

Efeito da aplicação de diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis em plantas de milho⁽¹⁾

João Augusto Dourado Loiola⁽²⁾; Vinícius de Melo Benites⁽³⁾; Gabriel Carlos Francisco⁽⁴⁾; Jéssica Franciele Kaminski Ramos⁽⁵⁾; Everaldo Zonta⁽⁶⁾; Paulo César Teixeira⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa, da Mineração Morre Verde LTDA (25100.20/0009-3) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). ⁽²⁾ Bolsista Cnpq, Discente de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). ⁽³⁾ Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos). ⁽⁴⁾ Discente de Engenharia química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. ⁽⁵⁾ Mestranda em Agronomia (Ciência do Solo) do Departamento de Solos da UFRRJ. ⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Solos da UFRRJ.

Resumo – O objetivo do trabalho foi avaliar, em casa de vegetação, frações granulométricas de uma rocha sedimentar fosfática de Pratápolis- MG (FR) em relação à produção de matéria seca e acúmulo de fósforo em milho. As frações granulométricas foram: rocha “tal e qual”, grossa, fina, “tal e qual” moída e passante em 48 mesh, grossa moída e passante em 48 mesh e média moída e passante em 48 mesh. As granulometrias foram comparadas com fonte solúvel (fosfato monocálcico) aplicada em solução. O experimento foi arranjado no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Em três ciclos sequenciais de 45 dias cada, determinou-se a matéria seca (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas de milho. A eficiência relativa das FR em relação à fonte solúvel e ao controle foi determinada para MSPA. A fração média apresentou MSPA acumulada dos três cultivos estatisticamente semelhante à fonte solúvel. No acúmulo de fósforo, a fonte solúvel de P, quando aplicada de forma completa e parcelada, foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. As frações fina, grossa e grossa moída não influenciaram significativamente o acúmulo de P em relação ao controle no 1º cultivo e no acumulado dos três cultivos. A fonte solúvel, quando aplicada de forma completa e parcelada, apresentou maior acúmulo de fósforo na parte aérea em relação aos FR nas diferentes granulometrias. A eficiência relativa das frações da rocha fosfática aumentou no acumulado dos três cultivos em relação ao primeiro cultivo, mostrando potencial efeito residual.

Palavras-Chave: Rocha fosfática, Zea mays L., Rochagem, Adubação fosfatada, granulometria

Introdução

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes fosfatados do mundo (ANDA, 2021). Em 2019, o País consumiu 5,2 milhões de toneladas de P_2O_5 , sendo que nos últimos cinco anos obteve uma taxa de crescimento de consumo de 3,2 % a.a. A produção interna de fertilizantes fosfatados não supre a demanda do país, tornando-o dependente das importações de fertilizantes fosfatados, que em 2020 foi de 72% (ANDA, 2021; BRASIL, 2021).

A grande maioria dos solos brasileiros possui alto grau de intemperismo, alta acidez trocável, baixo teor de fósforo e uma alta capacidade de fixação de fósforo, formando ligações químicas com minerais de ferro e alumínio. Desta forma, há demanda de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para contornar as perdas por fixação (Raij, 2011).

O fosfato natural (FR) é um produto proveniente da moagem da rocha fosfática contendo teores variados de P_2O_5 , e diferente solubilidade em ácido cítrico (2% relação 1:100) dependendo de sua origem. Segundo Horowitz & Meurer (2003), fosfatos naturais apresentam maior índice de eficiência agrônômica quanto mais finamente moídos .

Nos fosfatos naturais, a liberação do nutriente ocorre de mais forma lenta em relação às fontes solúveis, podendo diminuir os processos de fixação de fósforo, além de ter efeitos residuais mais prolongados no solo (Resende et al., 2006).

O objetivo do trabalho foi avaliar agronomicamente diferentes frações granulométricas de uma rocha sedimentar fosfática de Pratápolis-MG em relação à produção de matéria seca e acúmulo de fósforo em plantas de milho, em ensaio em vasos.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Solos da UFRRJ, município de Seropédica-RJ. Utilizou-se como substrato, amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade, classificado como Latossolo Vermelho conforme Santos et al. (2018). As amostras foram secas ao ar, tamisadas em peneira de 4 mm, e posteriormente incubadas com CaCO_3 (p.a.). A caracterização química do solo, após correção, foi feita conforme Raij et al. (2001) e Teixeira et al. (2017) apresentando as seguintes características químicas: $\text{Na}_{\text{Mehlich}}$ ($0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); K_{resina} ($5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{Mg}_{\text{resina}}$ ($4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{Ca}_{\text{resina}}$ ($29 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); H+Al ($39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Al_{KCl} ($0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{pH H}_2\text{O}$ (5,8); pH CaCl_2 (4,95); $\text{V}\%$ (47); $\text{P}_{\text{Mehlich}}$ ($0,4 \text{ mg dm}^{-3}$) e P_{resina} (3 mg dm^{-3}).

A rocha fosfática utilizada neste estudo advém de jazida sedimentar de Pratápolis-MG, pertencente à Mineração Morro Verde. A fração grossa continha as seguintes características mineralógicas: 51,8% de quartzo; 32,8% de fluorapatita e 15,5% de mica; a fração média continha 47,5% de quartzo; 46% de fluorapatita e 6,5% de mica; a fração fina continha 50,5 % de quartzo, 41,7% de fluorapatita e 6,9 % de mica.

As diferentes frações granulométricas da rocha fosfática foram analisadas quimicamente e os resultados entrontram-se na Tabela 1.

A distribuição total de óxidos da rocha tal e qual, determinada por fluorescência de raios-x, apresentou os seguintes resultados, P_2O_5 (16,5%); CaO (21,6%); Al_2O_3 (8,54%); Fe_2O_3 (7,92%); K_2O (1,6%); MgO (0,51%); MnO (0,54%); Na_2O (0,23%); BaO (0,16%); SiO_2 (37,7%); TiO_2 (0,52%).

Tabela 1. Fósforo total (P_{total}) e solúvel em ácido cítrico ($\text{P}_{\text{cítrico}}$) em diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis.

Descrição	Ident.	Diâmetro	P_{total}	$\text{P}_{\text{cítrico}}$
			mg P g ⁻¹	
Todas as frações	RTQ	todos	11,31	6,22
Grossa	RG	>1mm	9,21	1,69
Média	RM	0,3<Ø<1mm	14,04	7,26
Fina	RF	<0,3mm	9,56	5,77
Tal e qual moída	RTQm	<0,3mm	11,31	6,22
Grossa moída	RGm	<0,3mm	9,21	1,69
Média moída	RMm	<0,3mm	14,04	7,26

Tratamentos e amostragens

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e 10 tratamentos. As unidades experimentais foram compostas de vasos plásticos de 2 dm^{-3} , contendo 1,8 kg de solo. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 3066. Os tratamentos consistiram de: 1) Rocha pura “tal e qual” - RTQ (incluindo todas as frações granulométricas, continha $11,31 \text{ mg P g}^{-1}$), 2) rocha grossa – RG ($\text{Ø} > 1\text{mm}$, continha $9,21 \text{ mg P g}^{-1}$), 3) rocha média - RM ($1 < \text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $14,04 \text{ mg P g}^{-1}$), 4) rocha fina - RF ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $9,56 \text{ mg P g}^{-1}$), 5) rocha “Tal e qual” moída – RTQm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $11,31 \text{ mg P g}^{-1}$), 6) rocha grossa moída – RGm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, $9,21 \text{ mg P g}^{-1}$), 7) rocha média moída – RMm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $14,04 \text{ mg P g}^{-1}$), 8) Fosfato monocálcico aplicado em solução em aplicação única no 1º cultivo - PS, 9) Fosfato monocálcico aplicado em solução, de forma parcelada - PSp (50 % no 1º e 50% no 2º cultivo) e 10) tratamento controle, sem aplicação de fósforo. Para os tratamentos 5, 6 e 7, as correspondentes frações granulométricas foram moídas até atingirem diâmetro $< 0,3 \text{ mm}$. Todos os tratamentos, com exceção do

controle, receberam o total equivalente a 100 mg de P kg⁻¹ de solo ou 180 mg de P vaso⁻¹ de forma incorporada no volume total do solo antes do 1º cultivo, com exceção do tratamento com fonte solúvel parcelada, cuja aplicação foi com 50% no 1º e 50% no 2º cultivo. A definição da dose de fósforo foi realizada em experimento preliminar analisando curva de resposta a P para o referido solo.

Em todas as unidades experimentais foram semeadas oito sementes e, em seguida, foram adicionados 100 mL de solução nutritiva contendo 100 mg kg⁻¹ de N (Sulfato de amônio), 80 mg kg⁻¹ de K (Sulfato de potássio), 80 mg kg⁻¹ de Mg (Cloreto de Magnésio), 0,15 mg kg⁻¹ de Mo (Molibdato de sódio), 1 mg kg⁻¹ de B (Ácido Bórico), 4 mg kg⁻¹ de Cu (Sulfato de cobre), 8 mg kg⁻¹ de Mn (Cloreto de manganês), 4 mg kg⁻¹ de Zn (Sulfato de Zinco). Três dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

Após os 45 dias de cada plantio, as plantas foram seccionadas ao nível do solo. As amostras foram transferidas para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca seguida de moagem do material em moinho tipo Wiley. A determinação de nutrientes nas amostras vegetais foi realizada conforme Malavolta et al. (1997).

Determinou-se a eficiência relativa (ER) dos fertilizantes de acordo com a equação seguinte.

$$ER = \frac{(MSPA_tratamento) - (MSPA_controle)}{(MSPA_trat\ PS) - (MSPA_controle)} \times 100$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett (5% de significância) e ao teste de Shapiro-Wilk (5% de significância). Os dados que não atenderam os requisitos dos testes, foram tratados com Box-Cox ou raiz quadrada. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R. Os pacotes utilizados foram easyanova (Arnhold, 2013), e ggplot2 (Wickham, 2016).

Resultados e Discussão

No primeiro plantio, o tratamento com aplicação de solução de fosfato monocálcico p.a. na dose de 100 mg/kg (Fsf) foi estatisticamente superior aos demais tratamentos em relação à produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de P (Figura 1). A fonte solúvel, mesmo aplicada com metade da dose (parcelado), ainda foi superior aos demais tratamentos com aplicação do fosfato de rocha nas diferentes granulometrias, o que pode ser justificado pela alta solubilidade do fosfato monocálcico p.a e a rápida disponibilização de fósforo para a solução do solo (Vitti et al., 2003). Os dois tratamentos proporcionaram médias superiores no acúmulo de fósforo quando comparados ao fosfato natural nas diferentes frações granulométricas. Ainda, entre os tratamentos com fosfato de rocha, a fração média se destacou tanto na MSPA quanto no acúmulo de P em relação aos demais FR, o que pode ser explicado pela maior solubilidade em ácido cítrico desta fração (Tabela 1). As frações fina, grossa e grossa moída não influenciaram significativamente o acúmulo de P em relação ao controle no 1º cultivo e no acumulado dos três cultivos (Figuras 1 e 2). Os demais tratamentos se mostraram superiores ao controle. Horowitz & Meurer (2003) verificaram que o acúmulo de fósforo na parte aérea, resultante da aplicação de fosfatos naturais, foi superior ao do controle, indicando que fosfatos, nesta forma, também podem suprir fósforo às plantas.

A cominuição, por meio do processo de moagem da rocha, facilita a solubilização do fosfato, por meio do aumento da superfície dos minerais, contribuindo para maior ação dos agentes intempéris (Brito et al., 2019). Entretanto, a mineralogia das diferentes frações granulométricas pode explicar a razão de a fração média ter se destacado em relação às demais.

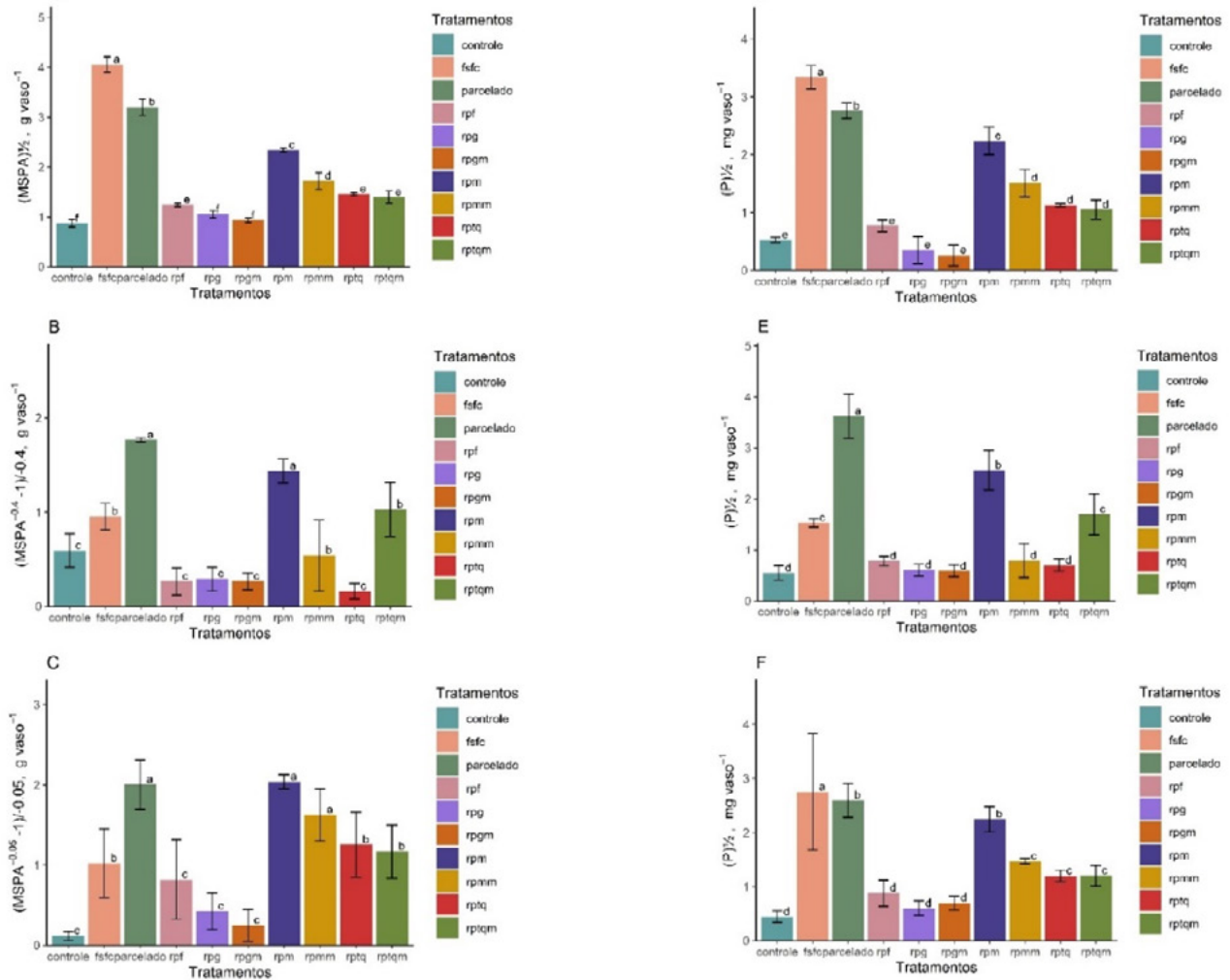


Figura 1. Massa seca (MSPA) e acúmulo de fósforo (P1/2) na parte aérea de plantas de milho no primeiro (A e D), segundo (B e E) e terceiro (C e F) plantios em funcao da aplicação de diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis e de fonte solúvel de P. Letras diferentes representam diferença significativa, letras iguais representam semelhança estatística a 5% Scott-Knott. Controle (sem fósforo), fsfc (solução de fosfato monocálcico), parcelado (solução de fosfato monocálcico parcelada em 2 cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha "tal e qual") e o rptqm (rocha "tal e qual" moída)

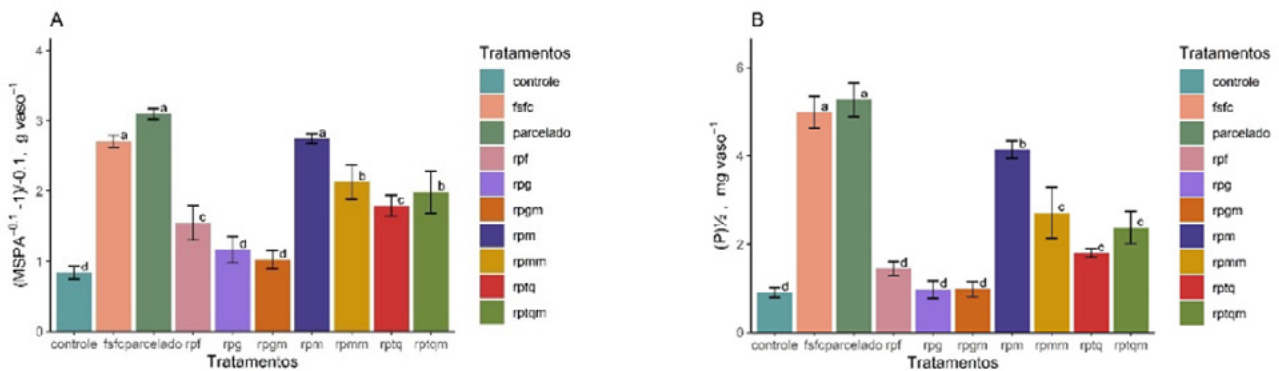


Figura 2. Massa seca (A) e acúmulo de fósforo (B) na parte aérea das plantas de milho acumulado nos três cultivos sequenciais. Letras diferentes representam diferença significativa, letras iguais representam semelhança estatística a 5% Scott-Knott. Controle (sem fósforo), fsfc (solução de fosfato monocálcico), parcelado (solução de fosfato monocálcico parcelada em 2 cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha "tal e qual") e o rptqm (rocha "tal e qual" moída)

Na avaliação da matéria seca acumulada dos três plantios (Figura 2), os tratamentos com as fontes solúvel, solúvel parcelada e a fração média exibiram médias estatisticamente iguais e superiores aos demais tratamentos. No acúmulo de fósforo nos três plantios (Figura 2), os tratamentos com fonte solúvel apresentaram médias estatisticamente semelhantes e superiores aos demais tratamentos. O tratamento com a fração média também obteve maior acúmulo de P quando comparado aos demais FR.

A fração média apresentou a maior eficiência relativa (ER) na produção de biomassa acumulada dos três cultivos entre as diferentes frações granulométricas, em relação aos tratamentos controle e com fonte solúvel aplicada em dose única, com 38% no 1º cultivo e 105% no acumulado dos três cultivos (Figura 3) enquanto a fração grossa, independente da moagem, apresentou os piores resultados. De maneira geral, a ER aumentou para todas as frações granulométricas quando considerado o acumulado nos três cultivos em relação ao 1º cultivo. A fonte solúvel, aplicada de forma parcelada nos dois primeiros cultivos, apresentou a maior eficiência relativa no acumulado dos três cultivos, mostrando que o parcelamento de P em cultivos sequenciais foi mais eficiente que a aplicação em dose única no 1º cultivo.

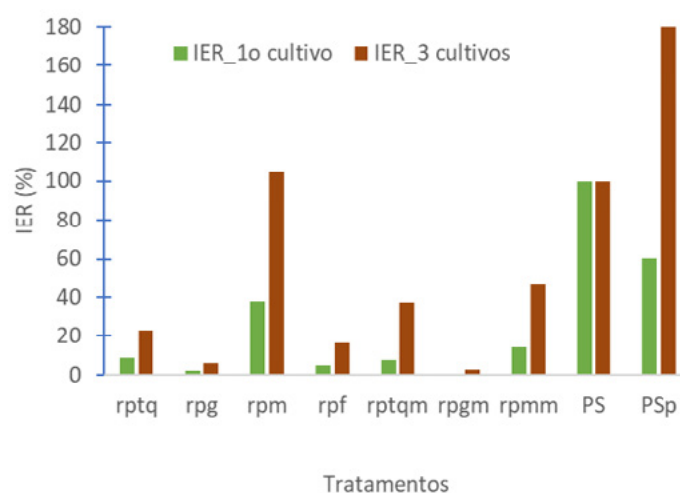


Figura 3. Índice de eficiência relativa (IER) para produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função da aplicação de rocha fosfática com diferentes granulometrias, referente ao 1º cultivo e ao acumulado em três cultivos. PS (solução de fosfato monocálcico em dose única no 1º cultivo), PSp (solução de fosfato monocálcico parcelada nos dois primeiros cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha “tal e qual”) e o rptqm (rocha “tal e qual” moída)

Conclusões

A fração granulométrica média de rocha fosfática de Pratápolis apresentou produção de matéria seca da parte aérea acumulada em três cultivos estatisticamente semelhante à aplicação de fonte solúvel.

A fonte solúvel, quando aplicada de forma completa e parcelada, apresentou maior acúmulo de fósforo na parte aérea em relação aos fosfatos nas diferentes granulometrias.

A eficiência relativa das diferentes frações da rocha fosfática aumentou no acumulado dos três cultivos em relação ao primeiro cultivo, mostrando potencial efeito residual dessas fontes.

Referências

- ARNHOLD, E. Pacote no ambiente R para análise de variância e análises complementares. **Revista Brasileira de Pesquisa Veterinária e Zootecnia**, v.50, n.6, p.488-492, 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2020**. São Paulo: ANDA, Comitê Estatístico, 2021.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050) Brasília: SAE, 2021. 195p.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.41-47, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in soil science and plant analysis**, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- OELKERS, E.H. General kinetic description of multioxide silicate mineral and glass dissolution. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.65, p.3703–3719, 2001.
- RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 218p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RESENDE, A.V.D., FURTINI NETO, A.E., ALVES, V. M.C., MUNIZ, J.A., CURTI, N., & LAGO, F.J.D. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.458-466, 2006.
- SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., DOS ANJOS, L.H.C., DE OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, L.F., COELHO, M.R., & CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: EMBRAPA. 573p. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>
- VITTI, G.C.; WIT, A., FERNANDES, B.E.P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. **In: Simpósio fósforo na agricultura brasileira**. São Pedro: ANDA, p.726,2003.
- WICKHAM, H. ggplot2: **Elegant graphics for data analysis**. New York, NY: Springer, 2016.