

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**

**Fontes de fertilizantes nitrogenados e fosfatados na dinâmica de fósforo e  
nitrogênio em solos cultivados com milho**

**Ana Carolina Benites Aquino**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra  
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas

**Piracicaba  
2022**

**Ana Carolina Benites Aquino**  
**Engenheira Agrônoma**

**Fontes de fertilizantes nitrogenados e fosfatados na dinâmica de fósforo e nitrogênio  
em solos cultivados com milho**

Orientador:  
Prof. Dr. **LUÍS REYNALDO FERRACCIÚ ALLEONI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra  
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas

**Piracicaba**  
**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Aquino, Ana Carolina Benites

Fontes de fertilizantes nitrogenados e fosfatados na dinâmica de fósforo e nitrogênio em solos cultivados com milho / Ana Carolina Benites Aquino. - Piracicaba, 2022.

134 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Organomineral 2. Acidez do solo 3. Efeito do pH I. Título

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por esta oportunidade, por me dar forças durante os momentos difíceis da caminhada e pelas pessoas incríveis que colocou em minha jornada. Obrigada Senhor!

Ao professor Dr. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni pela orientação, dedicação e confiança. Por compartilhar seu conhecimento e experiência e, assim, acrescentar em minha formação com pessoa e pesquisadora. Pelos conselhos e paciência com meus erros e acertos. A você meu respeito e admiração. Obrigada!

Ao Dr. Rafael Otto pela disponibilidade e contribuições neste projeto de pesquisa.

Aos amigos que fiz durante a caminhada, em especial à Thais Pessoa e Rodrigo Nogueira, pela amizade, carinho e boas risadas.

Ao Dr. Paulo Leonel Libardi pela presença agradável, conselhos e bons momentos.

Aos amigos do Departamento de Engenharia de Biosistemas pela boa companhia e boas energias.

Aos amigos do Departamento de Ciência do Solo pelos bons momentos, científicos e descontraídos, e pelas “rodas de café”.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela acolhida e oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Aos funcionários do Laboratório de Química do Solo do Departamento de Ciência do Solo, Carol, Néia e Luiz Silva (*in memorian*), pela simpatia e auxílio durante as análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida de agosto de 2020 a junho de 2022.

À Fundação de Agricultura Sustentável (AGRISUS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos apoios financeiros ao meu projeto.

A todos que contribuíram de alguma forma, o meu muito obrigada!

It takes strength to be firm,  
It takes courage to be gentle.

It takes strength to conquer,  
It takes courage to surrender.

It takes strength to be certain,  
It takes courage to have doubt.

It takes strength to fit in,  
It takes courage to stand out.

It takes strength to feel a friend's pain,  
It takes courage to feel your own pain.

It takes strength to endure abuse,  
It takes courage to stop it.

It takes strength to stand alone,  
It takes courage to lean on another.

It takes strength to love,  
It takes courage to be loved.

It takes strength to survive,  
It takes courage to live.

Unknown Poet

## SUMÁRIO

RESUMO.....		7
ABSTRACT.....		8
1 INTRODUÇÃO.....		9
2	REVISÃO	
BIBLIOGRÁFICA.....		<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>		
2.1	O P no sistema solo-planta.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2	A acidez no solo e disponibilidade de P.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.3	Dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4	Interação fósforo x nitrogênio.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.5	Atividade das enzimas no solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.6	Fertilizantes fosfatados e nitrogenados.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.7	Fertilizantes orgânicos.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3	MATERIAL	E
MÉTODOS.....		<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1	Caracterização química, física e mineralógica do solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.1	Caracterização química do solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.2	Caracterização física do solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

- solo.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.1.3 Caracterização mineralógica do solo.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.2 Capacidade de retenção de água no solo e irrigação.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.3 Descrição dos fertilizantes.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.4 Caracterização química dos fertilizantes fosfatados.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.5 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.6 Montagem das colunas de lixiviação e instalação de tensiômetros.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.7 Adubação da cultura.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.8 Semeadura e condução da cultura.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.9 Análises na cultura do milho.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.10 Avaliações no solo.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.11 Lixiviação de nutrientes.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.12 Atividade enzimática.....**Erro! Indicador não definido.**
- 3.13 Forma de análise dos resultados.....**Erro! Indicador não definido.**

4

RESULTADOS.....	Err
<b>o! Indicador não definido.</b>	
4.1 O pH no solo.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
4.2. Teor de fósforo no solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3 Lixiviação de nitrogênio.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4 Dados biométricos.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
4.5 Atividade enzimática.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
4.6 Teores foliares de nutrientes na planta.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5 CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS.....	12
ANEXOS.....	109



## RESUMO

### **Fontes de fertilizantes nitrogenados e fosfatados na dinâmica de fósforo e nitrogênio em solos cultivados com milho**

A dinâmica do fósforo (P) no solo é afetada pela acidez, que pode ser causada pelo uso de fertilizantes nitrogenados. A acidez pode levar à diminuição na disponibilidade de P na solução do solo para as plantas e diminuir a eficiência da adubação. Os fertilizantes orgânicos podem melhorar a eficiência de uso de P pelas plantas devido à lenta liberação do elemento e as vias pelas quais é metabolizado pelo vegetal. O nitrogênio (N) é componente fundamental de proteínas e enzimas ligadas aos processos biológicos das plantas. As fontes nitrogenadas podem causar acidez no solo e interferir na dinâmica do P. No entanto, há poucas pesquisas sobre a interação destes fertilizantes com o nitrogênio. O objetivo com esse trabalho foi avaliar o efeito da combinação de fontes nitrogenadas (nitrato de cálcio – NC e sulfato de amônio – SA) e fosfatadas (superfosfato triplo - SPT, organomineral – OR e estruvita - ES) na disponibilidade do fósforo ao milho cultivado em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (LV) e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico de textura média (LVA). O experimento foi realizado em colunas em casa de vegetação com a cultura do milho, durante dois ciclos de cultivo de 45 dias cada. Os lixiviados foram coletados semanalmente, no total de 14 coletas. Foram avaliados: i) pH do solo; ii) teor de P no solo; iii) lixiviação de nitrato e amônio; iv) atividade enzimática da fosfatase ácida e  $\beta$ -glucosidase; v) altura de plantas; vi) número de folhas; vii) diâmetro médio do colmo; viii) matéria seca da parte aérea e raiz; ix) teor de macro e micronutrientes na parte aérea. O pH nas camadas superficiais foi mais próximo de 6,0 nos tratamentos com NC. A absorção de fósforo foi maior no tratamento com SA devido ao maior sinergismo entre N e P. A mineralização das raízes das plantas desempenha um papel fundamental como uma reserva de fósforo a ser liberado para a solução do solo. O organomineral promoveu maior teor de fósforo disponível no solo nas camadas superficiais, nos dois ciclos de cultivos, nos dois solos. O nitrato de cálcio promoveu maior lixiviação de nitrato e o sulfato de amônio lixiviou maior teor de amônio, principalmente em LVA. O fertilizante organomineral apresentou tendências de promover menor lixiviação de nitrogênio. A maior absorção de nitrogênio na forma de nitrato gera um alto gasto energético nas plantas para a redução deste íon a forma de amônio, o que compromete a absorção de outros nutrientes pelas plantas.

Palavras-chave: Organomineral, Acidez do solo, Efeito do pH

## ABSTRACT

### **Sources of nitrogen and phosphate fertilizers in the dynamics of phosphorus and nitrogen in soils cultivated with maize**

The dynamics of phosphorus (P) in the soil is affected by acidity, which can be caused by the use of nitrogen fertilizers. Acidity can lead to a decrease in the availability of P in the soil solution for plants and decrease the efficiency of fertilization. Organic fertilizers can improve the efficiency of P use by plants due to the slow release of the element and the pathways through which it is metabolized by the plant. Nitrogen (N) is a fundamental component of proteins and enzymes linked to the biological processes of plants. Nitrogen sources can cause soil acidity and interfere with P dynamics. However, there are few papers published on the interaction of these fertilizers with nitrogen. The objective of this project was to evaluate the effect of the combination of nitrogen sources (calcium nitrate - NC and ammonium sulfate - SA) and phosphate (triple superphosphate - SPT, organomineral - OR and struvite - ES) on the availability of phosphorus to cultivated corn in typical clayey Dystrophic Red Latosol (LV) and typical medium texture Dystrophic Red Yellow Latosol (LVA). The experiment was carried out in columns in a greenhouse with the corn crop, during two cultivation cycles of 45 days each. The leachates were collected weekly, in a total of 14 collections. The following were evaluated: i) soil pH; ii) P content in the soil; iii) nitrate and ammonium leaching; iv) acid phosphatase and  $\beta$ -glucosidase enzymatic activity; v) height of plants; vi) number of sheets; vii) mean stem diameter; viii) shoot and root dry matter; ix) macro and micronutrient content in the shoot. The pH was closer to 6.0 in the NC treatments. Phosphorus uptake was higher in the SA treatment due to the greater synergism between N and P. Mineralization of plant roots plays a key role as a reserve of phosphorus to be released into the soil solution. The organomineral promoted a higher content of available phosphorus in the soil in the superficial layers, in the two crop cycles, in the two soils. Calcium nitrate promoted higher nitrate leaching and ammonium sulfate leached higher ammonium content, mainly in LVA. The organomineral fertilizer showed tendencies to promote less nitrogen leaching. The greater absorption of nitrogen in the form of nitrate generates a high energy expenditure in plants to reduce this ion to the form of ammonium, which compromises the absorption of other nutrients by plants.

Keywords: Organomineral, Soil acidity, pH effect

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores consumidores de fertilizantes do mundo, ficando atrás somente da China, Índia e Estados Unidos. Em 2021, a importação de fertilizantes no país bateu recordes, com 41,6 milhões de toneladas, correspondendo a 80% dos fertilizantes nitrogenados e 55% dos fertilizantes fosfatados utilizados no país (BRASIL, 2021). Os custos com fertilizantes variam de acordo com a cultura e o nível de tecnologia empregado. Para o milho cultivado com base em alta tecnologia, os custos com fertilizantes representaram cerca de 27% do custo total na safra 21/22, com projeção de aumento de 6% para a safra 22/23, segundo dados do Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (2022) no estado de Mato Grosso (MT), maior produtor do grão no país.

O fósforo (P) é um dos macronutrientes requeridos em menores quantidades pelas plantas, variando de 0,2 a 0,4% da massa seca da planta. Na planta, o nutriente está presente na composição do trifosfato de adenosina (ATP), enzima armazenadora de fósforo para as plantas, do DNA e RNA da célula vegetal, além de atuar no processo fotossintético das plantas, bem como a floração e frutificação das plantas (WEIL e BRADY, 2017).

No solo, o elemento é pouco móvel e fortemente adsorvido pelo complexo coloidal (principalmente minerais silicatados e oxihidróxidos de Fe e de Al), o que reduz a eficácia do uso de fertilizantes minerais. O superfosfato triplo (SPT) é um dos fertilizantes fosfatados de mais alta solubilidade (90%), com grande eficiência no curto prazo. No entanto, quando aplicado em solos ácidos com grande fixação de P, sua eficiência diminui no decorrer do tempo (BOLLAND, 1985).

O nitrogênio (N) é componente fundamental de proteínas e enzimas ligadas aos processos biológicos das plantas. O elemento é dinâmico no sistema solo-planta-atmosfera, e fertilizantes nitrogenados podem acidificar o solo por reações de oxidação que geram íons  $H^+$  como um dos produtos da reação, no processo conhecido por nitrificação. (BRADY e WEIL, 2013).

A variação do pH da solução do solo após aplicação de alguns fertilizantes nitrogenados afeta a microbiota do solo e influencia a ciclagem dos nutrientes presentes no sistema. Afeta também o grau de decomposição da matéria orgânica, que também libera nutrientes de forma gradativa, dentre eles o fósforo. Os microrganismos podem se associar com as plantas e fixar N atmosférico no solo por meio da fixação biológica de N devido à ação de enzimas (LI *et al.*, 2021). Assim, o conhecimento detalhado da comunidade microbiana do solo é fundamental para entendimento da fertilização na microbiota do solo.

No cenário de vulnerabilidade dos produtores às variações cambiais decorrente da

dependência do mercado internacional, associada a uma preocupação com o meio ambiente e busca por melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, os fertilizantes orgânicos, que provém de resíduos animais, vegetais e industriais, ganham destaque. Comparados aos fertilizantes minerais, apresentam lenta decomposição e liberação dos nutrientes às plantas e aumento da diversidade de microrganismos benéficos ao solo. No entanto, há poucos estudos em que se identificam reações químicas ocorrentes no solo ocorrentes nas fontes orgânicas antes do contato dos elementos com as plantas (CRUSCIOL *et al.*, 2020).

Os organominerais são fertilizantes orgânicos, que tem como base compostos orgânicos, como cama de frango e dejetos suíno, combinados com adubos minerais. No Brasil há grande produção avícola sendo que, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), a produção de carne avícola em 2021 foi de 14,3 milhões de toneladas, enquanto a produção de ovos foi de 55 bilhões de unidades (ABPA, 2022). O grande volume de produção também gera grande quantidade de resíduos ricos em nutrientes e com potencial de serem utilizados como fertilizantes.

A estruvita é um mineral rico em P, resultante da recuperação das águas residuárias de lodo de esgoto, precipitado em um reator de cristalização após o valor de pH ser ajustado por decaagem, com posterior adição de NaOH e  $MgCl_2$  (ZHAO *et al.*, 2021).

Embora os organominerais sejam usuais no país, ainda não há relatos de pesquisas que quantifiquem a eficiência de fósforo fornecido via adubo orgânico em comparação ao mineral, sob efeito de fontes de nitrogênio com diferentes efeitos na acidez do solo. Com isso, nosso objetivo com esse projeto é avaliar o efeito da combinação de fontes nitrogenadas e fosfatadas na disponibilidade do fósforo ao milho cultivado em solos com texturas contrastantes.

As hipóteses neste projeto são: i) a aplicação de nitrato de cálcio na composição de fertilizante orgânico aumentará a disponibilidade de N e P do fertilizante em comparação com o sulfato de amônio, devido à menor acidificação do meio; ii) o fertilizante organomineral com matriz orgânica de cama de frango aumentará a disponibilidade de P para as plantas de milho; iii) o fertilizante organomineral de cama de frango propiciará aumento na atividade enzimática no solo; iv) haverá melhor aproveitamento de P com o uso do fertilizante organomineral, assim, o sinergismo entre o fósforo e nitrogênio propiciará melhor aproveitamento dos nutrientes para as plantas e a lixiviação de nitrogênio será menor.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação do nitrato de cálcio propiciou pH mais alcalino nos solos estudados. Nos tratamentos com NC, a disponibilidade de fósforo foi maior. No entanto, a absorção de fósforo foi maior no tratamento com SA. As formas de nitrato e amônio do nitrogênio desempenham diferentes papéis no metabolismo das plantas. Os nutrientes N e P apresentam sinergismo quanto ao seu comportamento no solo e consequente absorção pelas plantas, o que impacta diretamente na marcha de absorção destes nutrientes. A mineralização das raízes das plantas desempenha um papel fundamental como uma reserva de fósforo a ser liberado para a solução do solo. De forma geral, o organomineral promoveu maior teor de fósforo disponível no solo nas camadas superficiais, nos dois ciclos de cultivos, nos dois solos. A fonte nitrogenada promoveu maior lixiviação de nitrato e o sulfato de amônio lixiviou maior teor de amônio. O fertilizante organomineral apresentou tendências de promover menor lixiviação de nitrogênio pelo melhor sinergismo entre os nutrientes. A lixiviação foi menor no solo LV. A maior absorção de nitrogênio na forma de nitrato gera um alto gasto energético nas plantas para a redução deste íon a forma de amônio. Assim, a absorção de outros nutrientes pelas plantas pode ficar comprometida.



## REFERÊNCIAS

- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. Relatório anual, 2022.
- AGREN, G. I.; WETTERSTEDT, M.; BILLBERGE, M. F. Nutrient limitation on terrestrial plant growth – modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. *New Phytologist*, 2012, v.194, p.953–960.
- ALMEIDA, R. F.; NAVES, E. R.; MOTA, R. P. Soil quality: Enzymatic activity of soil  $\beta$ glucosidase. *Global Journal of Agricultural Research and Reviews*, v. 3, p. 146-150, 2015.
- APIIAH, M. R.; THOMAS, R. L. Inositol phosphate and organic phosphorus contents and phosphatase activity of some Canadian and Ghanaian soils. *Can. J. Soil Science*, 1982, v. 21, p. 31-38.
- ARAÚJO, M. D. M.; SOUZA, H. A.; BENITES, V. M.; POMPEU, R. C. F. F.; NATALE, W.; LEITE, L. F. C. Organomineral phosphate fertilizer in millet in sandy soil. *Brazilian magazine of Agricultural and Environmental engineering*. 2020; v. 24, n. 10, p. 694-699.
- AZEVEDO, J. L.; QUENICE, M. C. Diversity and benefits of microorganisms from the tropics, 2017, v.1, p. 1–439.
- BARAK, P.; JOBE, B. O.; KRUEGER, A. R.; PETERSON, L. A.; LAIRD, D. A. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant Soil*, 1997, V. 197, p. 61–69.
- BARRETO, W. 1986. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: capacidade da dupla camada elétrica. Rio de Janeiro: UFRRJ (Tese de Doutorado).
- BELOW, F. E.; CAZETTA, J. O.; SEEBAUER, J. R. Carbon/Nitrogen interactions during ear and kernel. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2000. p. 15-24. (Special Publication 9).
- BLAGODATSKAYA, E.; KUZUYAKOV, Y. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Biology and Fertility of Soils*, v.45, p.115–131, 2008.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. Part 1. American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BLOOM, P. R., SKYLLBERG, U. L. SUMNER, M. E. Soil acidity. In A. Tabatabai and D. Sparks (eds.). *Chemical Processes in Soils*. SSSA Book Series No. 8. Soil Science Society of America, Madison, WI, 2005, pp. 411–459.
- BOLLAND, M. D. A. Residual value for wheat of phosphorus from calciphos, Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil in south-western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1985; v. 25(1), p. 198-208.
- BRADY, N. C.; WEIL R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3ª Edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.
- BRAGA, E. S. 2002. *Bioquímica marinha – efeitos da poluição nos processos bioquímicos*. 2ª ed. Fundespa, São Paulo. p. 108.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. *Plano Nacional de Fertilizantes 2050*. Brasília, 2021, 195 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº 28, de 27 jul. 2007. Aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos*. Diário Oficial

- da República Federativa do Brasil. Brasília, 2007. seção 1, p.11.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e Corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, 2017. 240 p.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, Heidelberg, v. 16, p. 169-175, 1984.
- CANTARELLA, H.; MATTOS J. R. D.; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 67, n. 3, p. 205-213, 2003.
- CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, v 84, p. 133-144, 1957.
- CHEN, H.; ZHANG, W.; GURMESA, G. A. ZHU, X. Phosphorus addition affects soil nitrogen dynamics in a nitrogen saturated and two nitrogen-limited forests. *European journal of Soil Science*, 2017, v. 68, p. 472–479.
- COLLAMER, D. J.; GEARHART, M.; MONESMITH, F. L. Sulfato De Amônio 2007. p. 7-8, (Informações Agronômicas, 120)
- CORDEIRO, L. Fixação de nitrogênio. In: KERBAUY, G.B. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara, 2004. p. 76-93.
- CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. *Scientific Reports*, v. 10, p. 5398, 2020.
- DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. V. H.; KER, J. C., FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008, v. 32, 1785-1791.
- DOYLE, J.; PAVEL, R.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Cellulase dynamics in a desert soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, v.38, p. 371–376.
- DOYLE, J. D.; PARSONS, S. A. Struvite formation, control and recovery. *Water Research Journal*. 2002; v. 36(16), p. 3925–3940.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análise do solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2ª Ed. Editora Planta, 2006, 401p.
- FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, Piracicaba, Anais. IPNI, p. 9, 2000.
- FERNANDES, M. S.; ROSSIELLO, R.O.P. Aspecto do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1, Nova Odessa, 1985. Anais. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 92-123.
- FRASER, T.; LYNCH, D. H.; ENTZ, M. H.; DUNFIELD, K. E. Linking alkaline phosphatase activity with bacterial *phoD* gene abundance in soil from a long-term management trial. *Geoderma*, v. 257–258, p. 115–122, 2015.
- FRIED, M. F.; Zsoldos, F.; VOSE, P. B.; SHATOKHIN, I. L. Characterizing the NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub> Uptake Process of



Rice Roots by Use of  $^{15}\text{N}$  Labelled  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . *Physiologia Plantarum*; Vol. 18, 1965, pp 313-320.

GLOBALFERT. Boletins informativos [Internet]. Provedor informações do Mercado de Fertilizantes. 2019. p. 2. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/OGF/arquivo/outlook-globalfert-2020.pdf>. Acesso em: 08/03/2021.

GLOBALFERT. Outlook Globalfert [Internet]. Provedor informações do Mercado de Fertilizantes. 2020. 180 p. Disponível em: <https://globalfert.com.br/OGFpreEvento2022/arquivo/Outlook-GlobalFert-2021.pdf>. Acesso em: 09/03/21.

GLOBALFERT. Outlook Globalfert [Internet]. Provedor informações do Mercado de Fertilizantes. 2021. 172 p. Disponível em: <https://globalfert.com.br/OGFpreEvento2022/arquivo/outlook-globalfert-2020.pdf>. Acesso em: 08/03/21.

GOMES, F. T.; BORGES, A. C.; BORGES, J. C. L.; FONTES, P. C. R. Produção de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio na alfafa, em resposta à calagem, com diferentes relações cálcio:magnésio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1995. p.1120-1121.

GOMES, F. T.; PEREIRA, G. D.; BORGES, A. C.; MOSQUIM, P. R.; FONTES, P. C. R. Fixação do nitrogênio em alfafa nodulada sob supressão e ressuprimento de fósforo. *Ciência Rural* [online], 2002, v. 32, n. 6, pp. 917-923.

GUO, J. H.; LIU, X. J.; ZHANG, Y.; SHEN, J. L.; HAN, W. X.; ZHANG, W. F.; CHRISTIE, P.; K. GOULDING, W. T.; VITOUSEK, P. M.; ZHANG, F. S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, v. 327 p.1008–1010.

GROOT, C. C.; MARCELIS, L. F. M. BOOGAARD, R. van den; KAISER, W. M.; LAMBERS, H. Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition in determining growth. *Plant and Soil*, 2003, 248, 257–268.

HOWITT, S. M.; UDVARDI, M. K. Structure, function and regulation of ammonium transporters in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. V. 1465, Ed. 1–2, 2000, Pages 152-170.

INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA – IMEA [Internet]. Custo de produção do milho de alta tecnologia, 2022. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/dashboards?c=3&d=1136864451708788736>. Acesso em: 15/05/2022.

JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis - advanced course*. Madison, Prentice-Hall, 1979. p. 895.

JESCHKE, W. D.; ASLAM, Z.; GREENWAY, H. Effects of NaCl on ion relations and carbohydrate status of roots and on osmotic regulation of roots and shoots of *Atriplex amnicola*. *Plant Cell and Environment*, Oxford, 1986, v.9, n.7, p.559–569.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods, in: KLUTE, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, 1986, pp.687-734.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

LEWIS, O. A. M.; LEIDI, E. O.; LIPS, S. H. Effect of nitrogen source on growth response to salinity stress in maize and wheat. *New Phytologist*, Oxford, 1989, v.111, p.55–160.

LI, Y.; LI, T.; ZHAO, D.; WANG, Z.; LIAO, Y. Different tillage practices change assembly, composition, and occurrence patterns of wheat rhizosphere diazotrophs. *Science of the Total Environment*. 2021; v. 767, n. 144252.

MALAVOLTA, E. Matéria orgânica. In: \_\_\_\_\_. *Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do*

- solo. São Paulo: Crês, 1976. p. 177-256.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas Piracicaba. *Agronômica Ceres*, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono da biomassa microbiana, e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 257-263, 1999.
- MAROKO, J. B.; BURESH, R. J.; SMITHSON, P. C. Soil phosphorus fractions in unfertilized fallow-maize systems on two tropical soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 63, p. 320-326, 1999.
- MARTINEZ, C., TABATABAI, M. Decomposition of biotechnology by-products in soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 26, p.625-632, 1997.
- MIRANDA, K. M.; ESPEY, M. G.; WINK, D. A. A Rapid, Simple Spectrophotometric Method for Simultaneous Detection of Nitrate and Nitrite. *NITRIC OXIDE: Biology and Chemistry*. 2001; v. 5, n. 1, p. 62-71.
- MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2ª Ed. Editora UFLA, 2006, p. 181-190.
- MOREIRA, A.; HEINRICHS, R.; FREITAS, A. R. Relação fósforo e magnésio na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da alfafa. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2008, v. 37, n. 6, pp. 984-989.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Ed. UFV, Viçosa-MG. 399 p., 1999.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Advances in Agronomy*, San Diego, 1978, v 30, p. 01-46.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2008, v. 32, n. 3, pp. 911-920.
- PENDIAS, A. K.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants Boca Raton. CRC, 1984. 315p.
- PNG, K. G.; TURNER, B. L.; ALBORNOR, F. E.; HAYES, P. E.; LALIBERTÉ, E. Greater root phosphatase activity in nitrogen-fixing rhizobial but not actinorhizal plants with declining phosphorus availability. *Journal of Ecology*, 2017, v.105, p.1246–1255.
- RICE, K. C., HERMAN, J. S. Acidification of earth: An assessment across mechanisms and scales. *Applied Geochemistry*. 2012, v. 27, p. 1–14.
- ROUSK, J.; JONES, D. L. Loss of low molecular weight dissolved organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) in H<sub>2</sub>O and 0.5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. *Soil Biology & Biochemistry*. 2010; v. 42(12), p. 2331-2335.
- RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA. 2015. Retrieved from <http://www.rstudio.com/>
- RUTTENBERG, K. C. Phosphorus Cycle - Terrestrial Phosphorus Cycle, Transport of Phosphorus from Continents to the Ocean, *The Marine Phosphorus Cycle*. 2006;
- RUFTY, T. W. JR; ISRAEL, D. W.; VOLK, R. J.; QIU, J.; TONGMIN, S. A. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 1993, v.44, p.879–891.

- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª Edição. Brasília: EMBRAPA, 2018, 353 p.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. eds. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. p.147-168.
- STEVENSON, F. J. Organic forms of soil nitrogen. In: STEVENSON, F. J. (ed.), Nitrogen in Agricultural Soils. pp. 67–122. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin. 1982.
- STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Biology & Biochemistry*, v.74, p.107-119, 2010.
- SWETHA, S.; PADMAVATHI, T. Study of acid phosphatase in solubilization of inorganic phosphates by *piriformospora indica*. *Polish Journal of Microbiology*, v. 65, n. 4, p. 407–412, 2016.
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 1969; v. 1(4), p. 301-307.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER RW (org.). *Methods Soil Anal.* 2ª edição. Wisconsin: Soil Science Society of America; 1994, p. 775–833.
- TAIZ L.; ZEIGER E.; MOLLER I.; MAX, MURPHY. A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 2017, 6 Ed. Editora Artmed.
- THOMAS R.; SCHRADER L. Ureide metabolism higher plants. *Phytochemistry*. 1981, V. 20, p. 361–371.
- TRASAR-CEPEDA, M.A.; GIL-SOTRES, F. Phosphatase activity in acid high organic matter soils in Galicia (NW Spain). *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, v. 19, p. 281-287.
- VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR, B.; CABRERA, B. R.; MORAES, P.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia*, 2009, v.58, p.59-85.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1980; v. 44, 892-898.
- VAN RAIJ, B.; QUAGGIO J. A.; SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1986; v. 17(5), p. 547–566.
- VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001; v. 1; 285p.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. *Nature and Properties of soils*. 15ª Ed. Editora Pearson. 2017, p. 392-437.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2008, v. 32, n. 6, pp. 2297-2305.
- ZHAO, T. L.; LI, H.; JIANG, H. F.; YAO, Q. Z.; HUANG, Y.; ZHOU, G. T. Morphogenesis and evolution mechanisms of bacterially-induced struvite. *Scientific Reports*. 2021; v. 11, n. 170.

