, Ker JC, Schaefer CEGR. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *R Bras Ci Solo*. 2003;27:765-72.

Dyer B. On the analytical determination of probable available mineral plant food in soils. Trans. Chem. Soc. 1894;65:115-67.

Egner H, Riehm H, Domingo WR. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 1960;26:204-9.

Estados Unidos. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual. Washington, D.C. 1993. (USDA – Agriculture Handbook, 18).

Fabres AS. Disponibilidade de fósforo em solos e concentrações críticas de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em amostras de diferentes solos [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1986.

Farias DR, Oliveira FHT, Santos D, Arruda JÁ, Hoffmann RB, Novais RF. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. II. Disponibilidade de fósforo para plantas de milho. R. Bras. Ci. Solo. 2009b;33:633-46.

Fitts JW. Proper soil fertility evaluation as an important key to increase crop yields. In: Hernando V. editor. Fertilizers, crop quality and economy. Amsterdam: Elsevier; 1974. p.5-44.

Fonseca DM. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa* [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1987.

Fontes MPF, Weed SB. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationship with specific surface area and mineralogy. Geoderma. 1996;72:37-51.

Freire FM, Novais RF, Neves JCL. Níveis críticos de fósforo para o crescimento de estilingas como função do fator capacidade de fósforo do solo. R. Ceres. 1985;32:488-99.

Fried M, Dean LA. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci. 1952;73:263-71.

Gjorup GB, Novais RF, Barros NF, Neves JCL. Avaliação do método do papel aniônico como extrator de fósforo disponível do solo. R. Bras. Ci. Solo. 1993;17:417-22.

Holford ICR, Mattingly GEG. Effects of phosphate buffering on the extraction of labile phosphate by plants and by soil tests. Aust. J. Soil Res. 1979;17:511-14.

Isherwood KF. Mineral fertilizer use and the environment. International Fertilizer Industry Association Revised Edition. Paris, February, 2000; p. 1-63.

Jones JB. Universal soil extractants: their composition and use. *Comm. Soil Sci Plant Anal.* 1990;21:1091-101.

Kaminski, J. Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao Calcário no Suprimento de Fósforo ao Sorgo em três Solos Ácidos. [Tese]. Piracicaba: ESALQ/USP;1983.

Larsen S. The use of P32 in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil.* 1952;4:1-10.

Leite PB, Alvarez V. VH, Barros NF, Neves JCL, Guarçoni M. A, Zañão Júnior LA. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. *R. Bras. Ci. Solo.* 2009; 33:1311-22.

Leite PB, Alvarez V. VH, Barros NF, Neves JCL, Guarçoni M. A. Níveis críticos de fósforo, para milho, em casa de vegetação, de acordo com sua localização no solo. *R. Bras. Ci. Solo.* 2006; 30:497-508.

Lins IDG, Cox FR. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1989;53:813-16.

Lopes AS, Alvarez V VH. Apresentação dos resultados das análises de solo. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH, editores. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5 Aproximação.* Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p.21-24.

Lopes AS, Carvalho, JG. Técnicas de levantamento e diagnose da fertilidade do solo. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araujo JD, Lourenço S. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo.* Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991; p.1-58.

Lopes AS, Guilherme LRG. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. *Fertilidade do solo.* Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.1-64.

Mallarino AP. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively-coupled plasma emission spectroscopy determination methods. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 2003;67:1928-34.

McAuliffe CD, Hall NS, Dean LA, Hendricks SB. Exchange reactions between phosphates and soils: Hydroxylic surfaces of soil minerals. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1948;12:119-23.

Medeiros JS, Oliveira FHT, Arruda JA, Vieira MS, Fontes MPF. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos o estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. *R. Bras. Ci. Solo.* 2010;34:183-94.

Mehlich A, Bowling SS. Advances in soil test methods for copper by atomic absorption spectrophotometry. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1975;6:113-28.

Mehlich A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4 by North Carolina Soil Testing Laboratories. Raleigh, University of North Carolina, 1953 (não publicado).

Mehlich A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1984;15:1409-16.

Mehlich A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1978;9:477-92.

Milagres JJM, Alvarez V. VHA, Cantarutti RB, Neves JCL. Determinação de Fe, Zn, Cu e Mn extraídos do solo por diferentes extratores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica. *R. Bras. Ci. Solo.* 2007;31:237-45.

Miola GR. Extração de P, K, Ca e Mg do solo por diferentes métodos e avaliação da disponibilidade de P para as plantas [Dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995.

Moreira A, Malavolta E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. *Pes. Agro. Bras.* 2001;36:1519-27.

Morgan MF. Chemical soil diagnosis by the universal testing system. New Haven, Connecticut Agric. Exp. Stn., 1941.

Muniz AS, Novais RF, Freire FM, Neves JCL, Barros NF. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. *R. Ceres.* 1987;34:125-51.

Muniz AS. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* L. Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1983.

Nelson WL, Mehlich A, Winters E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: Pierre WH, Norman AG, editores. *Soil fertilizer phosphorus*. New York: Academic; 1953.p.153-88.

Neves JCL, Novais RF, Barros NF, Miniz AS. Níveis críticos de fósforo em diferentes solos e extratores químicos para o crescimento de mudas de eucalipto. *Acta For. Bras.* 1987;2:64-80.

Novais RF, Kamprath EJ. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1978;42:931-35.

Novais RF, Mello JWV. Relação solo-planta. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007; p.134-204.

Novais RF, Neves JCL, Barros NF. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. EMBRA-SEA; 1991; p. 189-254.

Novais RF, Smyth TJ. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1st ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; 1999.

Novais RF. Phosphorus syppying capacity of previously heavily fertilized soils. [Tese]. Raleigh: North Carolina State University; 1977.

Novais SV, Matiello EM, Vergutz L, Melo LCA, Freitas IF, Novais RF. Loss of extraction capacity of Mehlich-1and monocalcium phosphate as a variable of remaining P and its relationship to critical levels of soil phosphorus and sulfur. *R Bras Ci Solo*. 2015;1079:87.

Novelino JO, Novais RF, Neves JCL, Costa LM, Barros NF. Solubilização de Fosfato-de-Araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco Latossolos, na presença e na ausência de calagem. *R. Bras. Ci. Solo*. 1985;9:13-22.

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington, DC. USDA, 1954. (USDA Circ., 939)

Olsen SR. The measurement of phosphorus on the surface of soil particles and its relationship to plant available phosphorus. In: Olsen SR, editores. *Use of radioisotopes in plant and animal res*. Manhattan, USAEC/TID, 1952. p. 59-67.

Pavinato OS, Rosolem CA. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*. 2008; 32:911-20.

Piha MI. Evaluation of Mehlich-3 extractant for estimating phosphorus deficiency and phosphorus sorption of Zimbabwean soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*. 1993;24:1397-408.

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. Editores. *Análise química para avaliação da fertilidade do solo*. Campinas: Instituto Agrônômico; 2001.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC; 1997.

Raij BV, Diest AV. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxissol. Plant and Soil. 1980;55:97-104.

Raij BV, Feitosa CT. Correlação entre o fósforo extraído de solos por diversos extratores químicos e o absorvido pelo milho. Bragantia. 1980;39:51-7.

Raij BV, Quaggio JA, Silva NM. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 1986;17:547-66.

Raij BV. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres; 1991.

Raij BV. New diagnostic techniques, universal soil extractants. Comm Soil Sci Plant Anal. 1994;25:799-816.

Raij BV. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. R. Bras. Ci. Solo. 1978; 2:1-9.

Raij BV; Feitosa CT, Silva NM. Comparação de quatro extratores de fósforo de solo. Bragantia. 1984;43:17-29.

Rheinheimer DS, Gatiboni LC, Kamisnki J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ci. Rural. 2008;38:576-86.

Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH, editores. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999.

Rodrigues FAV, Barros NF, Neves JCL, Alvarez V. VH, Novais RF. Disponibilidade de Cobre para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. R Bras Ci Solo. 2010;34:1923-32.

Rodrigues MRL, Malavolta E, Moreira A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. Pesq. Agropec. Bras. 2001;36:143-49.

Rolim MV, Novais RF, Nunes FN, Alvarez V. VH. Efeito da moagem do solo no teor de fósforo disponível por Mehlich-1, resina em esferas e em lâminas. R Bras Ci Solo. 2008;32:1181-90.

Rossi C, Fagundes JL. Determinação do teor de fósforo em solos por diferentes extratores. R. Agri. 1998;73:215-27.

Ruiz HA, Ferreira GB, Pereira JBM. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. R. Bras. Ci. Solo. 2003;27:389-93.

Santos EA, Kliemann HJ. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de Cerrado e sua avaliação por extratores químicos. Pesq. Agropec. Trop. 2005;35:139-46.

Santos LS, Silva LS, Cargnelutti Filho A, Griebeler G. Efeito do grau de moagem, do tipo de frasco e do volume de vazio sobre a variabilidade analítica do fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. R. bras. Ci. Solo. 2014;30:1478-86

Santos LS, Silva LS, Cargnelutti Filho A, Griebeler G. Quantidade de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich-1 e Mehlich-3 em razão de diferentes velocidades de agitação, tempos de contato e temperaturas. R. Bras. Ci, Solo. 2015; 39:109-119.

Schindwein JA, Gianello C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo. 2008;32:2037-49.

Schofield RK. Can a precise meaning be given to available soil phosphorus? Soils Fert. 1955;18:373-5.

Sibbesen E. An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. Plant and Soil. 1978;50:305-21.

Sikora FJ, Hower PS, Hill LE, Reid DC, Harover DE. Comparison of colorimetric and ICP determination of phosphorus in Mehlich 3 soil extracts. Comm Soil Sci Plnat Anal. 2005;36:875-87.

Silva FC, Raij BV. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesq. Agropec. Bras. 1999;34:267-88.

Silva MA, Nóbrega JCA, Curi N, Siqueira JO, Marques JJG, Motta PEF. Frações de fósforo em Latossolos. Pesq agropec Bras. 2003;38:1197-207.

Silva MAG, Muniz AS, Noda AY, Marchetti ME, DA MATA JDV, Lourente ERP. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. Acta Scient. 2009;31:537-45.

Sims JT, Johnson GV. Micronutrient soil test. In: Mortvedt JJ, editor. Micronutrient in Agriculture. Madson: Soil Sci. Soc. Am.; 1991. p.427-76.

Souza Júnior RF, Oliveira FHT, Santos HC, Freire FJ, Arruda JÁ. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. R Bras Ci Solo. 2012;36:159-69.

Souza RB. Níveis críticos de Enxofre em solos e folhas de cultivares de café [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1999.

Steiner F, Lana MC, Zoz T, Frandoloso JF, Fey R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Paraná State, Brazil. C. Agrárias. 2012;33: 1005-14.

Truog E. Determination of the readily available phosphorus of soils. J. Am. Soc. Agron. 1930;22:874-82.

Van Der Zee SEATM, Fokkink LGJ, Van Riemsdijk WH. A new technique for assesment of reversible adsorbed phosphate. Soil. Sci. Soc. Am. J. 1987;51:599-604.

Vasconcelos CA, Braga JM, Novais RF, Pinto OCB. Fósforo em dois Latossolos do Estado de Mato Grosso: I Sorção de fosfato. Expe. 1974;18:267-85.

Viègas RA. Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1991.

Wang S, Jin X, Bu Q, Zhou X, Wu F. Effects of particle size, organic matter and ionic strength on the phosphate sorption in diferente trophic lake sediments. J Hazard Mater. 2006;128:95-105.

7. ANEXO

Quadro 16. Produção de matéria seca da parte aérea (mMS-PA)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	146,882	48,960	20,87***
Solo	11	8.414,286	764,935	326,1***
dP	5	1.928,063	385,612	164,4***
dP*Solo	55	526,082	9,565	4,08***
Resíduo	213	499,589	2,345	
Total	287	11.514,90		

CV = 11,8 %; ***, significativo a 0,1 %.

Quadro 17. Teor de P recuperado pelo extrator Mehlich-1 (tdP-M1)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	2.796,526	932,175	213,37***
Solo	11	1.264.075,0	114.916,0	1.238,7***
dP	5	182.200,0	36.440,01	392,81***
dP*Solo	55	15.654,17	284,621	3,07***
Resíduo	213	19.759,49	92,767	
Total	287	1.484.486,0		

CV = 16,08 %; ***, significativo a 0,1 %.

Quadro 18. Teor de P recuperado pelo extrator Mehlich-3 (tdP-M3)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	217.100	72,3668	1,12 ^{ns}
Solo	11	309.527,1	28.138,82	435,31***
dP	5	59.773,44	11.954,69	184,94***
dP*Solo	55	7.757,120	141,038	2,18***
Resíduo	213	13.768,61	64,641	
Total	287	391.043,3		

CV = 22,19 %; ^{ns}, *** não significativo até 10 % e significativo a 0,1 %, respectivamente.

Quadro 19. Teor de P recuperado pela Resina Mista (tdP-RM)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	3.905,697	1.301,899	16,59***
Solo	11	371.327,2	33.757,01	430,09***
dP	5	42.580,28	8.516,056	108,50***
dP*Solo	55	11.392,17	207,130	2,64***
Resíduo	213	16.718,10	78,488	
Total	287	445.923,4		

CV = 24,85 %; *** significativo a 0,1 %.

Quadro 20. Teor de P da parte aérea das plantas de milho (ttP-PA)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0,405	0,135	3,31*
Solo	11	39,427	3,584	87,68***
dP	5	10,480	2,096	51,27***
dP*Solo	55	11,096	0,201	4,94***
Resíduo	213	8,707	0,048	
Total	287	70,11		

CV = 13,55 %; *, *** significativo a 5 % e a 0,1 %, respectivamente.

Quadro 21. Conteúdo de P da parte aérea das plantas de milho (cP-PA)

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	29,174	9,724	8,97***
Solo	11	3.460,860	314,623	290,22***
dP	5	630,621	126,124	116,34***
dP*Solo	55	245,330	4,460	4,11***
Resíduo	213	230,910	1,084	
Total	287	4.596,89		

CV = 19,53 %; *** significativo a 0,1 %.