

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

**Dinâmica do potássio e resposta do milho à fertilização com fonte
organomineral em solo franco-arenoso**

Caroline de Figueiredo Oliveira

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

**Piracicaba
2023**

Caroline de Figueiredo Oliveira
Engenheira Agrônoma

Dinâmica do potássio e resposta do milho à fertilização com fonte organomineral em solo franco-arenoso

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

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

Piracicaba
2023

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

Oliveira, Caroline de Figueiredo

Dinâmica do potássio e resposta do milho à fertilização com fonte organomineral em solo franco-arenoso / Caroline de Figueiredo Oliveira. - - Piracicaba, 2023.

101 p.

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

1. Fertilizantes alternativos 2. Liberação lenta 3. Atividade microbiológica 4. Deslocamento miscível 5. Agricultura sustentável I. Título

*Dedico este trabalho aos meus
queridos pais, Dirceu e Selma,
minhas eternas fontes de inspiração e
apoio.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, expresso minha profunda gratidão a Deus pela força e coragem que me acompanharam ao longo desta jornada acadêmica. À minha amada família, especialmente à minha mãe Selma e ao meu pai Dirceu, seus exemplos de força, amor incondicional e valores sólidos foram a luz que guiou meus passos. Agradeço também aos meus irmãos, Diego e Camile, por serem base e o apoio constante que me deram a confiança necessária para seguir em frente. Ao Matheus Selleri, que tornou o que parecia difícil em algo alcançável com seu constante encorajamento e suporte.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, como instituição de formação, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos (Código de Financiamento 001) e à Fundação Agrisus por fomentar este estudo.

Ao professor Dr. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni, minha gratidão pela orientação exemplar, ensinamentos valiosos, oportunidades concedidas, paciência e, acima de tudo, pela confiança depositada em mim.

Ao Dr. Vinícius Benites, da Embrapa Solos, meu sincero reconhecimento por seu contínuo apoio e orientação ao longo deste trabalho, especialmente na produção do organomineral. Ao professor Dr. Tiago Tezotto, do Departamento de Ciência do Solo (LSO) da ESALQ, pelas preciosas orientações nas análises de nutrição mineral de plantas. Ao professor Dr. Paulo Leonel Libardi, professor sênior do LSO/ESALQ, que pacientemente me guiou pelo complexo campo da física do solo. Ao professor Dr. Lucas Mendes, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP, por sua orientação na área de microbiologia.

Minha gratidão se estende aos professores Drs. Paulo Mazzafera, da Unicamp, José Lavres Junior, do CENA/USP, e Fernando D. Andreote, Carlos E. P. Cerri, Marcelo Alves, Mauricio R. Cherubin e Tiago O. Ferreira, todos da ESALQ, cujas contribuições foram fundamentais para minha formação como mestra.

Ao Alberto Vinicius, mestrando do LSO/ESALQ, além da amizade, agradeço pela assistência nas análises microbiológicas. Ao laboratório de química do solo e a toda a equipe técnica dos laboratórios que frequentei, especialmente Néia, Carol, Marina, Beatriz, Fernandinho, Denise, Lara e Rossi, do LSO/ESALQ, pelo suporte técnico e auxílio inestimável. Aos colegas de iniciação científica, Raphael e Alexandre, cuja amizade e contribuições enriqueceram este trabalho.

À Tamires Ercole e Mariana Pollo, pela amizade e pelo esforço conjunto durante as longas noites no laboratório, parcerias que me fizeram muito bem e se revelaram essenciais para a conclusão deste trabalho. Agradeço também aos colegas de pós-graduação, Christian, Wesley, Matheus e Rodrigo, pelas enriquecedoras conversas e pela companhia nos momentos de almoço.

À Alana Uchôa, pelas valiosas conversas e conselhos, por seu cuidado e atenção incansáveis; uma amiga excepcional. Aos meus amigos da Vila Estudantil da ESALQ, Silas Alves, Thiago Vidoca, Jéssica Santos, Werlleson Nascimento e Ricardo Sodré, pelo convívio amigável e pelos momentos de descontração compartilhados.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha caminhada. Na vida, reconheço que nada é alcançado sozinha; a todos, meu mais caloroso obrigada!

*“A natureza em seus caprichos e mistérios
condensa em pequenas coisas, o poder de dirigir
as grandes; nas sutis, a potência de dominar as
mais grosseiras; nas coisas simples, a
capacidade de reger as complexas”.*

Ana Maria Primavesi

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS	13
2. LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E SUA INFLUÊNCIA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT	17
2.1. INTRODUÇÃO.....	18
2.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
REFERÊNCIAS	21
3. INFLUÊNCIA DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL POTÁSSICO NA MICROBIOTA DE UM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT	31
3.1. INTRODUÇÃO.....	32
3.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS	34
4. RESPOSTA DO MILHO AO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NUM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO.....	39
RESUMO.....	39
ABSTRACT	39
4.1. INTRODUÇÃO.....	40
4.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47

RESUMO

Dinâmica do potássio e resposta do milho à fertilização com fonte organomineral em solo franco-arenoso

O Brasil possui alta dependência externa por fertilizantes potássicos, o que deixa a produção agrícola do país sensível aos choques de oferta e demanda deste insumo. Diante desse cenário, fontes alternativas de potássio (K), como os fertilizantes organominerais (FOM), têm sido cada vez mais utilizadas na agricultura brasileira. Porém, há poucos estudos detalhados a respeito da dinâmica do K no solo e da resposta das plantas aos FOMs. Objetivou-se com esse estudo: (i) quantificar a liberação de K proveniente de um FOM e avaliar sua influência em atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo franco-arenoso, (ii) avaliar se o uso de FOM influencia as comunidades de bactérias e fungos do solo em comparação com o KCl e (iii) comparar os efeitos de doses de um FOM fonte de K baseadas no nível crítico (NC) de K para a cultura do milho (*Zea mays*) comparadas com o KCl. O FOM liberou K de forma mais lenta ao longo do tempo, o que pode ser benéfico para as plantas, pois proporciona uma oferta constante de nutrientes. A lixiviação de K no solo fertilizado com FOM foi mais lenta no experimento com colunas do que no solo fertilizado com KCl. O tratamento com FOM estimulou uma maior atividade microbiana, porém reduziu a riqueza e diversidade de bactérias e fungos no solo. Para as plantas de milho, o solo fertilizado com FOM apresentou eficácia equiparável ou superior ao KCl, especialmente em doses adequadas para a cultura. Além disso, doses acima do NC de K no solo não resultaram em ganhos de produtividade. Portanto, este estudo ressalta o potencial dos FOM como alternativa viável para a agricultura brasileira, que pode contribuir para a segurança e sustentabilidade da produção agrícola.

Palavras-chave: Fertilizantes alternativos, Liberação lenta, Atividade microbiológica, Deslocamento miscível, Agricultura sustentável

ABSTRACT

Potassium dynamics and corn response to fertilization with an organomineral source in sandy loam soil

Brazil has high external dependence on potassic fertilizers, which leaves the country's agricultural production sensitive to supply and demand shocks for this input. Given this scenario, alternative sources of potassium (K), such as organomineral fertilizers (OMF), have been increasingly used in Brazilian agriculture. However, there are few detailed studies regarding the dynamics of K in the soil and the response of plants to OMFs. The objectives of this study were: (i) to quantify the release of K from a OMF and evaluate its influence on chemical, physical and microbiological attributes of a sandy loam soil, (ii) to evaluate whether the use of OMF influences the communities of soil bacteria and fungi compared to KCl and (iii) compare the effects of rates of a K source OMF based on the critical level (CL) of K for corn (*Zea mays*) compared to KCl. OMF released K more slowly over time, which can be beneficial to plants as it provides a constant supply of nutrients. K leaching in the OMF-fertilized soil was slower in the column experiment than in the KCl-fertilized soil. OMF treatment stimulated greater microbial activity, but reduced the richness and diversity of bacteria and fungi in the soil. For corn plants, the soil fertilized with OMF had equivalent or superior efficacy to KCl, especially in rates suitable for the crop. Furthermore, rates above the CL of K in the soil did not result in yield gains. Therefore, this study highlights the potential of OMF as a viable alternative for Brazilian agriculture, which can contribute to the safety and sustainability of agricultural production.

Keywords: Alternative fertilizers, Slow release, Microbiological activity, Miscible displacement, Sustainable agriculture

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA (2023) relatou que 25% do PIB brasileiro de 2022 se deveu ao agronegócio, e os avanços neste segmento só não foram maiores devido aos elevados custos de produção, como os gastos com a compra de insumos. Em 2022 foram consumidos no Brasil cerca de 43 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo aproximadamente 80% importados (ANDA, 2023). Conforme dados da Associação Internacional de Fertilizantes- IFA (2023), a grande dependência brasileira é pelos fertilizantes potássicos, com 96% da oferta vindo de importações, seguidos por nitrogenados, com 80%, e pelos fosfatados, com 55% de importação.

A produção nacional de fertilizantes potássicos é limitada quando comparada com a crescente demanda por potássio (K). Atualmente, a mina/usina de Taquari-Vassouras, localizada no estado de Sergipe, é a principal fonte de produção, gerando cerca de 2,3 milhões de toneladas de K_2O . Existem potenciais fontes de K no Brasil, como as reservas em Autazes, Nova Olinda do Norte e Itacoatiara, localizadas no estado do Amazonas, que contêm aproximadamente 860 milhões de toneladas de K. No entanto, por questões ambientais, essas reservas não são exploradas (BRASIL, 2018). Além disso, o estado de Minas Gerais também possui reservas de K, mas o K presente nessas reservas é insolúvel, pois provém de rochas silicáticas com baixos teores de K_2O , aproximadamente 10% (IBRAM, 2023). Isso significa que a extração e a utilização desse K requerem etapas industriais adicionais para solubilizá-lo, o que torna o processo mais complexo e oneroso.

A concentração de K no solo depende do grau de intemperismo e do material de origem do solo (Meurer et al., 2018). Aproximadamente 39% do território nacional são cobertos por Latossolos que são solos profundos, ácidos e geralmente pobres em nutrientes (EMBRAPA, 2018). Boa parte desses solos são deficientes em K por serem altamente intemperizados e com predomínio de minerais silicatados do tipo 1:1 (Silva et al., 2008; Silva et al., 2022), sendo que a maior parte do K que entra no solo é translocada para o complexo de troca, enquanto uma pequena parte vai para a solução do solo (Steiner, 2014).

Em solos onde existe um teor considerável de minerais do tipo 2:1, associado a valores elevados de pH, pode haver fixação de K nas entrecamadas desses minerais. No entanto, esse fenômeno não é comum na maioria dos solos brasileiros de regiões úmidas e bem drenadas (Ernani et al., 2007). Deste modo, faz-se necessário restituir o teor de K por meio de adubações (Lopes, 2005), sendo que a disponibilidade do elemento nas áreas adubadas está relacionada com a alta mobilidade do nutriente no solo e possíveis perdas por

lixiviação, principalmente em solos de textura média e arenosa (Neves et al., 2009; Rosolem & Steiner, 2017; Dianjun et al., 2022). Como consequência, o consumo de fertilizantes potássicos na agricultura brasileira é elevado (Nachtigal & Raij, 2005).

Uma alternativa para aumentar a disponibilidade de K e diminuir o consumo de fertilizantes importados é o uso de fertilizantes organominerais (FOM), que são resultantes de combinações de fontes orgânicas com fertilizantes minerais e fornecem macro e micronutrientes além de matéria orgânica (Smith et al., 2020). Um FOM deve apresentar concentração mínima de 8% de carbono orgânico para produto sólido e 3% para fluidos; teor máximo de água de 20% para produto sólido; capacidade de troca de cátions (CTC) de no mínimo, 80 mmolc kg⁻¹ para o produto sólido; teor mínimo de 10% de macronutrientes primários isolados (nitrogênio (N), fósforo (P), K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK) para produtos sólidos, podendo ser adicionados macronutrientes secundários (cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)), ou teores mínimos de 1% de micronutrientes para produtos fluidos e 3% de macronutrientes primários isolados ou em mistura (BRASIL, 2020).

Os FOM aplicados ao solo em épocas, quantidades e maneiras adequadas proporcionam melhorias diretas e indiretas nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Kiehl, 1985; Crusciol et al., 2020). A decomposição da fração orgânica do FOM por organismos do solo após um período prolongado tende a elevar a quantidade de cargas negativas do solo e da CTC (Bouhia et al., 2022). Outro efeito do FOM é aumentar a capacidade de tamponamento do solo e a biodisponibilidade dos nutrientes em função do ajuste de pH do solo (Abd El-Mageed & Semida, 2015; Mensah & Frimpong, 2018).

A fração orgânica dos FOM aumenta o teor de carbono orgânico do solo, o que leva à alteração da comunidade microbiana (Wen et al., 2019), devido ao fornecimento de energia para os microrganismos, o que resulta em uma atividade enzimática mais eficiente no entorno da área de aplicação do FOM (Tang et al., 2019), além da produção de compostos orgânicos que melhoram a eficiência de absorção dos nutrientes (Crusciol et al., 2020).

Em comparação aos fertilizantes minerais, os FOM apresentam liberação gradativa de nutrientes, o que minimiza processos como lixiviação (Mueller et al., 2013). Estima-se que o aproveitamento dos FOM é 20% maior do que o de fontes minerais, devido à adição de material orgânico no solo que exerce proteção sobre a fração mineral e ocasiona menores perdas de nutrientes (Laforet et al., 2013). Além disso, permite formulações específicas para cada cultura agrícola, que possibilita aplicações otimizadas de fertilizantes e, conseqüentemente, redução de custos no campo (Crusciol et al., 2020; Sousa, 2020; Gonçalves et al., 2021). O FOM é ambientalmente vantajoso por permitir a reciclagem de

resíduos de diversos setores das cadeias produtivas, além de transformar passivos ambientais em insumos básicos de alto valor agregado para a agricultura (Benites et al., 2013; Cruz et al., 2017).

Uma fonte orgânica com alto potencial de uso como fertilizante em formulações organominerais é a cama de frango (Jantalia et al., 2017), que é um resíduo rico em nutrientes e em grande abundância no setor avícola. Anualmente produzem-se cerca de 10 milhões de toneladas deste resíduo, o que corresponde a, aproximadamente, 208 mil toneladas de K (Rogeri et al., 2016; Dalólio et al., 2017; Frazão et al., 2019), o que representa cerca de 3% do consumo total anual de K pela agricultura brasileira. Embora o uso dos FOM esteja crescendo no país, ainda é pouco estudada a dinâmica do K no solo em função da adubação com fontes alternativas (Vilela et al., 2018; Yuan et al., 2021; Fachini et al., 2022). Desta maneira, objetivou-se com o presente estudo avaliar a influência de um fertilizante potássico organomineral na dinâmica do K e nos atributos químicos, físicos e biológicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura franco-arenosa (LVA).

Referências

- Abd El-Mageed, T. A., & Semida, W. M. (2015). Organo mineral fertilizer can mitigate water stress for cucumber production (*Cucumis sativus* L.). *Agricultural Water Management*, 159, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.020>
- ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos. (2023). Pesquisa Setorial. Disponível em: www.anda.org.br. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Benites, V. D. M., Correa, J. C., Menezes, J. F. S., & Polidoro, J. C. (2013). Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil.
- Bouhia, Y., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Boukhari, M. E. M. E., Mphatso, C., Zeroual, Y., & Lyamlouli, K. (2022). Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(2), 425-446. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>
- BRASIL. (2018). Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. Sumário mineral 2017. Brasília, DF, 2018. v. 37, 211 p. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017. Acesso em: 01 de julho de 2022.
- BRASIL.(2020). Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.

- CEPEA- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2023). PIB do agronegócio brasileiro. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Crusciol, C. A. C., Campos, M. D., Martello, J. M., Alves, C. J., Nascimento, C. A. C., Pereira, J. C. D. R., & Cantarella, H. (2020). Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. *Scientific Reports*, 10(1), 5398. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>
- Cruz, A. C., Pereira, F. D. S., & Figueiredo, V. S. D. (2017). Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro.
- Dalólio, F. S., Silva, J. N., Nogueira, J., Tinôco, I. D. F. F., Baêta, F. D. C., & Carneiro, A. C. O. (2017). Nota técnica: Cama de frango e resíduo moveleiro: alternativa energética para a zona da mata mineira.
- Dianjun, L. U., Yanhong, D. O. N. G., Xiaoqin, C. H. E. N., Huoyan, W. A. N. G., & Jianmin, Z. H. O. U. (2022). Comparison of potential potassium leaching associated with organic and inorganic potassium sources in different arable soils in China. *Pedosphere*, 32(2), 330-338. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60077-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60077-2)
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3^o ed. Centro Nacional de Pesquisa em Solos, organizador. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Ernani, P. R., Bayer, C., Almeida, J. A. D., & Cassol, P. C. (2007). Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 393-401. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200022>
- Fachini, J., de Figueiredo, C. C., & do Vale, A. T. (2022). Assessing potassium release in natural silica sand from novel K-enriched sewage sludge biochar fertilizers. *Journal of Environmental Management*, 314, 115080. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115080>
- Frazão, J. J., Benites, V. M., Ribeiro, J. V. S., Pierobon, V. M., & Lavres, J. (2019). Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. *Geoderma*, 337, 582-593. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.003>
- Gonçalves, C. A., de Camargo, R., de Sousa, R. T. X., Soares, N. S., de Oliveira, R. C., Stanger, M. C., & Lemes, E. M. (2021). Chemical and technological attributes of sugarcane as functions of organomineral fertilizer based on filter cake or sewage sludge as organic matter sources. *PLoS One*, 16 (12), e0236852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236852>
- IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. (2023). Reservas de potássio. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/reserva-gigante-de-potassio-em-mg/>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

- IFA Associação Internacional de Fertilizantes. (2023). Disponível em: <https://www.fertilizer.org/>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Jantalia, C. P., Teixeira, P. C., Polidoro, J. C., Benites, V. D. M., & Araújo, A. P. (2017). Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 786-793. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900011>.
- Kiehl, E.J. (1985). *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p.
- Laforet, M. R.C. (2013). A transferência de tecnologia de processos de produção de fertilizantes organominerais: pesquisa-ação sobre uma parceria público-privada. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Propriedade Intelectual e Inovação., Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro.
- Lopes, A. S. (2005). Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos, 21-32.
- Mensah, A. K., & Frimpong, K. A. (2018). Biochar and/or compost applications improve soil properties, growth, and yield of maize grown in acidic rainforest and coastal savannah soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2018/6837404>
- Meurer, E.J.; Tiecher, T.; & Mattiello, L. (2018). Potássio. In: Fernandes M.S.; Souza, S.R.; & Santos, L.A. (ed.). *Nutrição mineral de plantas*. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS 429-464p.
- Mueller, S., Wamser, A. F., Suzuki, A., & Becker, W. F. (2013). Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. *Horticultura Brasileira*, 31, 86-92. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100014>
- Nachtigall, G. R., & Raij, B. V. (2005). *Análise e interpretação do potássio no solo*.
- Neves, L. S. D., Ernani, P. R., & Simonete, M. A. (2009). Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 25-32. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100003>
- Rogeri, D. A., Ernani, P. R., Mantovani, A., & Lourenço, K. S. (2016). Composition of poultry litter in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20140697>
- Rosolem, C. A., & Steiner, F. (2017). Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. *European Journal of Soil Science*, 68(5), 658-666. <https://doi.org/10.1111/ejss.12460>
- Silva, L. D. C. M., Peixoto, D. S., Gomes, J. B. V., Avanzi, J. C., Amorim, R. S. S., Borghi, E., & Curi, N. (2022). Mineralogy and pore size distribution of clayey Oxisols with granular structure and the effect of management systems. *Soil and Tillage Research*, 223, 105479. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105479>

- Silva, V. A., Marchi, G., Guilherme, L. R. G., Lima, J. M. D., Nogueira, F. D., & Guimarães, P. T. G. (2008). Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee regions: effect of organic acids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 533-540. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200008>
- Smith, W. B., Wilson, M., & Pagliari, P. (2020). Organomineral fertilizers and their application to field crops. *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management*, 67, 229-243. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c18>
- Sousa, I. T. L. D. (2020). Fertilizante organomineral fosfatado farelado na cultura da soja.
- Steiner, F. (2014). Balanço de potássio no sistema solo-planta influenciado pela textura e adubação potássica em solos tropicais. 93f. [Tese de Doutorado]. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Zheng, Y., & Chen, A. (2020). Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Science of the Total Environment*, 701, 134751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134751>
- Vilela, N., Thebaldi, M. S., Leal, B. D. P., Silva, A. V., & Martins, I. P. (2018). Transport parameters of potassium from different sources in soil columns. *Engenharia Agrícola*, 38, 135-141. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n1p135-141/2018>
- Wen, Y., Liu, W., Deng, W., He, X., & Yu, G. (2019). Impact of agricultural fertilization practices on organo-mineral associations in four long-term field experiments: Implications for soil C sequestration. *Science of the Total Environment*, 651, 591-600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.233>
- Yuan, G., Huan, W., Song, H., Lu, D., Chen, X., Wang, H., & Zhou, J. (2021). Effects of straw incorporation and potassium fertilizer on crop yields, soil organic carbon, and active carbon in the rice-wheat system. *Soil and Tillage Research*, 209, 104958. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104958>

2. LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E SUA INFLUÊNCIA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO

Resumo

O potássio (K) é essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, a maioria dos solos brasileiros apresentam deficiência de K, o que leva à crescente dependência de importações de fertilizantes potássicos, com impactos na balança comercial do país. Nesse contexto, os fertilizantes organominerais (FOM) surgem como alternativa promissora, pois combinam adubos minerais e orgânicos. No entanto, embora haja benefícios dos FOM, ainda existem lacunas a respeito de seu efeito na dinâmica de K no solo e sua eficácia na produção agrícola. Com este estudo, objetivou-se quantificar a liberação de K e seu efeito nos atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo franco-arenoso fertilizado com FOM. Para isso, foram realizados experimentos de incubação, respiração basal do solo e deslocamento miscível do íon K em colunas de solo saturadas com água. O FOM liberou K de forma mais lenta ao longo do tempo, o que pode ser benéfico para as plantas, pois proporciona oferta constante de nutrientes. Além disso, o tratamento com FOM estimulou uma maior atividade microbiana no solo. O K aplicado como FOM foi retido de maneira mais eficaz no solo, o que fez com que levasse mais tempo para lixiviar o K do solo em comparação com o cloreto de potássio. Isso é especialmente relevante em solos arenosos, onde a retenção de nutrientes é normalmente baixa. Os FOMs têm potencial de melhorar a eficiência do uso de K na agricultura, o que pode reduzir a dependência de fertilizantes importados e promover práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Liberação lenta, Microbiologia do solo, BTC, Fertilizante alternativo, Cama de frango

Abstract

Release of potassium from organomineral fertilizer and its influence on chemical, physical and microbiological attributes of a sandy loam tropical soil

Potassium (K) is essential for the growth and development of crops. However, most Brazilian soils are deficient in K, which leads to increasing dependence on imports of potassium fertilizers, with impacts on the country's trade balance. In this context, organomineral fertilizers (OMF) emerge as a promising alternative, as they combine mineral and organic fertilizers. However, although there are benefits of OMF, there are still gaps regarding its effect on soil

K dynamics and its effectiveness on agricultural production. This study aimed to quantify the release of K and its effect on the chemical, physical and microbiological attributes of a sandy loam soil fertilized with OMF. For this, incubation experiments, basal soil respiration and miscible displacement of the K ion were carried out in soil columns saturated with water. OMF released K more slowly over time, which can be beneficial for plants as it provides a constant supply of nutrients. Furthermore, OMF treatment stimulated greater microbial activity in the soil. K applied as OMF was retained more effectively in the soil, which caused it to take longer to leach K from the soil compared to potassium chloride. This is especially relevant in sandy soils where nutrient retention is typically low. OMFs have the potential to improve the efficiency of K use in agriculture, which can reduce dependence on imported fertilizers and promote sustainable agricultural practices.

Keywords: Slow release, Soil microbiology, BTC, Alternative fertilizer, Chicken litter

2.1. Introdução

O potássio (K) desempenha papel fundamental na nutrição das plantas, sendo o segundo nutriente mais extraído pelas culturas, logo após o nitrogênio (N) (Malavolta et al., 1997). No entanto, grande parte dos solos brasileiros apresentam concentrações insuficientes de K, o que contrasta com a elevada demanda desse nutriente pelas culturas agrícolas, resultando em aumento progressivo no consumo de fertilizantes potássicos (Silva et al., 2008).

A necessidade por suplementação levou ao aumento nas importações de fertilizantes potássicos, o que exerceu impacto significativo sobre a balança comercial do país (CEPEA, 2023). Em 2021, a demanda de K na agricultura brasileira foi de 6,8 milhões de toneladas, enquanto a produção interna foi de apenas 176 mil toneladas, o que corresponde a menos de 3% da demanda agrícola nacional (FAO, 2023). Com isso, o Brasil importa mais de 90% dos fertilizantes fontes de K, principalmente na forma de cloreto de potássio (KCl) (IFA, 2023; Sipert et al., 2020).

Para mitigar a dependência de importações e reduzir impactos ambientais, têm sido buscadas alternativas para o uso mais eficiente de fertilizantes, como o aproveitamento de resíduos orgânicos. Nesse contexto, os fertilizantes organominerais (FOM) têm se destacado como opção promissora, pois combinam adubos minerais e orgânicos para promover liberação gradual e sustentável de nutrientes para as plantas (Rosolem et al., 2017; Borges et al., 2019; Barra et al., 2023). Essa abordagem tem demonstrado benefícios agrônômicos, como melhor desenvolvimento radicular, elevação da capacidade de troca de cátions (CTC),

retenção de água no solo, alteração da comunidade microbiana e redução da acidificação do solo, além de apresentar melhoria da agregação e estrutura do solo (Kiehl, 1985; Abd Elmageed & Semida, 2015; Wen et al., 2019).

O uso estratégico de FOM desempenha papel crucial no manejo da fertilidade de solos, principalmente em solos de textura arenosa, que possuem baixa CTC, o que pode resultar na perda dos fertilizantes convencionais devido à lixiviação. Ao liberarem lentamente os nutrientes no solo, os FOM podem ajudar a diminuir a lixiviação dos elementos, além de fornecerem matéria orgânica (MO). Solos arenosos dependem fortemente desse aporte orgânico para melhorar sua CTC e a retenção de nutrientes, principalmente K (Rosolem et al., 2017; Barra et al., 2023).

A liberação de K a partir dos FOM e suas implicações nos atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo ainda são temas pouco explorados. A composição complexa da matriz orgânica, associada à interação com a planta e aos estímulos do ambiente, torna difícil estabelecer um consenso sobre o efeito desses fertilizantes na comunidade microbiana do solo (Schloter et al., 2018). Os FOM, por sua vez, liberam os nutrientes de forma distinta em comparação aos fertilizantes minerais, uma vez que seu processo de liberação está vinculado à decomposição e mineralização da MO por meio da ação dos microrganismos presentes no solo, sendo este um aspecto crucial a ser ponderado ao desenvolver abordagens para manejo da fertilidade do solo (Cruz et al., 2017; Basak et al., 2021).

Experimentos de incubação permitem investigar a cinética de liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes ao longo do tempo (Cabrera et al., 1994). Contudo, a avaliação da disponibilidade potencial de nutrientes concentra-se, predominantemente, no N, cuja absorção pelas plantas depende da mineralização das fontes orgânicas (Eckhardt et al., 2018; Cassity-Duffey et al., 2020). Nesse contexto, experimentos de incubação também podem ser uma ferramenta importante no estudo da dinâmica de K em solo fertilizado com organomineral.

A mobilidade dos íons no solo pode ser avaliada por meio de deslocamento de fluidos miscíveis (Matos et al., 2013), que possibilita entender a dinâmica de um íon no solo e fornece explicação dos fenômenos físico-químicos que ocorrem durante o movimento dos fertilizantes no solo (Nielsen & Biggar, 1961). Não obstante toda importância atribuída ao estudo da dinâmica do K no solo e ao uso de fontes alternativas, salvo melhor juízo, não há referências bibliográficas relacionadas ao deslocamento miscível em solos adubados com fertilizantes potássicos organominerais.

O monitoramento da atividade microbiológica do solo, por meio de indicadores biológicos como a respiração basal do solo, pode fornecer informações valiosas sobre o impacto do uso de FOM na dinâmica do ecossistema do solo. Além disso, a análise dos atributos químicos e físicos permite compreender como o FOM pode influenciar na fertilidade do solo e na movimentação de K no solo, essas informações podem subsidiar práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes na agricultura brasileira. Com este estudo, objetivou-se quantificar a liberação de K proveniente de FOM e avaliar sua influência nos atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo franco-arenoso.

2.2. Considerações Finais

A liberação de K pelo FOM foi mais lenta em comparação ao KCl, independentemente da granulometria utilizada. Isso ressalta a importância da matriz orgânica na liberação de nutrientes dos FOM. Além disso, o uso do FOM também contribuiu para aumentar a disponibilidade de Ca e Mg no solo, o que é relevante para a nutrição das plantas. A liberação gradual desses nutrientes pode atender às demandas de crescimento das culturas ao longo de seu ciclo de vida, especialmente durante os estágios intermediários de crescimento.

A aplicação de FOM influenciou positivamente o pH do solo. Isso é importante, pois o pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, o equilíbrio entre os nutrientes no solo, como a relação Ca/K e Mg/K, desempenha papel fundamental na disponibilidade de K para as plantas, e o FOM se mostrou opção interessante devido à sua relação favorável de macronutrientes catiônicos.

A atividade microbiana no solo foi influenciada pela adição de FOM, o que destaca a importância desse fertilizante na promoção de um ambiente favorável para a microbiota do solo, que desempenha papel crucial na reciclagem de nutrientes e na decomposição da matéria orgânica.

O FOM contribuiu para melhoria dos atributos físicos do solo, como porosidade, e melhorou a capacidade de retenção de água e nutrientes, o que contribui para nutrição adequada das plantas e redução das perdas de nutrientes por lixiviação. Esses resultados demonstram que o FOM tem potencial para ser alternativa na gestão de nutrientes e na melhoria da qualidade do solo, com reflexos na melhoria de práticas agrícolas sustentáveis.

Referências

- Abd El-Mageed, T. A., & Semida, W. M. (2015). Organo mineral fertilizer can mitigate water stress for cucumber production (*Cucumis sativus* L.). *Agricultural Water Management*, 159, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.020>
- Alleoni, L. R. F., Mello, J. W. V. de, & Rocha, W. S. D. da. (2009). Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In *Química e Mineralogia do Solo - Parte I: Conceitos básicos; Parte 2: Aplicações (Vol. 2)*. Viçosa: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Andreote, F. D., Gumiere, T., & Durrer, A. (2014). Exploring interactions of plant microbiomes. *Scientia Agricola*, 71, 528-539. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0195>
- Andrews, J. H., & Harris, R. F. (1986). r-and K-selection and microbial ecology. In *Advances in microbial ecology* (pp. 99-147). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0611-6_3
- Arif, M. S., Riaz, M., Shahzad, S. M., Yasmeen, T., Ashraf, M., Siddique, M., & Buttler, A. (2018). Fresh and composted industrial sludge restore soil functions in surface soil of degraded agricultural land. *Science of the Total Environment*, 619, 517-527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.143>
- Barnes, R. T., Gallagher, M. E., Masiello, C. A., Liu, Z., & Dugan, B. (2014). Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PloS One*, 9(9), e108340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108340>
- Barra, J. N. F., Palmeira, F. G., Muniz, A. C. A., Castro, R. D., Moura, N. B. A. S., & Zonta, E. (2023). Combining biosolid and mineral sources of phosphorus and potassium in organomineral fertilizers influences the dynamics and efficiency of nutrient release. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01555-2>
- Basak, B. B. (2018). Recycling of waste biomass and mineral powder for preparation of potassium-enriched compost. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 1409-1415. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0699-4>
- Basak, B. B., Sarkar, B., & Naidu, R. (2021). Environmentally safe release of plant available potassium and micronutrients from organically amended rock mineral powder. *Environmental geochemistry and health*, 43, 3273-3286. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00677-1>
- Behera, S. K., Suresh, K., Shukla, A. K., Kamireddy, M., Mathur, R. K., & Majumdar, K. (2021). Soil and leaf potassium, calcium and magnesium in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown on three different soils of India: Status, stoichiometry and relations. *Industrial Crops and Products*, 168, 113589. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113589>

- Bender, R. R., Haegele, J. W., & Below, F. E. (2015). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, 107(2), 563-573. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0435>
- Benites, V. D. M., Carvalho, M. D., de Resende, A. V., Polidoro, J. C., Bernardi, A. D. C., & de Oliveira, F. A. (2010). Potássio, cálcio e magnésio. In: Prochnow, L. I.; Casarin, V.; Stipp, S. R. (Eds.) *Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes*. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 137-191.
- Blagodatskaya, E. V., Blagodatsky, S. A., Anderson, T. H., & Kuzyakov, Y. (2007). Priming effects in Chernozem induced by glucose and N in relation to microbial growth strategies. *applied soil ecology*, 37(1-2), 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.05.002>
- Blake, G.H., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Bohara, H., Dodla, S., Wang, J. J., Darapuneni, M., Acharya, B. S., Magdi, S., & Pavuluri, K. (2019). Influence of poultry litter and biochar on soil water dynamics and nutrient leaching from a very fine sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 189, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.001>
- Borges, B. M. M. N., Abdala, D. B., Souza, M. F., Viglio, L. M., Coelho, M. J. A., Pavinato, P. S., & Franco, H. C. J. (2019). Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma*, 339, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>
- Bouhia, Y., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Boukhari, M. E. M. E., Mphatso, C., Zeroual, Y., & Lyamlouli, K. (2022). Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(2), 425-446. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>
- BRASIL. (2016). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016 (republicada em 02/05/2016). *Diário Oficial da União*. Brasília (DF).
- Büll, L. T., Boaretto, A. E., Mello, F. A. F., Soares, E. (1993). Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras: II. Absorção de potássio em função da relação K/(Ca+Mg) no complexo de troca do solo. *Científica*, v.21, p.67-75.
- Buss, W., Jansson, S., & Mašek, O. (2019). Unexplored potential of novel biochar-ash composites for use as organo-mineral fertilizers. *Journal of Cleaner Production*, 208, 960-967. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.189>
- Cabrera, M. L., Kissel, D. E. & Vigil, M. F. (1994). Potential nitrogen mineralization: laboratory and field evaluation. In: Havlin & Jacobsen (Eds.), *Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations*. (Volume 40, p. 15–30).

- Cantarella, H, Quaggio, JA, Mattos Jr., D, Boaretto, RM, & Raij, B. V. (2022). (eds) Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico. 177-186 p.
- Carmo, D. L. D., & Silva, C. A. (2016). Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1762-1772. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001000008>
- Carvalho, R. P., Moreira, R. A., Cruz, M. C. M., Fernandes, D. R., & Oliveira, A. F. (2014). Organomineral fertilization on the chemical characteristics of Quartzarenic Neosol cultivated with olive tree. *Scientia Horticulturae*, 176, 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.006>
- Cassity-Duffey, K., Cabrera, M., Gaskin, J., Franklin, D., Kissel, D., & Saha, U. (2020). Nitrogen mineralization from organic materials and fertilizers: Predicting N release. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 522–533. <https://doi.org/10.1002/saj2.20037>
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M., & Akpinar, C. (2010). Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160(2), 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- CEPEA- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2023). Com forte dependência do mercado externo, setor nacional de fertilizantes enfrenta desafios. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/com-forte-dependencia-do-mercado-externo-setor-nacional-de-fertilizantes-enfrenta-desafios>. Acesso em: 08 de agosto de 2023.
- Cruz, A. C., Pereira, F. D. S., & Figueiredo, V. S. D. (2017). Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro.
- Dianjun, L. U., Yanhong, D. O. N. G., Xiaoqin, C. H. E. N., Huoyan, W. A. N. G., & Jianmin, Z. H. O. U. (2022). Comparison of potential potassium leaching associated with organic and inorganic potassium sources in different arable soils in China. *Pedosphere*, 32(2), 330-338. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60077-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60077-2)
- Dikinya, O., Hinz, C., & Aylmore, G. (2008). Decrease in hydraulic conductivity and particle release associated with self-filtration in saturated soil columns. *Geoderma*, 146(1-2), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.014>
- Eckhardt, D. P., Redin, M., Santana, N. A., De Conti, L., Dominguez, J., Jacques, R. J. S. & Antonioli, Z. I. (2018). Cattle manure bioconversion effect on the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.*, 42, e170327. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170327>.
- Fachini, J., Figueiredo, C. C., Frazão, J. J., Rosa, S. D., Silva, J., & do Vale, A. T. (2021). Novel K-enriched organomineral fertilizer from sewage sludge-biochar: Chemical, physical and mineralogical characterization. *Waste Management*, 135, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.027>

- FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Faostat: land, inputs, and sustainability: fertilizers by nutrient. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>. Acesso em: 08 de agosto de 2023.
- Flint, A. L., & Flint, L. E. (2002). 2.2 Particle Density. *Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods*, 5, 229-240. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c10>
- Franchini, J. C., Gonzalez-Vila, F. J., Cabrera, F., Miyazawa, M., & Pavan, M. A. (2001). Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *Plant and Soil*, 231, 55-63. <https://doi.org/10.1023/A:1010338917775>
- Fuke, P., Kumar, M., Sawarkar, A. D., Pandey, A., & Singh, L. (2021). Role of microbial diversity to influence the growth and environmental remediation capacity of bamboo: a review. *Industrial Crops and Products*, 167, 113567. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113567>
- Garcia, J. C., Boneti, J. E. B., Azania, C. A. M., Beluci, L., & Vitorino, R. (2015). Fontes de adubação potássica na lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico. *Revista Eletrônica Thesis*, 24, 76-89.
- Guedes, M. C., Andrade, C. A. D., Poggiani, F., & Mattiazzo, M. E. (2006). Soil chemical properties and eucalypt nutrition as a function of sewage sludge addition. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 267-280. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200008>
- Guerrini, I. A., & Trigueiro, R. M. (2004). Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 1069-1076. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600016>
- IAEA- International Atomic Energy Agency. (1976). *Tracer manual on crops and soils* (Technical Reports Series No.171). Viena: IEAE. 280p.
- IFA- Associação Internacional de Fertilizantes. (2023). Disponível em: <https://www.fertilizer.org/>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Iwata, S. (2020). *Soil-water interactions: mechanisms applications, revised expanded*. CRC Press.
- Jackson, M. L. (1979). *Soil chemical analysis-advanced course*. Madison, Prentice-Hall. 895p.
- Ji, H., Wei, H., Wang, R., Zhang, J., Liu, Z., Abdellah, Y. A. Y., & He, Z. (2022). Heterogeneity and its drivers of microbial communities and diversity in six typical soils under two different land uses in tropical and subtropical southern China. *Applied Soil Ecology*, 179, 104555. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104555>
- Jiang-Tao, L. I., & Zhang, B. (2007). Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical China. *Pedosphere*, 17(5), 568-579. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60067-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60067-8)

- Jin, X., Cai, J., Yang, S., Li, S., Shao, X., Fu, C., & Li, C. (2023). Partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer and slow-release fertilizer benefits soil microbial diversity and pineapple fruit yield in the tropics. *Applied Soil Ecology*, 189, 104974. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104974>
- Kiehl, E.J. (1985). *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p.
- Kulakowski, M. P., Brehm, F., Kazmierczak, C., Kazmierczak, C. S., & Fabrício, M. M. (2016). Avaliação Ambiental de Produtos e Sistemas Construtivos Inovadores com Resíduos: Lixiviação e Solubilização. Kazmierczak, CS, Fabrício, MM, Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade, 1.
- Laekemariam, F., Kibret, K., & Shiferaw, H. (2018). Potassium (K)-to-magnesium (Mg) ratio, its spatial variability and implications to potential Mg-induced K deficiency in Nitisols of Southern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0165-5>
- Laekemariam, F., Kibret, K., Mamo, T., & Gebrekidan, H. (2016). Soil-plant nutrient status and their relations in maize-growing fields of Wolaita Zone, southern Ethiopia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(11), 1343-1356. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1166378>
- Li, R., Khafipour, E., Krause, D. O., Entz, M. H., Kievit, T. R., & Fernando, W. D. (2012). Pyrosequencing reveals the influence of organic and conventional farming systems on bacterial communities. *PloS One*, 7 (12), e51897. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051897>
- Li, Z., Liu, Z., Zhang, M., Li, C., Li, Y. C., Wan, Y., & Martin, C. G. (2020). Long-term effects of controlled-release potassium chloride on soil available potassium, nutrient absorption and yield of maize plants. *Soil and Tillage Research*, 196, 104438. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104438>
- Lim, T. J., Spokas, K. A., Feyereisen, G., & Novak, J. M. (2016). Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.069>
- Liu, W., Cui, S., Wu, L., Qi, W., Chen, J., Ye, Z., & Liu, D. (2023). Effects of Bio-organic Fertilizer on Soil Fertility, Yield, and Quality of Tea. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01195-6>
- Luz, P. H. D. E. C., Vitti, G. C., Quintino, T. A., & Oliveira, D. B. (2005). Use of green manure on crop cane sugar. GAPE: São Paulo.
- Malaquias, C. A. A., & Santos, A. J. M. (2017). Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). *Pubvet*, 11 (5), 501-512. <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.501-512>
- Malavolta, E.A.; Vitti, G.C.; Oliveira, A.S. de. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos. 319p.

- MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2017). Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: 240 p. ISBN 978-85-7991-109-5.
- Marschner, B., & Noble, A. D. (2000). Chemical and biological processes leading to the neutralization of acidity in soil incubated with litter materials. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(6), 805-813. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00209-6)
- Matos, A. T., Helder, A. D. A., & Monaco, P. A. L. (2013). Miscible displacement of cations from vinasse in soil columns / Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(6), 743-750. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700008>
- Mayerová, M., Šimon, T., Stehlík, M., Madaras, M., Koubová, M., & Smatanová, M. (2023). Long-term application of biogas digestate improves soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 231, 105715. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105715>
- Megda, M. X. V., Mariano, E., Leite, J. M., Megda, M. M., & Trivelin, P. C. O. (2014). Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 72, 84-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.030>
- Melo, M. F., Silva, E. F., Costa, F. C. L., Santana, E. A., Almeida, V. A., Almeida, F. E., & Silva, L. F. (2020). Vermicompostagem: Conversão de resíduos orgânicos em benefícios para solo e plantas. *Tópicos em Ciências Agrárias*. Belo Horizonte, Minas Gerais: Poisson, 6, 35-46.
- Melo, V. F., Singh, B., Schaefer, C. E. G. R., Novais, R. F., & Fontes, M. P. F. (2001). Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1324-1333. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541324x>
- Mendonça, L., Teixeira, P., Mattos, B., Polidoro, J., Santos, D. N., & Martinho, A. D. F. (2017). Efeito de fontes e doses de fertilizantes potássicos na solubilidade e mobilidade de potássio em condições controladas. In: Embrapa Solos. Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Seminário PIBIC Embrapa Solos, 2016-2017, Rio de Janeiro. Seminário PIBIC Embrapa Solos 2016/2017. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. p. 45-49., 2017.
- Meurer, I. (2018). Método do perfil instantâneo em amostras de solo homogêneas e estratificadas. [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo.116p.
- Nielsen, D. R., & Biggar, J. W. (1961). Miscible displacement in soils: I. Experimental information. *Soil Science Society of America Journal*, 25(1), 1-5. <https://doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500010008x>
- Panswad, T., & Anan, C. (1999). Specific oxygen, ammonia, and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater. *Bioresource Technology*, 70(3), 237-243. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00041-3)

- Pawlett, M., Deeks, L. K., & Sakrabani, R. (2015). Nutrient potential of biosolids and urea derived organo-mineral fertilizers in a field scale experiment using ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Field Crops Research*, 175, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.006>
- Pereira, D. G. C., Santana, I. A., Megda, M. M., & Megda, M. X. V. (2019). Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. *Ciência Rural*, 49. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180556>
- Piao, H. C., Li, S. L., Yan, Z., & Li, C. (2020). Understanding nutrient allocation based on leaf nitrogen isotopes and elemental ratios in the karst region of Southwest China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 294, 106864. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106864>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/). Acesso 29 de agosto de 2023.
- Raij, B. van. (1991). Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 343, 596.
- Raij, B. van. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. International Plant Nutrition Institute.
- Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; & Quaggio, J.A. (2001). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais Campinas Instituto Agrônômico. 285p.
- Ronquim, C. C. (2020). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais- 2º edição.
- Rosolem, C. A., Almeida, D. S., Rocha, K. F., & Bacco, G. H. (2017). Potassium fertilisation with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. *Soil Research*, 56(3), 244-251. <https://doi.org/10.1071/SR17214>
- Rosolem, C. A., Sgariboldi, T., Garcia, R. A., & Calonego, J. C. (2010). Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 41 (16), 1934-1943. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.495804>
- Rukshana, F., Butterly, C. R., Baldock, J. A., & Tang, C. (2011). Model organic compounds differ in their effects on pH changes of two soils differing in initial pH. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 51-62. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0498-0>
- Schlöter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S. J., & van Elsas, J. D. (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 54, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>
- Shi, Y., Zhao, X., Gao, X., Zhang, S., & Wu, P. (2016). The effects of long-term fertiliser applications on soil organic carbon and hydraulic properties of a loess soil in China. *Land Degradation & Development*, 27(1), 60-67. <https://doi.org/10.1002/ldr.2391>

- Sia, Z. Y., Ch'ng, H. Y., & Liew, J. Y. (2019). Amending inorganic fertilizers with rice straw compost to improve soil nutrients availability, nutrients uptake, and dry matter production of maize (*Zea mays* L.) cultivated on a tropical acid soil. *AIMS Agriculture & Food*, 4(4). <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.1020>
- Silva, V. A., Marchi, G., Guilherme, L. R. G., Lima, J. M. D., Nogueira, F. D., & Guimarães, P. T. G. (2008). Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee regions: effect of organic acids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 533-540. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200008>
- Sipert, S., Cohim, E., & do Nascimento, F. R. A. (2020). Identification and quantification of main anthropogenic stocks and flows of potassium in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 32579-32593. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09526-1>
- Stotzky, G. (1965). Microbial respiration. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1550-1572. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c62>
- USEPA- United States Environmental Protection Agency. (2007). Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.
- Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Sasagawa, D., Ishigaki, T., Handa, T., & Nishihara, E. (2019). Imbalanced soil chemical properties and mineral nutrition in relation to growth and yield decline of sesame on different continuously cropped upland fields converted paddy. *Agronomy*, 9(4), 184. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040184>
- Wang, H., Xu, J., Liu, X., Zhang, D., Li, L., Li, W., & Sheng, L. (2019). Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil and Tillage Research*, 195, 104382. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104382>
- Wen, Y., Liu, W., Deng, W., He, X., & Yu, G. (2019). Impact of agricultural fertilization practices on organo-mineral associations in four long-term field experiments: Implications for soil C sequestration. *Science of the Total Environment*, 651, 591-600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.233>
- Werle, R., Garcia, R. A., & Rosolem, C. A. (2008). Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 2297-2305. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>
- Xiao, K., Xu, J., Tang, C., Zhang, J., & Brookes, P. C. (2013). Differences in carbon and nitrogen mineralization in soils of differing initial pH induced by electrokinesis and receiving crop residue amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.012>
- Yin, Q., Sun, Y., Li, B., Feng, Z., & Wu, G. (2022). The r/K selection theory and its application in biological wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment*, 824, 153836. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153836>

Zhang, B., Deng, H., Wang, H. L., Yin, R., Hallett, P. D., Griffiths, B. S., & Daniell, T. J. (2010). Does microbial habitat or community structure drive the functional stability of microbes to stresses following re-vegetation of a severely degraded soil?. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 850-859. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.02.004>

3. INFLUÊNCIA DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL POTÁSSICO NA MICROBIOTA DE UM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO

Resumo

A fertilidade do solo depende de uma série de fatores físicos, químicos e biológicos que interagem para criar um ambiente favorável ao crescimento das plantas. Em condições de baixa fertilidade, fertilizantes minerais e orgânicos têm sido frequentemente utilizados em sistemas agrícolas. No entanto, estudos ligados ao impacto desses fertilizantes na microbiota do solo são escassos, principalmente os fertilizantes contendo potássio, que é um macronutriente das plantas. Neste estudo objetivou-se avaliar como o uso de fertilizante organomineral (OM) influencia as comunidades de bactérias e fungos do solo em comparação com o cloreto de potássio (KCl), que é uma fonte convencionalmente utilizada na agricultura do trópico úmido, tanto na granulometria convencional como na forma moída, que é utilizada para produzir o OM. Para isso, amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura franco-arenosa foram incubadas com os fertilizantes, e posteriormente foi realizado o sequenciamento dos genes RNA ribossomal 16s (16S rRNA) para bactérias e espaço interno transcrito do rDNA para fungos. Amostras que receberam o OM tiveram menor riqueza e diversidade dos microrganismos do solo do que amostras tratadas com KCl. Independentemente da granulometria, o KCl influenciou a composição da comunidade microbiana, selecionando filos específicos. De maneira geral, os filos Firmicutes, Actinobacteriota, Proteobacteria, Chloroflexi, Acidobacteriota e Myxococota foram os principais grupos bacterianos em todos os tratamentos, enquanto Ascomycota e Basidiomycota foram os principais filos de fungos. O tratamento com OM enriqueceu um maior número de gêneros bacterianos, em particular *Microvirga*, *Phenylobacterium* e *Azospirillum*, e aumentou somente o gênero *Ascobolus* em fungos. Os resultados deste estudo destacam a importância de compreender a interação entre a fertilização e a microbiota do solo, o que abre caminho para investigações futuras sobre os mecanismos subjacentes a essas respostas.

Palavras-chave: Comunidade microbiana do solo, Adubação alternativa, Sequenciamento de amplicons

Abstract

Influence of potassium organomineral fertilizer on the microbiota of a sandy loam tropical soil

Soil fertility depends on a series of physical, chemical and biological factors that interact to create an environment favorable to plant growth. In conditions of low fertility, mineral and organic fertilizers have often been used in

agricultural systems. However, studies on the impact of these fertilizers on the soil microbiota are scarce, especially fertilizers containing potassium, which is a plant macronutrient. In this study we evaluated how the use of organomineral fertilizer (OM) influences soil bacterial and fungal communities in comparison with potassium chloride (KCl), which is a source conventionally used in agriculture in the humid tropics, both in particle size conventional as well as in ground form, which is used to produce OM. For this, samples of a sandy loam Typic Hapludox were incubated with fertilizers, and subsequently the sequencing of the 16S ribosomal RNA (16S rRNA) genes for bacteria and the internal space transcribed rDNA for fungi was carried out. Samples that received OM had lower richness and diversity of soil microorganisms than samples treated with KCl. Regardless of particle size, KCl influenced the composition of the microbial community, selecting specific phyla. In general, the phyla Firmicutes, Actinobacteriota, Proteobacteria, Chloroflexi, Acidobacteriota and Myxococcota were the main bacterial groups in all treatments, while Ascomycota and Basidiomycota were the main fungal phyla. OM treatment enriched a greater number of bacterial genera, in particular *Microvirga*, *Phenylobacterium* and *Azospirillum*, and increased only the *Ascobolus* genus in fungi. The results of this study highlight the importance of understanding the interaction between fertilization and soil microbiota, which paves the way for future investigations into the mechanisms underlying these responses.

Keywords: Soil microbial community, Alternative fertilizers, Amplicon sequencing

3.1. Introdução

A fertilidade do solo depende de uma série complexa de fatores físicos, químicos e biológicos que interagem para criar um ambiente favorável ao crescimento das plantas (Troeh & Thompson, 2005; Sofo et al., 2022). Isso pode ser aprimorado com fertilização, seja mineral ou orgânica (Hawrot-Paw et al., 2022). Devido ao alto custo dos fertilizantes minerais, há crescente interesse em alternativas, como o uso de fertilizantes organominerais (OM), que podem aumentar o teor de matéria orgânica (MO) e os nutrientes minerais para as plantas (Smith et al., 2020).

A fertilização tem o potencial de desencadear uma série de efeitos nas características e funções de um ecossistema, o que afeta aspectos como diversidade, abundância e atividade metabólica da microbiota do solo (Zhaoming et al., 2022). Na agricultura, os microrganismos presentes no solo desempenham papel fundamental na promoção de reciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, prevenção da erosão por meio da formação de agregados no solo e a inibição de doenças (Bebber & Richards, 2022). Portanto, compreender e gerenciar os efeitos da fertilização é essencial para garantir a sustentabilidade e o desempenho dos ecossistemas e

sistemas agrícolas, uma vez que os microrganismos do solo são sensíveis às mudanças no ambiente (Griffiths & Philippot, 2013; Wierchowski et al., 2021).

O uso de OM vai muito além de apenas aportar material húmico para o meio. Esses fertilizantes podem gerar menos impacto no pH do que as fontes minerais, pois a MO tem a capacidade de tamponar o meio, o que evita variações bruscas (Vaughan & Malcolm, 2012). Além disso, a salinização do solo proveniente do uso de fontes minerais pode ser atenuada por meio da liberação gradual dos OMs (Bonanomi et al., 2020). Assim, todos esses aspectos agem para evitar um desequilíbrio na microbiota do solo, o que torna o ambiente produtivo mais eficiente.

O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante potássico mais utilizado na agricultura como fonte de potássio (K) (Cantarella et al., 2022). No entanto, o uso contínuo do KCl tem o potencial de elevar a salinidade do solo e resultar em danos às plantas e aos microrganismos (Soumare et al., 2023). Alguns pesquisadores alegam que o cloreto, mesmo em baixas concentrações, tem potencial de ação oxidante e, portanto, pode se apresentar como um potente biocida (Souri et al., 2010; Megda et al., 2014).

Os OMs como fonte de K têm sido uma forma de mitigar os impactos indesejáveis do uso de fertilizantes minerais e melhorar a eficiência de uso do K. No entanto, a influência desses fertilizantes na microbiota do solo ainda não está bem compreendida. Jin et al. (2023) investigaram os efeitos de um OM na diversidade microbiana do solo e na produção de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merr.), e observaram que o OM promoveu aumento nos teores de nutrientes no solo e na diversidade microbiana. Por outro lado, Poulsen et al. (2013) não encontraram grandes alterações na microbiota do solo em estudo sobre os efeitos da adubação com fertilizantes de matriz orgânica. Esses resultados sugerem a necessidade de mais estudos sobre os efeitos da adubação com OM nos microrganismos do solo. Portanto, com este estudo objetivou-se avaliar como um OM fonte de K influencia a microbiota do solo, com foco nas comunidades de bactérias e fungos, uma vez que esses grupos constituem os grupos microbianos mais diversos e abundantes do solo, representando mais de 90% da microbioma do solo (Ai et al., 2018; Bastida et al., 2021).

3.2. Considerações Finais

A aplicação do OM no solo e seus efeitos nos microrganismos vão estar relacionados ao tipo de fertilizante, doses aplicadas e locais de estudo. O fertilizante OM induziu redução na riqueza e na diversidade das comunidades bacteriana e fúngica. No entanto, a diminuição

da diversidade não implica necessariamente na redução da atividade microbiana do solo. Um grupo de microrganismos dominantes se sobressaiu nas amostras de solo fertilizadas com OM. Porém, esse efeito esteve relacionado à composição do fertilizante utilizado neste estudo.

O KCl, em diferentes granulometrias, não reduziu a riqueza e diversidade da comunidade microbiana do solo. No entanto, a composição da comunidade diferiu em função do tamanho dos grânulos, o que indica que fatores aparentemente simples podem afetar a composição da comunidade microbiana. Portanto, é necessário realizar estudos adicionais para compreender os mecanismos que explicam mais detalhadamente esses resultados.

Diferentes fertilizantes selecionaram filos específicos de bactérias e fungos, o que demonstra a capacidade de influenciar a estrutura da comunidade. Essas mudanças na composição podem ter implicações na ciclagem de nutrientes e na decomposição de matéria orgânica do solo. Este estudo destaca a importância de compreender como a adubação pode impactar a comunidade microbiana do solo, assim como a relevância de considerar o efeito da composição do fertilizante e sua granulometria na avaliação dos microrganismos benéficos para a agricultura.

Referências

- Ai, C., Zhang, S., Zhang, X., Guo, D., Zhou, W., & Huang, S. (2018). Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation. *Geoderma*, 319, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.010>
- Araújo, F. F., Salvador, G. L. O., Lupatini, G. C., Araújo, A. P., Costa, R. M., de Aviz, R. O., & Araújo, A. S. F. (2023). Exploring the diversity and composition of soil microbial communities in different soybean-maize management systems. *Microbiological Research*, 274, 127435. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127435>
- Baldrian, P., Kolařík, M., Štursová, M., Kopecký, J., Valášková, V., Větrovský, T., & Voříšková, J. (2012). Active and total microbial communities in forest soil are largely different and highly stratified during decomposition. *The ISME journal*, 6(2), 248-258. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.95>
- Bastida, F., Eldridge, D. J., García, C., Png, G.K., Bardgett, R. D., & Delgado-Baquerizo, M. (2021). Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes. *The ISME Journal*, 15(7), 2081-2091. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00906-0>
- Bebber, D. P., & Richards, V. R. (2022). A meta-analysis of the effect of organic and mineral fertilizers on soil microbial diversity. *Applied Soil Ecology*, 175, 104450. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104450>

- Bonanomi, G., De Filippis, F., Zotti, M., Idbella, M., Cesarano, G., Al-Rowaily, S., & Abd-ElGawad, A. (2020). Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology*, 156, 103714. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103714>
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., & Holmes, S. P. (2017). Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. *The ISME journal*, 11(12), 2639-2643. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.119>
- Cantarella, H, Quaggio, JA, Mattos Jr., D, Boaretto, RM, & Raij, B. V. (2022). (eds.) Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico. 177-186 p.
- Caporaso, J. G., Lauber, C. L., Walters, W. A., Berg-Lyons, D., Lozupone, C. A., Turnbaugh, P. J., & Knight, R. (2011). Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(supplement_1), 4516-4522. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000080107>
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., Carlan, C. L. N., & Mora, V. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Dahal, R. H., & Kim, J. (2017). *Microvirga soli* sp. nov., an alphaproteobacterium isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67(1), 127-132. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001582>
- Du, T. Y., He, H. Y., Zhang, Q., Lu, L., Mao, W. J., & Zhai, M. Z. (2022). Positive effects of organic fertilizers and biofertilizers on soil microbial community composition and walnut yield. *Applied Soil Ecology*, 175, 104457. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104457>
- Fu, X., Song, Q., Li, S., Shen, Y., & Yue, S. (2022). Dynamic changes in bacterial community structure are associated with distinct priming effect patterns. *Soil Biology and Biochemistry*, 169, 108671. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108671>
- Gardes, M., & Bruns, T. D. (1993). ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology*, 2(2), 113-118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>
- Griffiths, B. S., & Philippot, L. (2013). Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS microbiology reviews*, 37(2), 112-129. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00343.x>
- Gu, S., Hu, Q., Cheng, Y., Bai, L., Liu, Z., Xiao, W., & Tan, L. (2019). Application of organic fertilizer improves microbial community diversity and alters microbial network structure in tea (*Camellia sinensis*) plantation soils. *Soil and Tillage Research*, 195, 104356. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104356>
- Hammer, O., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron*, 4(9).

- Harms, H., Schlosser, D., & Wick, L. Y. (2011). Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nature Reviews Microbiology*, 9(3), 177-192. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2519>
- Hartmann, M., & Widmer, F. (2006). Community structure analyses are more sensitive to differences in soil bacterial communities than anonymous diversity indices. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(12), 7804-7812. <https://doi.org/10.1128/AEM.01464-06>
- Hawrot-Paw, M., Mikiciuk, M., Koniuszy, A., & Meller, E. (2022). Influence of organomineral fertiliser from sewage sludge on soil microbiome and physiological parameters of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 12(5), 1114. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051114>
- Jerônimo, G. H., Jesus, A. L. D., Marano, A. V., James, T. Y., Souza, J. I. D., Rocha, S. C. O., & Pires-Zottarelli, C. L. A. (2015). Diversidade de Blastocladiomycota e Chytridiomycota do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, Cananéia, SP, Brasil. *Hoehnea*, 42, 135-163. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-32/2014>
- Jin, Q., Zhang, Y., Wang, Q., Li, M., Sun, H., Liu, N., & Liu, Z. (2022). Effects of potassium fulvic acid and potassium humate on microbial biodiversity in bulk soil and rhizosphere soil of *Panax ginseng*. *Microbiological Research*, 254, 126914. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126914>
- Jin, X., Cai, J., Yang, S., Li, S., Shao, X., Fu, C., & Li, C. (2023). Partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer and slow-release fertilizer benefits soil microbial diversity and pineapple fruit yield in the tropics. *Applied Soil Ecology*, 189, 104974. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104974>
- Jose, P. A., Maharshi, A., & Jha, B. (2021). Actinobacteria in natural products research: Progress and prospects. *Microbiological Research*, 246, 126708. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126708>
- Kang, E., Li, Y., Zhang, X., Yan, Z., Wu, H., Li, M., & Kang, X. (2021). Soil pH and nutrients shape the vertical distribution of microbial communities in an alpine wetland. *Science of the Total Environment*, 774, 145780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145780>
- Leite, M. R. L., de Alcântara Neto, F., Dutra, A. F., Mendes, L. W., de Souza Miranda, R., Melo, V. M. M., & Araújo, A. S. F. (2024). Distinct sources of silicon shape differently the rhizospheric microbial community in sugarcane. *Applied Soil Ecology*, 193, 105131. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105131>
- Li, Y., Liu, X., Zhang, L., Xie, Y., Cai, X., Wang, S., & Lian, B. (2020). Effects of short-term application of chemical and organic fertilizers on bacterial diversity of cornfield soil in a karst area. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2048-2058. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00274-2>
- Li, Y., Shen, Q., An, X., Xie, Y., Liu, X., & Lian, B. (2022). Organomineral fertilizer application enhances *Perilla frutescens* nutritional quality and rhizosphere microbial

- community stability in karst mountain soils. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1058067. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1058067>
- Liang, X., Yuan, J., Yang, E., & Meng, J. (2017). Responses of soil organic carbon decomposition and microbial community to the addition of plant residues with different C:N ratio. *European Journal of Soil Biology*, 82, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.08.005>
- Megda, M. X. V., Mariano, E., Leite, J. M., Megda, M. M., & Trivelin, P. C. O. (2014). Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 72, 84-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.030>
- Money, N. P. (2016). Spore Production, Discharge, and Dispersal. In "The Fungi" (Third Edition), pp. 67-97. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382034-1.00003-7>
- Nilsson, R. H., Larsson, K. H., Taylor, A. F. S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T. S., Schigel, D., & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic acids research*, 47(D1), D259-D264. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1022>
- Poulsen, P. H., Al-Soud, W. A., Bergmark, L., Magid, J., Hansen, L. H., & Sørensen, S. J. (2013). Effects of fertilization with urban and agricultural organic wastes in a field trial—Prokaryotic diversity investigated by pyrosequencing. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 784-793. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.12.023>
- Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., & Glöckner, F. O. (2012). The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic acids research*, 41(D1), D590-D596. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>
- Radl, V., Simões-Araújo, J. L., Leite, J., Passos, S. R., Martins, L. M. V., Xavier, G. R., & Zilli, J. E. (2014). *Microvirga vignae* sp. nov., a root nodule symbiotic bacterium isolated from cowpea grown in semi-arid Brazil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt_3), 725-730. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.053082-0>
- Rui, J., Peng, J., & Lu, Y. (2009). Succession of bacterial populations during plant residue decomposition in rice field soil. *Applied and environmental microbiology*, 75(14), 4879-4886. <https://doi.org/10.1128/AEM.00702-09>
- Segata, N., Izard, J., Waldron, L., Gevers, D., Miropolsky, L., Garrett, W. S., & Huttenhower, C. (2011). Metagenomic biomarker discovery and explanation. *Genome biology*, 12, 1-18.
- Smith, D. P., & Peay, K. G. (2014). Sequence depth, not PCR replication, improves ecological inference from next generation DNA sequencing. *PloS One*, 9(2), e90234. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090234>
- Smith, W. B., Wilson, M., & Pagliari, P. (2020). Organomineral fertilizers and their application to field crops. *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management*, 67, 229-243. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c18>

- Sofo, A., Zanella, A., & Ponge, J. F. (2022). Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils. *Soil Use and Management*, 38(2), 1085-1112. <https://doi.org/10.1111/sum.12702>
- Soumare, A., Djibril, S. A. R. R., & Diédhiou, A. G. (2023). Potassium sources, microorganisms and plant nutrition: Challenges and future research directions. *Pedosphere*, 33(1), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.025>
- Souri, M. K. (2010). Effectiveness of chloride compared to 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(14), 1769-1778. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.489139>
- Troeh, F. R., & Thompson, L. M. (2005). *Soils and soil fertility* (Vol. 489). Iowa: Blackwell.
- Vaughan, D., & Malcolm, R. E. (2012). *Soil organic matter and biological activity* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.
- Vollú, R. E., Cotta, S. R., Jurelevicius, D., Leite, D. C. D. A., Parente, C. E. T., Malm, O., & Seldin, L. (2018). Response of the bacterial communities associated with maize rhizosphere to poultry litter as an organomineral fertilizer. *Frontiers in Environmental Science*, 118. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00118>
- Wang, H., Guo, S., Huang, M., Thorsten, L. H., & Wei, J. (2010). Ascomycota has a faster evolutionary rate and higher species diversity than Basidiomycota. *Science China Life Sciences*, 53, 1163-1169. <https://doi.org/10.1007/s11427-010-4063-8>
- Wierzchowski, P. S., Dobrzyński, J., Mazur, K., Kierończyk, M., Wardal, W. J., Sakowski, T., & Barszczewski, J. (2021). Chemical properties and bacterial community reaction to acidified cattle slurry fertilization in soil from maize cultivation. *Agronomy*, 11(3), 601. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030601>
- Wu, X., Zhang, T., Zhao, J., Wang, L., Yang, D., Li, G., & Xiu, W. (2021). Variation of soil bacterial and fungal communities from fluvo-aquic soil under chemical fertilizer reduction combined with organic materials in North China Plain. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 349-363. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00365-0>
- Zhang, Y., Shen, H., He, X., Thomas, B. W., Lupwayi, N. Z., Hao, X., & Shi, X. (2017). Fertilization shapes bacterial community structure by alteration of soil pH. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1325 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01325>
- Zhaoming, Q., Haojie, F., Qi, C., Yanli, L., & Chengliang, L. (2022). Effects of controlled release potassium chloride application on rhizosphere bacterial community and metabolites under reduced irrigation volume. *Applied Soil Ecology*, 180, 104617. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104617>

4. RESPOSTA DO MILHO AO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NUM SOLO TROPICAL FRANCO-ARENOSO

Resumo

O milho (*Zea mays* L.) é um importante produto agrícola no Brasil, e uma alta produtividade depende da adequada disponibilidade de nutrientes no solo, com destaque para o potássio (K). A deficiência de K é comum na maioria dos solos brasileiros, o que torna necessária a reposição desse nutriente por meio de adubações. O cloreto de potássio (KCl) é a fonte mais utilizada, apesar da alta salinidade e do alto custo de importação. Alternativas como os fertilizantes organominerais (FOM) têm sido propostas, pois além de fornecer K, melhoram alguns atributos do solo e fornecem outros nutrientes; porém a eficiência dessas fontes alternativas ainda não foi estudada em detalhe. Neste estudo objetivou-se comparar os efeitos de um FOM potássico com o KCl com base no nível crítico (NC) de K para a cultura do milho num Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura franco-arenosa. O FOM apresentou eficácia equiparável ou superior ao KCl, especialmente em doses adequadas para a cultura. Além disso, doses acima do NC de K no solo não resultaram em ganhos de produtividade. Isso demonstra que a escolha adequada de doses e fontes de fertilizantes pode aumentar a produção e melhorar a qualidade do solo. Este estudo é relevante para a agricultura brasileira, que busca práticas mais rentáveis e sustentáveis para a produção agrícola, contribuindo assim para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, em especial para a meta de promover a agricultura sustentável.

Palavras-chave: Fertilizante alternativo, Cloreto de potássio, Nível crítico de K no solo

Abstract

Response of corn of potassic organomineral fertilizer in a sandy loam tropical soil

Corn (*Zea mays* L.) is an important agricultural product in Brazil, and a high productivity depends on the adequate availability of nutrients in the soil, especially potassium (K). K deficiency is common in most Brazilian soils, which makes it necessary to replace this nutrient through fertilization. Potassium chloride (KCl) is the most used source, despite its high salinity and high import costs. Alternatives such as organomineral fertilizers (OMF) have been proposed because they provide K and other nutrients, and improve some soil attributes; but the efficiency of these alternative sources has not yet been studied in detail. In this study we evaluated the effects of a potassic OMF as compared to KCl based on the critical level (CL) of K for the corn crop cultivated in a sandy loam Typic

Hapludox. OMF had equivalent or superior efficacy to KCl, especially in rates suitable for the culture. Furthermore, rates above the CL of K in the soil did not result in yield gains. This demonstrates that the appropriate choice of fertilizer rates and sources can increase production and improve soil quality. This study is relevant to Brazilian agriculture, which seeks more profitable and sustainable practices for agricultural production, thus contributing to achieving the Sustainable Development Goals of the United Nations, in particular the goal of promoting sustainable agriculture.

Keywords: Alternative fertilizer, Potassium chloride, Critical level of K in the soil

4.1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) tem papel significativo no cenário agrícola brasileiro, o que contribui substancialmente para a economia do país. O Brasil está posicionado entre um dos maiores produtores e exportadores dessa cultura no mundo. A safra brasileira de milho em 2022/2023 deve alcançar 126 milhões de toneladas, o que representa um incremento de 11% em comparação à safra anterior (CONAB, 2023). No entanto, para continuar a alcançar altas produtividades, é fundamental garantir a disponibilidade adequada de nutrientes no solo. Para produzir 1 t de grãos, o milho absorve 25 kg de nitrogênio (N), 5 kg de fósforo (P) e 18 kg de potássio (K) (Cantarella et al., 2022). Essa demanda por K é um desafio para agricultura brasileira, uma vez que grande parte dos solos brasileiros apresentam reservas reduzidas desse nutriente (Foloni, 2008), o que torna necessário a reposição de K por meio de adubações (Lopes, 2005).

O KCl é altamente solúvel e disponível para as plantas (Bertol et al., 2019). Porém, é necessário ter precauções ao aplicá-lo, já que seu uso contínuo tem o potencial de elevar a salinidade do solo e resultar em danos às plantas e outros organismos presentes no solo (Soumare et al., 2023). Atualmente, o Brasil importa cerca de 96% dos fertilizantes potássicos, principalmente na forma de KCl (IFA, 2023). Neste contexto, é importante melhorar a eficiência de uso do K e explorar fontes alternativas que demandam pouco processamento, a exemplo dos fertilizantes organominerais (FOM).

Os FOM são misturas físicas ou combinadas de material orgânico e fertilizante mineral (BRASIL, 2020). Além de fornecerem K, também possuem outros nutrientes importantes para as plantas, como N e P, e contribuem para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Kiehl, 1985; Crusciol et al., 2020; Moran et al., 2021). A utilização de FOM é uma alternativa sustentável para a agricultura, uma vez que esses

fertilizantes são produzidos a partir de materiais orgânicos, como resíduos de origem animal e vegetal. Dessa forma, é possível diminuir a dependência dos fertilizantes importados.

A escolha da fonte e de doses adequadas de fertilizantes potássicos é um fator determinante para o sucesso do cultivo do milho (Ferreira et al., 2016). Segundo Kiehl (1985), a dose de K a ser aplicada varia de acordo com a cultura e o nível crítico (NC) de K no solo. A utilização de FOM pode requerer doses maiores devido à menor concentração de K disponível em comparação ao KCl. Dessa forma, a comparação de doses de fertilizantes potássicos pode fornecer informações importantes sobre a eficiência de cada fertilizante em relação à dose utilizada e permitir a escolha da dose mais adequada para cada situação.

Embora seja crescente o uso de FOM, ainda há poucos estudos que avaliam sua eficácia como fonte de K. Portanto, com esse estudo objetivou-se comparar os efeitos de um FOM fonte de K com o KCl, em cinco doses, baseadas no nível crítico (NC) de K para a cultura do milho. A hipótese foi de que a utilização de FOM como fonte de K apresenta eficácia equiparável ou superior ao KCl, especialmente em doses adequadas.

A escolha criteriosa das doses e fontes de fertilizantes pode contribuir para o desenvolvimento saudável das plantas de milho, o que resulta em maior produtividade e melhoria da qualidade do solo. Portanto, assume-se que este estudo trará informações importantes na busca por práticas mais eficientes e sustentáveis para a produção agrícola.

4.2.Considerações Finais

O FOM como fonte de K apresentou eficácia equiparável ou superior ao KCl, especialmente em doses próximas ao nível crítico do elemento. Além disso, doses acima do NC de K no solo não resultaram em ganhos de produtividade, independentemente do fertilizante utilizado.

Tanto o FOM como o KCl apresentaram eficácias semelhantes; então, a escolha de uma dessas fontes deve ser baseada em fatores práticos, como disponibilidade e custo. No entanto, o uso de FOM também apresenta benefícios ambientais e contribui para a gestão dos resíduos orgânicos provenientes da agricultura e produção animal, o que pode não apenas melhorar a produtividade, mas também promover o alcance das metas globais de desenvolvimento sustentável.

Referências

- Bertol, I., Nachtigall, G. R., Ritter, E., & Silva, L. S. (2019). Influência da fonte e doses de potássio na produtividade do milho em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(4), 254-259. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p254-259>
- Blake, G. H., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- BRASIL. (2016). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016 (republicada em 02/05/2016)). *Diário Oficial da União*. Brasília (DF).
- BRASIL. (2020). Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.
- Cantarella, H., Quaggio, JA, Mattos Jr., D, Boaretto, RM, & Raij, B. van. (2022). (eds) Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico. 177-186 p.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). Produção nacional de grãos é estimada em 312,2 milhões de toneladas na safra 2022/23. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 07 de abril de 2023.
- Corrêa, J. C., Rebellatto, A., Grohskopf, M. A., Cassol, P. C., Hentz, P., & Rigo, A. Z. (2018). Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 633-640. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000500012>
- Crusciol, C. A. C., Campos, M. D., Martello, J. M., Alves, C. J., Nascimento, C. A. C., Pereira, J. C. D. R., & Cantarella, H. (2020). Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. *Scientific Reports*, 10(1), 5398. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>
- Fachini, J., de Figueiredo, C. C., & do Vale, A. T. (2022). Assessing potassium release in natural silica sand from novel K-enriched sewage sludge biochar fertilizers. *Journal of Environmental Management*, 314, 115080. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115080>
- Ferreira, E. P. B., Souza, R. J., Bonfim, E. M. S., Ribeiro, L. F. B., & Natale, W. (2016). Fertilizantes potássicos: escolha da fonte e da dose adequada. *Revista Agrogeoambiental*, v. 8, n. 1, p. 29-36. <https://doi.org/10.18472/raga.v8n1.2016.19126>
- Ferreira, I. E., Zocchi, S. S., & Baron, D. (2017). Reconciling the Mitscherlich's law of diminishing returns with Liebig's law of the minimum. Some results on crop modeling. *Mathematical biosciences*, 293, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.08.008>
- Foloni, J. S. S., & Rosolem, C. A. (2008). Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1549-1561. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400019>

- Frazão, J. J., Benites, V.M., Ribeiro, J. V. S., Pierobon, V. M., & Lavres, J. (2019). Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. *Geoderma*, 337, 582-593. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.003>
- Garcia, A., Crusciol, C. A. C., Rosolem, C. A., Bossolani, J. W., Nascimento, C. A. C., McCray, J. M., & Cakmak, I. (2022). Potassium-magnesium imbalance causes detrimental effects on growth, starch allocation and Rubisco activity in sugarcane plants. *Plant and Soil*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05222-2>
- IFA- Associação Internacional de Fertilizantes. (2023). Disponível em: <https://www.fertilizer.org/>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Jackson, M. L. (1979). *Soil chemical analysis-advanced course*. Madison.
- Kiehl, E.J. (1985). *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p.
- Li, Z., Liu, Z., Zhang, M., Li, C., Li, Y. C., Wan, Y., & Martin, C. G. (2020). Long-term effects of controlled-release potassium chloride on soil available potassium, nutrient absorption and yield of maize plants. *Soil and Tillage Research*, 196, 104438. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104438>
- Lopes, A. S. (2005). Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos, 21-32.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. D. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*.
- MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2017). *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos*. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: 240 p. ISBN 978-85-7991-109-5.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd, Academic Press: Cambridge. 649 p.
- Melo, V. F., Singh, B., Schaefer, C. E. G. R., Novais, R. F., & Fontes, M. P. F. (2001). Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1324-1333. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541324x>
- Mineo, H., Ohmi, S., Ishida, K., Morikawa, N., Machida, A., Kanazawa, T., & Noda, T. (2009). Ingestion of potato starch containing high levels of esterified phosphorus reduces calcium and magnesium absorption and their femoral retention in rats. *Nutrition Research*, 29(9), 648-655. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.006>
- Moran, R.C., Figueiredo, M.V.B., Sampaio, S.C., Ferreira, E.P.B., Guerra, J.G.M., & Souza J.V.S. (2021). A review of organic and organomineral fertilization on soil properties and plant nutrition. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 2186-2206. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00516-7>

- Mumbach, G. L., Gatiboni, L. C., de Bona, F. D., Schmitt, D. E., Corrêa, J. C., Gabriel, C. A., & Iochims, D. A. (2020). Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. *Agronomy Journal*, 112(4), 3037-3049. <https://doi.org/10.1002/agj2.20238>
- Neto, A. P., Favarin, J. L., Hammond, J. P., Tezotto, T., & Couto, H. T. (2016). Analysis of phosphorus use efficiency traits in *Coffea* genotypes reveals *Coffea arabica* and *Coffea canephora* have contrasting phosphorus uptake and utilization efficiencies. *Frontiers in plant science*, 7, 408. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00408>
- Niu, J., Zhang, W., Chen, X., Li, C., Zhang, F., Jiang, L., & Imas, P. (2011). Potassium fertilization on maize under different production practices in the North China Plain. *Agronomy Journal*, 103(3), 822-829. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0471>
- Oliveira, C. F., Fanaya, E. D., Mateus, N. S., Lavres, J., & Santos, E. F. (2023). Improving zinc supply enhances cotton nutritional phosphorus efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 46(10), 2451-2461. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2155556>
- Pahalvi, H. N., Rafiyya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs*, 1-20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Parker, M. B., Gascho, G. J., & Gaines, T. P. (1983). Chloride toxicity of soybeans grown on Atlantic coast flatwoods soils 1. *Agronomy Journal*, 75(3), 439-443. <https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500030005x>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [https:// www.R- proje ct. org/](https://www.R-project.org/). Acesso 29 de agosto de 2023.
- Raij, B. van., Andrade, J. C., Cantarella, H., & Quaggio, J. A. (2001). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.
- Rietra, R. P., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in soil science and plant analysis*, 48(16), 1895-1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Soumare, A., Djibril, S.A.R.R., & Diédhiou, A.G. (2023). Potassium sources, microorganisms and plant nutrition: Challenges and future research directions. *Pedosphere*, 33(1), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.025>
- USEPA- United States Environmental Protection Agency. (2007). Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.
- Veloso, C. A. C., Souza, F. R. S. D., Pereira, W. L. M., & Tenório, A. R. D. M. (2001). Effect of calcium, magnesium and potassium rate in the production of dry matter of corn. *Acta Amazonica*, 31, 193-193. <https://doi.org/10.1590/1809-43922001312204>

- Vieira, E. L., de Souza, G. S., dos Santos, A. R., & dos Santos Silva, J. (2010). Manual de fisiologia vegetal. Edufma.
- Volf, M. R., Batista-Silva, W., Silvério, A. D., dos Santos, L. G., & Tiritan, C. S. (2022). Effect of potassium fertilization in sandy soil on the content of essential nutrients in soybean leaves. *Annals of Agricultural Sciences*, 67(1), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2022.06.001>
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
- Weksler, S., Rozenstein, O., Haish, N., Moshelion, M., Wallach, R., & Ben-Dor, E. (2021). Detection of potassium deficiency and momentary transpiration rate estimation at early growth stages using proximal hyperspectral imaging and extreme gradient boosting. *Sensors*, 21(3), 958. <https://doi.org/10.3390/s21030958>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dessa dissertação destacam a complexidade das interações entre fertilizantes, solo planta e microrganismos, e a importância de abordar essas questões com o objetivo de promover práticas agrícolas sustentáveis e otimizar a produção agrícola.

O FOM apresentou liberação mais lenta de K em comparação com o KCl, o que enfatiza a influência da matriz orgânica na disponibilidade de nutrientes. Além disso, a aplicação de FOM melhorou o pH do solo, a disponibilidade de Ca e Mg, bem como alguns atributos físicos do solo, como porosidade e retenção de água.

A adição de FOM estimulou a atividade microbiana no solo, apesar de ter reduzido a riqueza e a diversidade de bactérias e fungos. Nesse tratamento, um grupo de microrganismos dominantes sobressaiu-se, e os que foram favorecidos possuem funções benéficas para a agricultura. A aplicação do FOM no solo e seus efeitos nos microrganismos estão relacionados ao tipo de fertilizante, doses aplicadas e locais de estudo.

O FOM foi igualmente eficaz ao KCl como fonte de K para as plantas de milho, especialmente em doses próximas ao NC do elemento. Ambos os fertilizantes apresentaram resultados semelhantes, e a escolha entre eles deve levar em consideração fatores práticos, como disponibilidade e custo.