

**UNIVERSIDADE DE RIO VERDE (UniRV)
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**FERTILIZANTES FOSFATADOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS AVÍCOLAS: POTENCIAL AGRONÔMICO NA CULTURA DA
SOJA E DO MILHO**

**RIO VERDE, GOIÁS
2025**

PAULO CHAVAGLIA FILHO

**FERTILIZANTES FOSFATADOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS AVÍCOLAS: POTENCIAL AGRONÔMICO NA CULTURA DA
SOJA E DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

**RIO VERDE, GOIÁS
2025**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

C437f Chavaglia Filho, Paulo

Fertilizantes fosfatados produzidos a partir de resíduos agroindustriais avícolas: potencial agrônômico na cultura da soja e do milho. / Paulo Chavaglia Filho. – 2025.

40 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. June F. Scherrer Menezes.

Coorientador: Prof. Dr. Augusto Matias de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2025.


1. Aproveitamento de resíduos. 2. Fósforo. 3. Fertilizante organominerais. 4. Fertilidade do solo. I. Menezes, June F. Scherrer. II. Oliveira, Augusto Matias de. III. Título.


CDD: 631.85

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158


ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE AUTORIA DE PAULO CHAVAGLIA FILHO

Aos dezesseis dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e cinco, as oito horas, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes (Orientadora), Prof. Dr. Augusto Matias de Oliveira, coorientador, Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, Profa. Dra. Veridiana C. Gonçalves Cantão, Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin sob a presidência da primeira e em sessão pública realizada em formato presencial, para procederem à avaliação da defesa de dissertação intitulada: **“FERTILIZANTES FOSFATADOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS AVÍCOLAS: POTENCIAL AGRONÔMICO NA CULTURA DA SOJA E DO MILHO”** em nível de **Mestrado**, área de concentração **grandes culturas**, autoria de **Paulo Chavaglia Filho**, discente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV – Universidade de Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes, que fez a apresentação formal aos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Após a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa de dissertação do discente, a qual foi **aprovado** por unanimidade, considerando-se parte do requisito para fins de obtenção do título de **Mestre em Produção Vegetal**, na linha de pesquisa manejo de solos, pela UniRV - Universidade de Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando cumpridas as normas contidas no regimento atual que regulamentam o PPGPV da UniRV. A Banca Examinadora determina a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação, em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida às modificações sugeridas. Assim sendo esta Ata perderá a validade se não cumprida essas condições até sessenta dias de sua lavratura. Cumpridas as formalidades de pauta, às 11 horas, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar eu, Ana Paula de Sousa Prado, secretária do PPGPV, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em seis vias de igual teor.


Documento assinado digitalmente
 **JUNE FARIA SCHERRER MENEZES**
Data: 16/12/2025 20:37:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS RIBEIRO RODRIGUES**
Data: 16/12/2025 11:06:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. June Faria Scherrer Menezes
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **VERIDIANA CARDOZO GONCALVES CANTAO**
Data: 16/12/2025 11:01:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Membro Externo
IFGoiano/PPGAQ

Documento assinado digitalmente
 **PAULO FERNANDES BOLDRIN**
Data: 16/12/2025 10:53:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Veridiana C. Gonçalves Cantão
Membro – PPGPV/UniRV


Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin
Membro – PPGPV/UniRV

PAULO CHAVAGLIA FILHO


**“FERTILIZANTES FOSFATADOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS AVÍCOLAS: POTENCIAL AGRONÔMICO NA CULTURA DA SOJA E DO
MILHO”**

**Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.**


APROVAÇÃO: 16 de dezembro 2025

Documento assinado digitalmente
 **JUNE FARIA SCHERRER MENEZES**
Data: 16/12/2025 20:39:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS RIBEIRO RODRIGUES**
Data: 16/12/2025 11:04:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Membro Externo
IFGoiano/ PPGPV

Documento assinado digitalmente
 **VERIDIANA CARDOZO GONCALVES CANTAO**
Data: 16/12/2025 10:59:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Veridiana C. Gonçalves Cantão
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **PAULO FERNANDES BOLDRIN**
Data: 16/12/2025 10:51:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin
Membro – PPGPV/UniRV

DEDICATÓRIA

A Deus que me deu saúde, força e sabedoria para a conclusão do curso de Mestrado em Produção Vegetal da UniRV. Sou grato por todas as bênçãos concedidas.

A minha esposa Karlla, pelo companheirismo e apoio de sempre.

As minhas filhas Isabela e Heloísa.

Aos meus pais, Paulo Cesar e Rita de Cássia, pelo apoio incondicional.

A minha orientadora June Faria Scherrer Menezes, pela paciência ao me orientar e incentivo desde a graduação, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Ao meu coorientador Augusto Matias de Oliveira, pelo apoio na conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força e sabedoria concedidas nesta caminhada.
À minha esposa, pais e filhas, pelo apoio e incentivo fundamentais.

À minha orientadora, Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes, e meu ao coorientador, Prof. Dr. Augusto Matias de Oliveira, pela orientação e contribuições essenciais.

Aos professores e colegas que colaboraram direta ou indiretamente para o aprimoramento dos meus conhecimentos e por participarem da minha caminhada.

À UniRV e ao PPGPV, pela oportunidade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

À FAPEG pela bolsa e auxílio na aquisição de equipamentos.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 FÓSFORO COMO ELEMENTO ESSENCIAL PARA AS PLANTAS	11
2.2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS COMO FONTE DE NUTRIENTES	12
2.3 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS: DINÂMICA DO FÓSFORO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA	13
2.4 RESPOSTA DE CULTURAS AO FÓSFORO E AOS FOM	14
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 2	19
1 INTRODUÇÃO	19
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4 CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO 3	26
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	36
CONCLUSÃO GERAL	37

RESUMO

Os fertilizantes organominerais (FOM) têm se destacado por conciliarem produtividade agrícola e sustentabilidade, uma vez que a fração orgânica atua como condicionador do solo, aumentando a eficiência de uso dos nutrientes, reduzindo perdas e a dependência de fontes minerais importadas. As culturas de milho e soja são altamente dependentes da disponibilidade de fósforo no solo, o que as torna modelos adequados para avaliar a eficiência agrônômica de diferentes fontes e formulações de fertilizantes, incluindo FOM. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho de fertilizantes organominerais produzidos a partir de cama de frango e resíduos de incubatório avícola, variando-se a fonte orgânica, a acidificação e a forma física, em comparação com um fertilizante mineral de referência. Objetivou-se também discutir o potencial agrônômico desses resíduos como fontes alternativas de fósforo (P) em sistemas agrícolas do cerrado brasileiro. No experimento 1, conduzido em casa de vegetação, os FOM formulados com cama de frango e composto de resíduos avícolas, associados ao fertilizante mineral (MAP) ou superfosfato triplo (TSP) e óxido de magnésio, nas formas granulada e em pó, com e sem acidificação por ácido sulfúrico, foram avaliados quanto aos atributos químicos do solo e à produção de matéria seca de milho. A acidificação não promoveu incrementos significativos na massa seca da parte aérea e não houve diferenças entre as formas granulada e em pó. Os resultados indicaram que os FOM podem substituir o MAP sem perda de desempenho agrônômico, porém sem ganhos que justifiquem a redução de dose; eles também apresentam maior volume e maior dificuldade operacional de aplicação. No experimento 2, conduzido a campo em área de cerrado, avaliou-se o efeito de doses crescentes de composto de resíduos da indústria avícola sobre milho e soja, em comparação com adubação mineral fosfatada. A produtividade respondeu de forma linear crescente às doses de composto, com aumento dos teores foliares de N, P, K, Ca e S, do peso de mil grãos e da produtividade de milho. Embora a adubação mineral tenha superado o composto em alguns parâmetros, o desempenho em produtividade foi semelhante, com incremento de fósforo residual e de carbono orgânico no solo. Esses resultados indicam que o composto orgânico constitui fonte alternativa viável de fósforo e contribui para a sustentabilidade e a melhoria da fertilidade do solo em sistemas agrícolas do Cerrado.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduos. Fósforo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Organomineral fertilizers have gained prominence for reconciling agricultural productivity with sustainability, as the organic fraction acts as a soil conditioner, increasing nutrient use efficiency, reducing losses, and decreasing dependence on imported mineral sources. Maize and soybean crops are highly dependent on phosphorus availability in the soil, which makes them suitable models for evaluating the agronomic efficiency of different fertilizer sources and formulations, including organomineral fertilizers. In this context, the present study aimed to evaluate the performance of organomineral fertilizers produced from poultry litter and hatchery residues, varying the organic source, acidification, and physical form, in comparison with a reference mineral fertilizer. The study also sought to discuss the agronomic potential of these residues as alternative phosphorus (P) sources in agricultural systems of the Brazilian Cerrado. In Experiment 1, conducted under greenhouse conditions, organomineral fertilizers formulated with poultry litter and composted poultry residues, associated with mineral fertilizers—monoammonium phosphate (MAP) or triple superphosphate (TSP)—and magnesium oxide, in granular and powdered forms, with and without sulfuric acid acidification, were evaluated for soil chemical attributes and maize dry matter production. Acidification did not promote significant increases in shoot dry matter, and no differences were observed between granular and powdered forms. The results indicated that organomineral fertilizers can replace MAP without loss of agronomic performance; however, no gains were observed that would justify dose reduction, and these fertilizers also present greater volume and increased operational difficulty for application. In Experiment 2, conducted under field conditions in a Cerrado area, the effects of increasing doses of composted poultry industry residues on maize and soybean were evaluated in comparison with mineral phosphorus fertilization. Crop productivity responded linearly to increasing compost doses, with increases in leaf concentrations of N, P, K, Ca, and S, thousand-grain weight, and maize yield. Although mineral fertilization outperformed the compost in some parameters, productivity performance was similar, with increases in residual soil phosphorus and organic carbon. These results indicate that organic compost constitutes a viable alternative source of phosphorus and contributes to sustainability and improved soil fertility in agricultural systems of the Cerrado.

Keywords: Waste reuse; Phosphorus; Sustainability.

CAPÍTULO 1

Pressupostos teóricos e metodológicos

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional, impõe desafios significativos ao manejo sustentável dos recursos naturais e à segurança alimentar mundial (FAO, 2021). Nesse cenário, o fósforo (P) assume papel central, pois é um elemento essencial às plantas e insubstituível nos sistemas produtivos agrícolas. Embora o Brasil seja uma potência agrícola, cerca de 90% do fósforo utilizado na produção é importado (Cordell; White, 2015; Withers *et al.*, 2018), o que coloca o país em posição vulnerável diante de instabilidades geopolíticas, flutuações comerciais internacionais e riscos à autonomia da produção agrícola nacional.

Do ponto de vista bioquímico, o fósforo é componente fundamental de estruturas e processos vitais, como as membranas celulares fosfolipídicas, a molécula de ATP, responsável pela transferência de energia intracelular, e os ácidos nucleicos DNA e RNA, por meio das ligações fosfodiéster que unem os nucleotídeos (Cordell *et al.*, 2011). Em culturas agrícolas, a deficiência de P manifesta-se por sintomas característicos, como coloração azul-esverdeada em folhas de soja, arroxamento em folhas de milho, redução do crescimento vegetativo, fraqueza das plantas e diminuição da produtividade, evidenciando seu papel limitante no crescimento vegetal e, conseqüentemente, na produção de alimentos.

A Revolução Verde e a ampla adoção de fertilizantes sintéticos levaram a um crescimento exponencial no uso de rochas fosfáticas, triplicando sua extração. Cerca de 90% do fósforo mundial é destinado à produção de alimentos (Daneshgar *et al.*, 2018). Projeções indicam que, até 2035, a demanda global por fósforo poderá superar sua disponibilidade econômica, impondo a necessidade de uso mais eficiente e de estratégias de recuperação do nutriente ao longo da cadeia produtiva. Estima-se, nesse sentido, que o setor alimentício enfrente uma situação crítica até 2050, quando a população mundial poderá atingir 9 bilhões de pessoas (Cordell *et al.*, 2011).

Apesar de ser uma commodity, o acesso ao fósforo é desigual, em grande parte devido à forte concentração geográfica das reservas de rocha fosfática. Aproximadamente 90% dessas reservas estão sob controle de apenas seis países, dos quais 74% se encontram no Marrocos e na República Saariana (Scholz *et al.*, 2011). Mesmo com um uso mais eficiente de fertilizantes

em países industrializados, a demanda por fósforo tende a permanecer em ascensão em função da intensificação produtiva e da mudança nos padrões de consumo alimentar.

No contexto brasileiro, a limitação não se restringe ao acesso ao insumo mineral. Grande parte dos solos agrícolas, especialmente na região do cerrado, apresenta baixa fertilidade natural, acidez elevada e forte capacidade de adsorção de fósforo, dificultando sua disponibilidade para as plantas (Novais *et al.*, 2007). Esses atributos tornam a agricultura nacional fortemente dependente da aplicação contínua de fertilizantes fosfatados, com implicações econômicas e ambientais. Assim, estratégias que aumentem a eficiência de uso do fósforo, reduzam as perdas por fixação no solo e diminuam a dependência de fontes importadas são fundamentais para a sustentabilidade da produção agrícola.

Paralelamente, tecnologias voltadas ao reuso e à recuperação de fósforo têm sido desenvolvidas e discutidas como alternativas para mitigar os riscos de escassez e dependência externa, bem como para promover a economia circular no setor agroalimentar (Daneshgar *et al.*, 2018). Entre estas, destaca-se o aproveitamento de resíduos orgânicos e agroindustriais como fonte de nutrientes para as plantas, em especial nas regiões de agricultura intensiva, como o centro-oeste brasileiro, marcado pela produção de grãos em larga escala.

A região de Rio Verde (GO) é um polo nacional de produção avícola, caracterizada por sistemas intensivos em confinamento que geram grandes volumes de resíduos orgânicos, tais como cama aviária, cascas de ovos e pintainhos não eclodidos. Esses subprodutos podem ser submetidos à compostagem conjunta, resultando em materiais organominerais com potencial para uso agrícola sustentável. A compostagem tem se mostrado uma técnica eficaz para reduzir o potencial poluente dos resíduos, melhorar a qualidade sanitária do composto final e aumentar a disponibilidade de nutrientes, incluindo o fósforo, para as plantas (Adhikari *et al.*, 2022).

Os efeitos da aplicação de materiais orgânicos e organominerais no solo vão além do fornecimento direto de nutrientes, pois influenciam propriedades químicas e físico-químicas importantes para a dinâmica do fósforo. Em geral, quando fontes contendo fósforo são aplicadas ao solo, boa parte do nutriente tende a ser adsorvida à fração argilosa devido à sua elevada área superficial (Devau *et al.*, 2010).

A natureza e a intensidade da adsorção dependem fortemente do pH: em solos ácidos, o fósforo é predominantemente retido em sítios associados a alumínio e ferro, enquanto em solos mais básicos ele tende a formar compostos com cálcio (Yang *et al.*, 2021). A faixa de pH entre 5,5 e 6,0 é considerada mais favorável para maior biodisponibilidade de P (Castro *et al.*, 2019). Materiais inorgânicos ricos em Al ou Fe, como solos argilosos tropicais, podem contribuir para a acidificação do meio (Liu *et al.*, 2018), ao passo que resíduos contendo carbonato de cálcio,

como esterco de suínos, cama de aviário (Lourenzi *et al.*, 2011) e cascas de ovos (Santos *et al.*, 2019), tendem a elevar o pH, modificando a forma e a disponibilidade do fósforo no solo.

Neste contexto, a valorização de resíduos da cadeia avícola por meio da produção de fertilizantes organominerais fosfatados surge como uma estratégia promissora para a recuperação do nutriente, a redução de impactos ambientais e a diminuição da dependência de fertilizantes minerais importados. A adequada caracterização agrônômica e química desses materiais é etapa essencial para definir sua viabilidade como fonte de P e seu efeito sobre o solo e as culturas.

Diante do exposto, o estudo tem por objetivo principal avaliar o potencial agrônômico de fertilizantes organominerais fosfatados formulados a partir de resíduos da cadeia avícola, por meio de dois estudos complementares, visando contribuir para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis à tradicional utilização de fertilizantes minerais fosfatados na agricultura brasileira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FÓSFORO COMO ELEMENTO ESSENCIAL PARA AS PLANTAS

O fósforo (P) é um macronutriente, sendo um elemento essencial exigido em grandes quantidades e com papel central em processos fisiológicos como a fotossíntese, o metabolismo energético (síntese de ATP) e o desenvolvimento do sistema radicular (Shen *et al.*, 2011; Withers *et al.*, 2018). A deficiência de P afeta diretamente o crescimento e a produtividade das culturas, uma vez que compromete reações de transferência de energia, a integridade das membranas e a síntese de ácidos nucleicos (Hinsinger, 2001).

Além do papel metabólico, o P exerce forte influência sobre a arquitetura radicular, aspecto crucial para a aquisição de água e nutrientes. Em condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo, as plantas apresentam respostas adaptativas, como maior proliferação de raízes laterais, incremento no comprimento e densidade de pelos radiculares e alteração dos ângulos de crescimento das raízes, de forma a explorar melhor o volume de solo e otimizar a absorção de P (Lu *et al.*, 2024).

Apesar de sua importância, a disponibilidade de fósforo no solo é frequentemente limitada. Em solos tropicais intemperizados, o P aplicado é rapidamente adsorvido a óxidos de ferro e alumínio ou precipitado com cálcio, resultando em formas pouco solúveis e de baixa acessibilidade às plantas (Hinsinger, 2001; Menezes-Blackburn *et al.*, 2018). Estima-se que

menos de 25% do fósforo aplicado via fertilizantes seja efetivamente absorvido pelas culturas, enquanto o restante é imobilizado no solo ou perdido por lixiviação e erosão (Johnston *et al.*, 2014). Essa baixa eficiência de uso representa um desafio agrônômico, econômico e ambiental, sobretudo em sistemas intensivos de produção (Withers *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender os mecanismos de retenção e liberação de fósforo no solo, sendo necessário também desenvolver estratégias que aumentem sua disponibilidade e eficiência de uso, incluindo o manejo integrado de fontes minerais e orgânicas, bem como o uso de fertilizantes organominerais (Menezes-Blackburn *et al.*, 2018; Chien *et al.*, 2019).

2.2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS COMO FONTE DE NUTRIENTES

O aproveitamento de resíduos orgânicos agropecuários e agroindustriais como insumos para a fertilização consiste em uma estratégia-chave para aumentar a eficiência do uso de nutrientes, reduzir custos de produção e mitigar impactos ambientais, inserindo a agricultura em um contexto de economia circular (Cordell; White, 2015; Chen *et al.*, 2023). Dentre os resíduos orgânicos, pode-se citar a cama de aviário, resíduos agroindustriais associados à criação e industrialização da carne aviária.

A cama de frango destaca-se como um dos principais resíduos de origem animal utilizados na agricultura, por apresentar elevados teores de nutrientes, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P) e cálcio (Ca), além de contribuir com carbono orgânico e micronutrientes (Gatiboni *et al.*, 2020; Gilmour *et al.*, 2021). A concentração média de P elementar na cama de frango é de aproximadamente 1,32% (Rogeri *et al.*, 2016).

A cama aviária é constituída pela mistura de esterco, penas e restos de ração acumulados sobre um material de piso, como maravalha ou sabugo de milho triturado. Sua composição química e física varia conforme o tempo de criação, o número de lotes utilizados na mesma cama, a densidade de aves por unidade de área e o tempo e as condições de estocagem (Menezes *et al.*, 2004). Em sistemas de frango de corte, estima-se que cada ave produza entre 1,8 e 2,0 kg de esterco ao longo de um ciclo de 42 a 49 dias, dependendo do manejo, da dieta e do tipo de cama utilizada (Embrapa Suínos e Aves, 2021).

A elevada taxa de mineralização da cama de frango pode ocasionar rápida liberação de N e P, o que é vantajoso quando há sincronização com a demanda das culturas, mas pode resultar em perdas por lixiviação, volatilização ou escoamento superficial quando mal manejada

(Gilmour *et al.*, 2021). O processamento e a inclusão dessa fonte em fertilizantes organominerais podem contribuir para modular a velocidade de liberação de nutrientes e aumentar sua eficiência agronômica (Chien *et al.*, 2019).

Além da cama aviária, resíduos provenientes de incubatórios representam uma fonte relevante de nutrientes e matéria orgânica. A unidade de incubação na cadeia avícola é responsável pelo desenvolvimento embrionário dos ovos férteis e, nesse processo, gera resíduos compostos por cascas de ovos, ovos não eclodidos, ovos inférteis, pintainhos mortos ou com má-formação e, em incubatórios de aves de postura, pintainhos machos descartados (Kobashigawa *et al.*, 2008).

Esses resíduos apresentam elevado potencial como fonte de Ca, P, N e matéria orgânica, podendo ser processados por meio de compostagem, secagem, moagem ou tratamentos químicos e incorporados à formulação de fertilizantes organominerais (Gatiboni *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2023). O adequado tratamento sanitário é essencial, tanto para a inativação de patógenos quanto para atender às exigências ambientais e de biossegurança (Silva *et al.*, 2020).

2.3 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS: DINÂMICA DO FÓSFORO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA

Os fertilizantes organominerais (FOM) combinam fontes minerais com matéria orgânica, buscando associar a alta concentração e solubilidade dos fertilizantes convencionais com os benefícios físicos, químicos e biológicos proporcionados pelos materiais orgânicos (Chien *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2021).

A fração orgânica exerce papel crucial na dinâmica do fósforo no solo, ao influenciar processos de adsorção, precipitação e mineralização. Compostos orgânicos podem complexar cátions como Fe^{3+} e Al^{3+} , reduzindo a fixação de P em formas insolúveis e aumentando sua disponibilidade para as plantas (Shen *et al.*, 2011; Menezes-Blackburn *et al.*, 2018). Além disso, a matéria orgânica contribui para: formação de agregados estáveis; aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); maior retenção de água e estímulo à atividade microbiana. Esses fatores, em conjunto, favorecem o crescimento radicular e a absorção de nutrientes (Lehmann; Kleber, 2015; Bünemann *et al.*, 2018).

A origem e a qualidade do resíduo utilizado na formulação dos FOM são determinantes para sua eficiência agronômica. Resíduos como cama de frango, esterco bovino, compostos orgânicos mistos e subprodutos da agroindústria diferem em teores de macro e micronutrientes, relação C/N, teor de P, grau de estabilização e taxa de mineralização (Gatiboni *et al.*, 2020).

Materiais com rápida mineralização, como a cama de frango, tendem a disponibilizar nutrientes em maior velocidade, o que pode ser vantajoso ou não, dependendo da sincronia com a demanda das culturas (Gilmour *et al.*, 2021). Já resíduos mais recalcitrantes podem promover liberação gradual de nutrientes, contribuindo para efeitos residuais em safras subsequentes (Goulart; Lima, 2015). A escolha da fonte, bem como o tipo de tratamento (compostagem, secagem, acidificação), deve, portanto, ser ajustada ao sistema de produção e às características do solo.

A forma física dos FOM influencia a distribuição no solo, a dissolução e a liberação de nutrientes. Fertilizantes granulados, em geral, promovem liberação mais lenta e uniforme, com menor risco de perdas, além de facilitar o manuseio e a aplicação mecanizada (Roy *et al.*, 2016). Já os fertilizantes farelados tendem a apresentar maior superfície específica, o que favorece dissolução e liberação mais rápidas, podendo ser vantajoso em culturas com alta demanda inicial de nutrientes, como o milho (Novais *et al.*, 2007).

A escolha entre formas granuladas ou fareladas deve considerar não apenas a espécie cultivada e o manejo de adubação, mas também as condições de umidade e a dinâmica de P no solo.

O tratamento químico dos resíduos orgânicos, especialmente a acidificação, tem sido empregado como estratégia para melhorar a qualidade agrônômica e sanitária dos insumos. A aplicação de ácidos minerais, como o ácido sulfúrico, pode reduzir o pH do material, aumentar a solubilidade de fosfatos de baixa reatividade e inativar microrganismos patogênicos (Silva *et al.*, 2020).

Entretanto, a acidificação altera a estabilidade da matéria orgânica, influenciando a taxa de decomposição, a formação de complexos orgânico-minerais e a dinâmica de liberação de nutrientes no solo. Assim, seus efeitos devem ser avaliados em diferentes horizontes temporais, considerando possíveis implicações sobre a estrutura do solo, a microbiota e a ciclagem de carbono (Lehmann; Kleber, 2015; Zhang *et al.*, 2021).

2.4 RESPOSTA DE CULTURAS AO FÓSFORO E AOS FOM

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais responsivas à adubação fosfatada, sobretudo em solos altamente intemperizados, nos quais a fixação de P é elevada (Novais *et al.*, 2007; Withers *et al.*, 2018). Em sistemas intensivos, a seleção adequada da fonte de P, da dose e da forma de aplicação pode impactar significativamente a produtividade e a eficiência de uso do nutriente (Heuer *et al.*, 2017).

A soja (*Glycine max L.*) apresenta igualmente elevada demanda por P, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento, como emergência, formação de nódulos e expansão da área foliar. O P é fundamental para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo que requer elevado aporte de energia metabólica sob a forma de ATP, cuja síntese depende diretamente do suprimento de P (Vance *et al.*, 2003; Sulieman; Tran, 2015). A baixa disponibilidade de fósforo em solos tropicais pode comprometer a simbiose entre soja e bactérias fixadoras de N, afetando o crescimento e a produtividade.

Além disso, a soja possui sistema radicular altamente exploratório e capacidade de adaptação morfológica sob deficiência de P, o que a torna adequada para estudos envolvendo fontes alternativas de fósforo, incluindo FOM (Sulieman; Tran, 2015). Em sistemas de rotação ou sucessão de culturas, a inclusão da soja em experimentos com fertilizantes organominerais permite avaliar não apenas o desempenho agrônômico imediato, mas também os efeitos residuais e a dinâmica de nutrientes no solo.

Estudos recentes apontam que fertilizantes organominerais podem alcançar eficiências agrônômicas semelhantes ou superiores às de fertilizantes minerais solúveis, principalmente em solos de baixa fertilidade e quando formulados a partir de matérias-primas orgânicas de boa qualidade (Chien *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2021).

O uso de resíduos agroindustriais e pecuários como matéria-prima para FOM contribui para: reduzir a dependência de fontes minerais não renováveis de fósforo, como rochas fosfatadas; minimizar problemas ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos; promover ciclos mais fechados de nutrientes na propriedade rural (Cordell; White, 2015; Chen *et al.*, 2023).

Entretanto, a resposta das culturas aos FOM é influenciada por fatores como: tipo de solo, clima, histórico de manejo e interação com outros nutrientes. Em solos já corrigidos e com alto nível de fertilidade, a vantagem dos FOM frente aos fertilizantes minerais pode ser menos evidente no curto prazo, embora benefícios cumulativos em termos de melhoria da matéria orgânica, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes possam ser observados ao longo dos ciclos de cultivo (Goulart; Lima, 2015; Bünemann *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, B. *et al.* Advances in composting technologies. **Waste Management**, v. 138, p. 1–15, 2022.

BÜNEMANN, E. K. *et al.* Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105–125, 2018.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C. Soil pH and phosphorus availability under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180112, 2019.

CHEN, Z. *et al.* Circular agriculture and phosphorus sustainability: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 343, p. 118124, 2023.

CHIEN, S. H. *et al.* Agronomic effectiveness of organomineral fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, p. 1–15, 2019.

CORDELL, D.; WHITE, S. Tracking phosphorus security: indicators of phosphorus vulnerability in the global food system. **Food Security**, v. 7, n. 2, p. 337–350, 2015.

CORDELL, D.; WHITE, S.; LINDEGREN, M. Peak phosphorus: the crunch time for humanity? **The Sustainability Review**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2011.

DANESHGAR, S. *et al.* Resource recovery from wastewater: a review of phosphorus removal technologies. **Chemical Engineering Journal**, v. 334, p. 504–518, 2018.

DEVAU, N.; HINSINGER, P.; GÉRARD, F. Modeling phosphorus dynamics in soils: importance of sorption-desorption processes and root-induced chemical changes. **Plant and Soil**, v. 335, p. 65–82, 2010.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Produção de esterco por frangos de corte**. Concórdia: Embrapa, 2021.

FAO. **The State of Food and Agriculture 2021**. Rome: FAO, 2021.

GATIBONI, L. C. *et al.* Potencial agrônômico de fertilizantes organominerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190022, 2020.

GILMOUR, J. T. *et al.* Nutrient release from poultry litter: synchrony with crop demand. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 1–10, 2021.

GOULART, R. Z.; LIMA, C. L. R. Fertilizantes organominerais: desempenho em solos corrigidos. **Revista de Agricultura**, v. 90, n. 1, p. 45–58, 2015.

HEUER, S. *et al.* Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. **The Plant Journal**, v. 90, p. 868–885, 2017.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic phosphorus: a mechanistic approach. **Plant and Soil**, v. 237, p. 1–16, 2001.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; FIXEN, P. E. Phosphorus: its efficient use in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 123, p. 177–228, 2014.

KOBASHIGAWA, E. *et al.* Compostagem de resíduos de incubatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 1–7, 2008.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, p. 60–68, 2015.

LIANG, X. *et al.* Organomineral fertilizers: mechanisms and applications. **Soil Use and Management**, v. 37, p. 1–15, 2021.

LIU, X. *et al.* Soil acidification and phosphorus availability. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 1–10, 2018.

LOURENZI, C. R. *et al.* Soil chemical properties after application of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1827–1836, 2011.

LU, X. *et al.* Root architectural responses to phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 75, p. 1–15, 2024.

MENEZES, J. F. S. *et al.* Caracterização da cama de frango. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1–10, 2004.

MENEZES-BLACKBURN, D. *et al.* Improving phosphorus availability in soils. **Plant and Soil**, v. 432, p. 1–19, 2018.

NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

ROGERI, D. A. *et al.* Nutrient content of poultry litter. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1–7, 2016.

ROY, E. D. *et al.* The phosphorus cycle: a global perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 41, p. 1–29, 2016.

SANTOS, H. G. *et al.* Eggshell as soil amendment. **Soil Research**, v. 57, p. 1–10, 2019.

SCHOLZ, R. W.; EISENREICH, S. J.; ZHANG, F. Phosphorus in global agriculture. **Chemosphere**, v. 84, p. 737–746, 2011.

SHEN, J. *et al.* Phosphorus dynamics in the soil–plant system. **Plant Physiology**, v. 156, p. 997–1005, 2011.

SILVA, C. A. *et al.* Sanitização de resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 1–10, 2020.

SULIEMAN, S.; TRAN, L. S. P. Phosphorus and nitrogen interactions in legumes. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 1–12, 2015.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use. **Plant Physiology**, v. 127, p. 390–397, 2003.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Closing the phosphorus cycle. **Chemosphere**, v. 197, p. 1–12, 2018.

YANG, X. *et al.* Phosphorus availability in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, p. 1–15, 2021.

ZHANG, J. *et al.* Soil acidification enhances the mobilization of phosphorus under anoxic conditions in an agricultural soil. **Science of The Total Environment**, v. 784, p. 147123, 2021.

CAPÍTULO 2

Efeito da fonte orgânica, da acidificação e da granulação sobre a eficiência agronômica de fertilizantes organominerais fosfatados na cultura do milho

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fertilizantes organominerais (FOM) tem ganhado destaque nas últimas décadas como estratégia para conciliar produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental. A fração orgânica atua como condicionador do solo, resultando em maior eficiência de uso dos fertilizantes, redução de perdas por lixiviação ou fixação e menor dependência de fontes importadas, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é uma das mais cultivadas no mundo, de ampla relevância econômica e elevada exigência nutricional, desempenhando um papel estratégico na segurança alimentar por ser de extrema importância para a produção de ração animal e por atuar como matéria-prima para diversos setores industriais, como a produção de etanol atualmente.

Portanto, essa cultura se apresenta como modelo experimental adequado, pois trata-se de uma espécie altamente exigente em nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, sendo o fósforo determinante para o estabelecimento inicial, o desenvolvimento radicular e a formação de estruturas reprodutivas. A resposta do milho à adubação fosfatada é particularmente sensível às formas de fornecimento e à disponibilidade do nutriente no solo, o que o torna uma opção adequada para avaliar a eficiência agronômica de diferentes fontes e formulações de fertilizantes, incluindo os organominerais.

Dessa maneira, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de fertilizantes organominerais à base de cama de frango e resíduo de incubatório avícola, variando-se a fonte orgânica utilizada, a acidificação e a sua forma física e comparando-os com um fertilizante mineral de referência, em termos de atributos químicos do solo e produção de matéria seca em plantas de milho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos fertilizantes orgânicos foram utilizados dois resíduos: cama de frango e composto obtido a partir de cama de frango. A cama de frango foi coletada em galpão comercial de produção de frangos e apresentou umidade de 23,0%, pH 7,2, teor de 0,97% de P

e 2,8% de Ca. O composto de resíduos da indústria avícola utilizado como fonte é o produto da compostagem aeróbica de cama de frango *in natura* e resíduo de incubatório, sendo a compostagem realizada pela empresa BioProcessos Fertilizantes Ltda, em Rio Verde, Goiás, apresentando umidade de 7,7%, pH 7,8, teor de P de 2,02% e 16,7% de Ca.

Os FOM foram produzidos no laboratório da Embrapa Solos. Os resíduos orgânicos foram secos em estufa a 60°C até peso constante, moídos e peneirados (60 *mesh*). Os resíduos orgânicos secos foram misturados homogeneamente com o fertilizante P solúvel (MAP ou TSP) e óxido de magnésio. A granulação dos fertilizantes foi realizada em disco peletizador, com diâmetro de 40 cm e rotação de 20 rpm, em ângulo de 38,2°, com adição manual de água por aspersão. Nos tratamentos em que foi aplicado ácido sulfúrico, este ácido foi diluído na água por aspersão. Após a granulação, os FOM foram secos a 60°C em estufa de circulação forçada de ar por 24 h e peneirados entre 2 e 4 mm.

O experimento foi conduzido na Universidade de Rio Verde, em casa de vegetação com condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar. Foram utilizados vasos plásticos contendo 2,5 kg de terra, como unidades experimentais. O solo utilizado foi coletado na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, em área de mata nativa, na Universidade de Rio Verde, *Campus* Rio Verde, altitude de 756 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: 17°47'11'' S e 50°57'58''. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, peneirado com peneira de abertura de malha de 4 mm, e incubado com calcário para a elevação do pH até o valor 6,0, caracterizado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas do solo após a correção com calcário

pH	M.O.	P^{1/}	K^{1/}	Ca^{2/}	Mg^{2/}	H+Al	Al^{2/}	S.B.	T
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol dm ⁻³ -----						
5,0	34	3,2	7,2	25,9	22,5	47,9	0	56,4	104,3
V	B^{3/}	Cu^{1/}	Fe^{1/}	Mn^{1/}	Zn^{1/}	S^{3/}	Areia	Silte	Argila
%	-----mg dm ⁻³ -----						-----g kg ⁻¹ -----		
54,12	0,6	5,7	65,9	88,9	7,4	81	523	72	406

Fonte: O autor (2025)

Nota: ^{1/} Melich¹; ^{2/} KCl 1N; ^{3/} Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc; ^{4/} CaCl₂.

O experimento foi realizado tendo como planta indicadora o milho (híbrido Pioneer P3808VYHR), em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com dez tratamentos de fertilizantes (Tabela 2) e quatro repetições para cada tratamento, totalizando, assim, 40 unidades experimentais.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio 1

Fertilizante	Fonte	Acidificação	pH	Dose (g vaso ⁻¹)
FOM1	Cama de aviário + MAP (pó)	Sem acidificação	4,91	2,362
FOM2	Cama de aviário + MAP (pó)	Acidificado	4,77	2,531
FOM3	Cama de aviário + MAP (granulado)	Sem acidificação	4,91	2,362
FOM4	Cama de aviário + MAP (granulado)	Acidificado	4,77	2,531
FOM5	Composto + MAP (pó)	Sem acidificação	5,23	2,493
FOM6	Composto + MAP (pó)	Acidificado	4,91	2,294
FOM7	Composto + MAP (granulado)	Sem acidificação	5,23	2,493
FOM8	Composto + MAP (granulado)	Acidificado	4,91	2,294
Mineral	MAP	Sem acidificação	----	1,085
Controle	Sem P	Sem acidificação	----	----

Fonte: O autor (2025)

Antecedendo a semeadura, os tratamentos com fertilizantes foram aplicados às unidades experimentais e homogeneizados ao solo. Foi aplicado 0,1 L vaso⁻¹ de solução nutritiva contendo todos os nutrientes, exceto: fósforo (aplicado via tratamentos) e cálcio e magnésio (aplicados via corretivo de solo).

As doses dos nutrientes para cada quilograma de solo foram recomendadas por Dias *et al.* (2020): nitrogênio (CH₄N₂O) – 130 mg kg⁻¹, potássio (KCl) – 160 mg kg⁻¹, enxofre (MgSO₄.7H₂O) – 40 mg kg⁻¹, zinco (ZnSO₄.7H₂O) – 4 mg kg⁻¹, manganês (MnSO₄.H₂O) – 3,6 mg kg⁻¹, ferro (FeCl₃) – 1,5 mg kg⁻¹, cobre (CuSO₄.5H₂O) – 1,3 mg kg⁻¹, boro (H₃BO₃) – 0,8 mg kg⁻¹ e molibdênio (Na₂MoO₄.2H₂O) – 0,15 mg kg⁻¹.

Foram semeadas quatro sementes por vaso e, quatro dias após a emergência total das plântulas, foi realizado o desbaste remanescendo uma planta por vaso. O controle hídrico foi realizado por meio de pesagem e reposição de água aos vasos para a manutenção da taxa hídrica no solo de 60% da capacidade de campo.

Após 40 dias de cultivo, as partes aéreas das plantas de milho foram coletadas separadamente, armazenadas em sacos de papel e transferidas para estufa de circulação forçada de ar a 65°C, onde permaneceram até atingirem peso constante. Após esta etapa foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea por meio de balança com precisão de ± 0,001 g.

Em seguida, foi realizada a moagem das amostras para posterior digestão em meio ácido, como proposto por Tedesco *et al.* (1996). E então foi determinada a concentração de P no tecido. Multiplicando-se a produção de matéria seca (g vaso⁻¹) pela concentração de P no tecido (mg g⁻¹), obteve-se o acúmulo de P (mg vaso⁻¹). Também foi coletada uma amostra de 5g de solo de cada vaso para a determinação do P residual, de acordo com metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017).

Os dados obtidos foram, inicialmente, submetidos aos testes de Bartlett e de Shapiro-Wilk para a avaliação da homoscedasticidade das variâncias e normalidade da distribuição dos resíduos, respectivamente. Atendidos os pressupostos, foi realizada a análise de variância por meio do teste F. Em caso de diferença significativa entre os tratamentos qualitativos, os dados foram submetidos ao teste de Tukey. Em todos os testes estatísticos, utilizou-se o nível de significância de 0,05.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fertilizantes organominerais e minerais apresentaram *performance* agrônômica similar, corroborando os resultados encontrados pelos estudos de Frazão *et al.* (2019). A análise de variância (Tabela 3) demonstrou que não houve, de forma isolada, efeito estatisticamente significativo da acidificação, fonte ou granulometria dos fertilizantes organominerais sobre a produção de MSPA e teor de P. Entretanto, observou-se interação significativa entre os fatores, indicando que a resposta das plantas depende da combinação entre fonte, forma e acidificação. Observou-se também que o contraste entre os tratamentos organominerais e o fertilizante mineral (MAP) não apresentou diferenças estatísticas, reforçando esta equivalência.

Tabela 3 - Análise de variância as características de matéria seca da parte aérea (MSPA) e P absorvido, na cultura do milho submetida a diferentes compostos organominerais

FV	GL	QUADRADO MÉDIO		
		MSPA	P absorvido	
Fonte (A)	1	0,86790	12,87294	
Forma (B)	1	8,93588	0,02628	
Acidificação (C)	1	2,59350	4,58769	
A x B	1	0,32603	36,06884	
A x C	1	1,54440	41,74631	
B x C	1	0,11640	128,93546	
A x B x C	1	0,00383	525,72598	*
Fatorial vs Adicional	1	365,14828	6553,07319	**
Adc	1	599,61844	9359,74304	**
		5		
Erro	30	4,73745	97,13018	
CV (%)		11,88	14,79	

Fonte: O autor (2025)

Nota: ** e * Significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os valores médios de MSPA (Tabela 4) revelam que tanto a cama de frango quanto o composto, independentemente da acidificação e da forma (pó ou granulado), apresentaram

desempenho semelhante, variando entre 18,8 e 21,0 g planta⁻¹. Esses resultados não diferiram estatisticamente do MAP (20,9 g planta⁻¹), mas foram significativamente superiores ao controle sem adubação (3,6 g planta⁻¹). Para o P absorvido, observou-se comportamento análogo: os tratamentos organominerais apresentaram valores entre 67,3 e 81,5 mg vaso⁻¹, estatisticamente semelhantes ao MAP (75,2 mg vaso⁻¹) e muito superiores à testemunha (6,8 mg vaso⁻¹). Isso indica que os organominerais foram capazes de fornecer fósforo em quantidade suficiente para sustentar o crescimento inicial do milho.

Tabela 4 - Valores médios de teores de matéria seca da parte aérea e P absorvido

Matéria Seca da Parte Aérea				
Fonte Orgânica	Sem Acidificação		Acidificado	
	Pó	Granulado	Pó	Granulado
Cama de Frango	19,1100 aA*	20,1075 aA*	19,3825 aA*	20,0950 aA*
Composto	18,8200 aA*	20,1775 aA*	19,9275 aA*	21,0875 aA*
MAP		20,94250 *		
Controle		3,62750		

P acumulado				
Fonte Orgânica	Sem Acidificação		Acidificado	
	Pó	Granulado	Pó	Granulado
Cama de Frango	77,9552 aA*	67,9001 aA*	67,3612 aA*	81,5483 aA*
Composto	72,9879 aA*	74,8991 aA*	74,0382 aA*	67,7656 aA*
MAP		75,2630 *		
Controle		6,8534		

Fonte: O autor (2025)

Nota: Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna (Fontes orgânicas) e maiúsculas na linha (formulação) não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

* Médias que diferem significativamente da testemunha sem adubação, pelo teste de Dunnet ($p \leq 0,05$).

A adição de ácido sulfúrico no processo de produção de fertilizantes organominerais foi realizada visando obter um produto com maior disponibilidade de nutrientes, aumentando a concentração de nutrientes como: enxofre, nitrogênio e micronutrientes no fertilizante organomineral. Porém, os resultados obtidos para massa seca da parte aérea não demonstraram incremento significativo com a acidificação do fertilizante organomineral.

Dentre os resultados analisados, é possível observar que a forma granulada não se diferenciou estatisticamente em relação à formulação em pó. Fazullin *et al.* (2021) assinalam que o fertilizante organomineral granulada se destaca por favorecer uma maior uniformidade

de aplicação. Além disso, segundo Hansel *et al.* (2014), as diferentes formulações dos fertilizantes, como o organomineral granulado e o MAP em pó, poderiam resultar em diferenças na eficiência de recuperação do P. Isso se deve às distintas superfícies de contato dessas formulações que podem influenciar a biodisponibilidade do nutriente para as plantas.

Portanto, de forma geral, corroborando o apresentado por Chen *et al.* (2016), os resultados do presente estudo revelam que não se perde *performance* agrônômica com a aplicação dos organominerais. Disso conclui-se que os FOM podem atuar como substitutos aos fertilizantes minerais tradicionais. No entanto, no presente trabalho, mostrou-se que não há ganho que justifique sugerir redução na dosagem da adubação, portanto, nesse quesito, não há vantagem na utilização dos fertilizantes organominerais testados em relação ao MAP, haja vista seu maior volume e conseqüente maior dificuldade operacional de distribuição no solo.

Salienta-se, porém, que o tempo de condução do experimento foi de apenas um ciclo e abrangeu somente a fase vegetativa do ciclo do milho. Por este motivo, a recomendação dos fertilizantes organominerais testados poderia se dar, principalmente, na condição de existir alguma rastreabilidade dos produtos que fornecessem a eles a comprovação de serem ambientalmente mais corretos do que o MAP.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste experimento indicam que, entre as opções utilizadas, os fertilizantes organominerais, independentemente da fonte orgânica, da acidificação ou forma física, apresentaram desempenho agrônômico semelhante ao fertilizante mineral MAP durante a fase vegetativa da cultura do milho. Portanto, mesmo que não tenham promovido ganhos significativos na produção de matéria seca ou na acumulação de fósforo, também não comprometeram a eficiência da adubação, evidenciando seu potencial como possível alternativa aos fertilizantes tradicionais.

O resultado obtido, ou seja, a ausência de quaisquer diferenças estatísticas entre os tratamentos, demonstra que, nas condições experimentais adotadas, os organominerais podem ser utilizados sem prejuízo à produtividade. No entanto, não foram constatadas vantagens que justifiquem a substituição completa do MAP, especialmente considerando o maior volume e a dificuldade de aplicação dos organominerais.

É importante, no entanto, ressaltar que o experimento foi realizado em somente um ciclo produtivo e se restringiu apenas à fase vegetativa da cultura, não sendo possível observar os possíveis efeitos acumulativos que podem aparecer em cultivos sucessivos. Por isso,

recomenda-se a realização deste estudo em um maior número de ciclos produtivos, com avaliações em diferentes estágios fenológicos e em condições de campo, objetivando-se entender melhor os impactos dos fertilizantes organominerais sobre a fertilidade do solo, seu residual, sua resposta agronômica e a sustentabilidade dos sistemas produtivos como um todo.

REFERÊNCIAS

CHEN, Q. *et al.* Evaluation of organomineral fertilizer effect on maize yield and soil fertility in a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 234–240, 2016.

DIAS, L. E. *et al.* **Recomendação de nutrientes para experimentos com plantas em vasos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020.

FAZULLIN, R. K. *et al.* Obtaining spropel-based organomineral fertilizers from the mixed acids spent in producing nitrocellulose. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 640, 052020, 2021.

FRAZÃO, J. J. *et al.* Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils. **Geoderma**, v. 337, p. 582–593, 2019.

HANSEL, F. D. *et al.* Influência de diferentes fontes de fósforo na eficiência da fertilização. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 7, n. 2, p. 103–111, 2014.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

TEIXEIRA, W. F. *et al.* Determinação de fósforo residual em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160565, 2017.

CAPÍTULO 3

Avaliação agronômica do uso de composto de resíduos da indústria avícola como substituto da adubação fosfatada nas culturas do milho e da soja

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos orgânicos advindos da produção animal e da agroindústria tem se mostrado uma interessante alternativa para promover a sustentabilidade agrícola.

Estudos indicam que a aplicação de compostos orgânicos pode melhorar significativamente as propriedades físicas e químicas do solo, como a capacidade de troca catiônica, a retenção de água e a biodisponibilidade de P, contribuindo então para o aumento da produtividade agrícola (Bünemann *et al.*, 2018; Lehmann; Kleber, 2015).

Porém, a substituição completa de fertilizantes minerais por orgânicos ou organominerais ainda demanda investigação criteriosa, principalmente quanto à velocidade e dinâmica de liberação de nutrientes e à eficiência agronômica em diferentes condições de solo e clima. Um exemplo é a mineralização do fósforo orgânico que depende de fatores como, temperatura, umidade e composição do resíduo, demandando ajustes nas doses aplicadas para evitar perdas por lixiviação ou fixação no solo (Richardson *et al.*, 2009; Menezes-Blackburn *et al.*, 2016).

Diante do exposto, o trabalho apresentado neste capítulo tem como objetivo discutir o potencial agronômico dos resíduos da indústria avícola como possível fonte alternativa de fósforo para culturas agrícolas, com foco na cama de frango compostada e nos resíduos de incubatórios.

Além deste objetivo principal, visa-se também avaliar a produtividade de milho e soja sob doses crescentes de composto avícola, em comparação à adubação mineral fosfatada, determinar a biodisponibilidade de P do composto em relação à fonte mineral e quantificar os efeitos residuais de P e C orgânico no solo. Todas estas variáveis serão observadas visando contribuir para o desenvolvimento de práticas de manejo mais sustentáveis e adaptadas à realidade agrícola do cerrado brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na fazenda Rio Verdinho da Barra Grande, no Município de Rio Verde (GO), localizado nas coordenadas geográficas 17°46'59'' Sul e 51°14'54'' Oeste, a 854 metros de altitude, durante aproximadamente doze meses. Ele foi iniciando com a cultura do milho nos meses de fevereiro a junho de 2024 e depois com a soja durante os meses outubro de 2024 a fevereiro de 2025 (Tabela 5).

Tabela 1 - Dados do híbrido de milho, da cultivar de soja e respectivas datas de semeadura, amostragens foliar e de solo e colheita

Cultura	Amostra de solo	Híbrido ou Cultivar	Semeadura	Amostragem foliar	Colheita	Amostra de solo
Milho		Agrocerec 8480	06/02/2024	18/04/2024	28/06/2024	15/01/2024
Soja		Guepardo	12/10/2024	09/12/2024	22/02/2025	20/08/2025

Fonte: O autor (2025)

O composto utilizado no experimento foi compostado e disponibilizado pela Empresa BioProcessos Fertilizantes Ltda, sendo que este foi caracterizado segundo a metodologia de Matos (2015), quanto à relação C/N, matéria seca e umidade, teores de P, K e N e pH para a aplicação dos tratamentos (Tabela 2). As amostras do composto foram secas à temperatura de 65° C, trituradas, homogeneizadas e determinado o pH em água, nitrogênio total por digestão úmida com ácido sulfúrico (método Kjeldahl), carbono orgânico por oxidação com dicromato de potássio (método Walkey Black), fósforo e potássio extraíveis pelo método Mehlich-1, conforme metodologia descrita em Tedesco *et al.* (1996).

Tabela 2 - Caracterização físico-química do composto orgânico utilizado

pH 1:1	MS	Umidade	Corg	N	Relação C/N
H ₂ O	-----	% -----			
7,8	92,3	7,7	17,45	1,19	14,6
P	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	S
-----	% -----				
2,02	4,63	1,16	16,73	1,14	0,72

Fonte: O autor (2025)

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com testemunha adicional (DBC + TA), totalizando seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em doses crescentes do composto orgânico de resíduos da indústria avícola, além

de um tratamento adicional com adubação mineral fosfatada. As doses aplicadas foram: 0 (controle), 1,7, 3,5, 7,0 e 10,5 Mg ha⁻¹ e adubação mineral (AM) com 52,3 kg ha⁻¹ de P, utilizando-se o superfosfato triplo. A dose de 3,5 Mg ha⁻¹ de composto foi considerada equivalente à adubação mineral, com base no teor de fósforo presente no material. Cada parcela experimental foi composta por oito linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, totalizando uma área de 20 m² por parcela. Antes da implantação do experimento, o solo foi amostrado para caracterização físico-química inicial. (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise inicial do solo da área experimental para caracterização da fertilidade inicial do solo

pH	Al	(H+Al)	Ca	Mg
5,8	0,05	CaCl ₂	cmolc dm ⁻³	1,49
		2,90	5,88	
K	SB	CTC	MOS	V
cmolc dm ⁻³		g kg ⁻¹		%
0,15	7,58	10,48	32,9	72
K	P	areia	silte	argila
	mg dm ⁻³		g kg ⁻¹	
59,16	20,0	536	45	419

Fonte: O autor (2025)

As adubações potássicas foram padronizadas em 80 kg ha⁻¹ de K₂O para o milho, aplicadas a lanço no dia da semeadura das sementes via NPK 30-00-20, e 120 kg ha⁻¹ de K₂O para a soja, via cloreto de potássio (KCl), sendo que os micronutrientes foram aplicados conforme recomendação agrônômica, com base na análise de solo inicial. O híbrido de milho utilizado foi o AG 8480 PRO4 da Sementes Agrocere-Bayer e a variedade de soja a Guepardo IPRO da empresa Brasmax.

No estágio fenológico R1 da cultura do milho e em R2 da cultura da soja (Sousa; Lobato, 2004), as folhas foram amostradas e avaliadas quanto aos índices de clorofila (SPAD 502 Minolta). Já em sua maturidade fisiológica, foi realizada a colheita, em que foram quantificadas e analisadas as variáveis produtividade e massa de mil grãos, sendo que os valores de produtividade foram corrigidos para o teor de umidade dos grãos de 13%. Após a colheita final do experimento, o solo foi novamente coletado e analisado, visando avaliar os efeitos residuais dos tratamentos sobre os teores de fósforo e carbono orgânico.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para os tratamentos com doses crescentes do composto orgânico, foi aplicada análise de regressão. E para a comparação entre o tratamento com adubação mineral (AM) e a dose equivalente de

composto ($3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), foi realizada análise por meio do teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Quando necessário, o teste de Tukey foi utilizado para comparações múltiplas entre os tratamentos com composto. As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do *software* Sisvar, versão 5.3 (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultura do milho, as doses de composto orgânico (CO) diferiram entre si e também do controle adicional (NPK) nos teores foliares de nitrogênio (N) e fósforo (P), massa de mil grãos e produtividade (Tabela 4). As doses de CO também se diferiram significativamente nos teores foliares de potássio (K) e cálcio (Ca). Também houve diferença entre as doses de CO e o NPK no teor de enxofre (S) dos tecidos vegetais (Tabela 4). E para o teor foliar de magnésio (Mg) não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e *p* valor) para teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de plantas de milho submetidas a 0; 1,7; 3,5; 7,0 e $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de composto orgânico e NPK

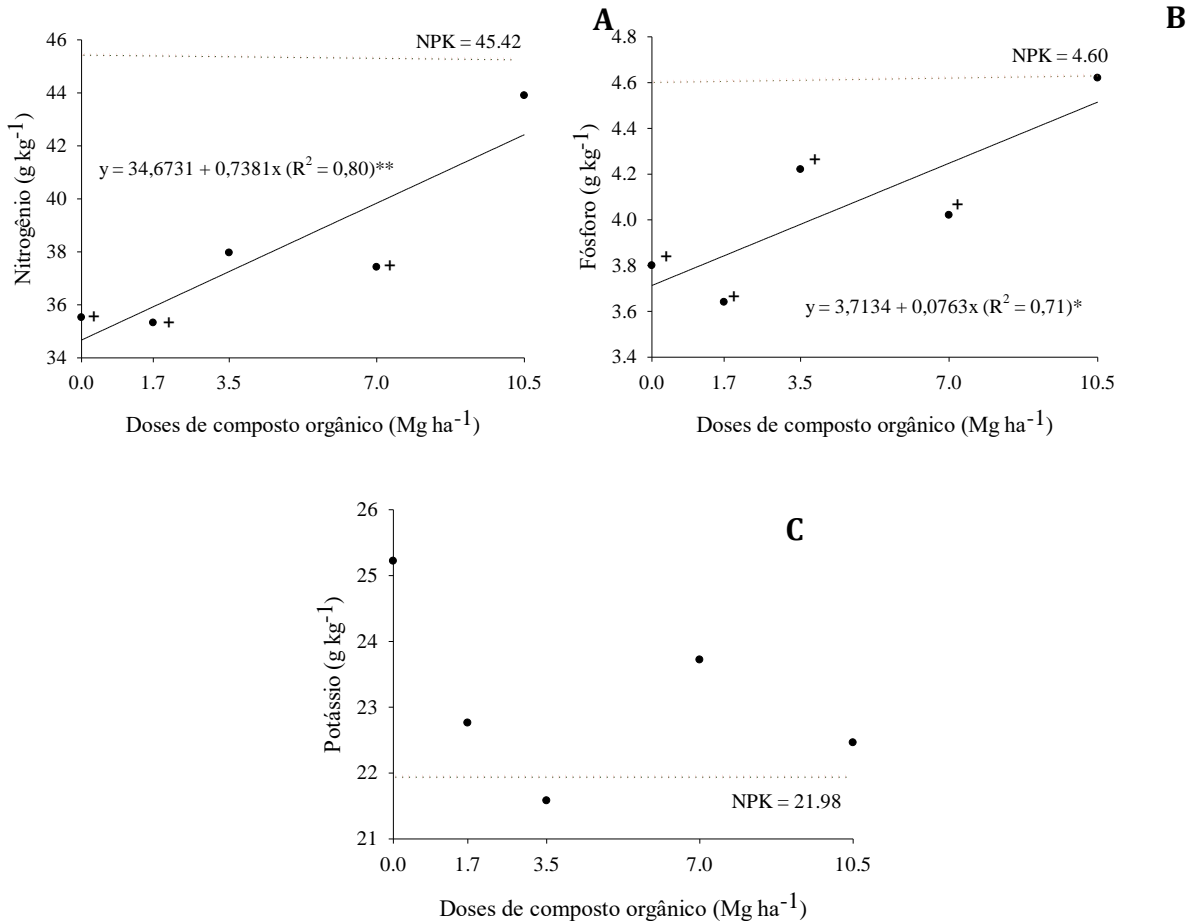
Variáveis	Fonte de variação					CV (%)
	Tratamentos	Doses	Doses x Cont.Ad	Bloco	Resíduo	
GL	5	4	1	4	20	
N	94,06 **	60,60 *	227,92 **	15,43 ^{ns}	18,80	11,05
P	0,83 **	0,73 **	1,21 **	0,05 ^{ns}	0,04	5,15
K	8,84 *	9,63 *	5,68 ^{ns}	5,09 ^{ns}	2,44	6,81
Ca	3,42 **	3,84 **	1,74 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,74	18,93
Mg	0,062 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,124 ^{ns}	0,128	19,27
S	0,22 *	0,09 ^{ns}	0,76 **	0,13 ^{ns}	0,06	9,50
MMG	19,13 **	16,31 *	30,38 *	2,85 ^{ns}	54,53	6,13
PROD	5731396,11**	5472680,92 **	6766256,90 **	861775,83 ^{ns}	806713,72	7,64

Fonte: O autor (2025)

Nota: GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; Cont.Ad - controle adicional; ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Os teores foliares de N (Figura 1A) e P (Fig. 1B) ajustaram-se ao modelo linear crescente, atingindo, respectivamente, uma média de $43,90$ e $4,62 \text{ g kg}^{-1}$ na dose máxima ($10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). A adubação com NPK promoveu maior teor médio de N ($45,42 \text{ g kg}^{-1}$) e P ($4,60 \text{ g kg}^{-1}$) que as adubações com CO, em que, para o teor de N, diferiu significativamente das adubações com 0; 1,7 e $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO, e para o P, só não se diferiu da adubação com $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

FIGURA 1 - Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) em plantas de milho adubadas com doses de composto orgânico e NPK



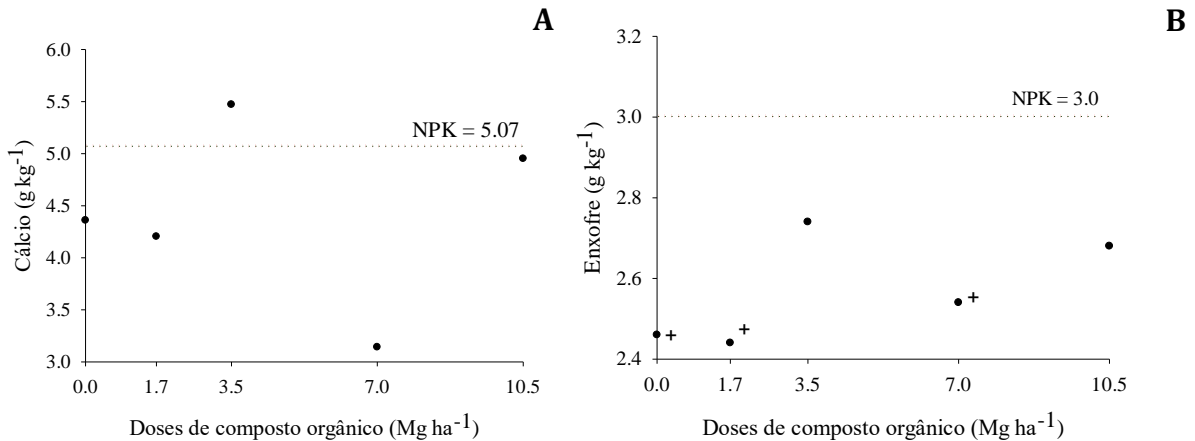
Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com $52,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo elementar).

Os teores de K foliar não se ajustaram a nenhum modelo matemático em função das doses de CO (Fig. 1C), mas observa-se que a maior média foi obtida nas plantas tratadas com 0 Mg ha^{-1} , cujo teor médio foi de $25,22 \text{ g kg}^{-1}$. Nenhuma das adubações com CO se diferiu da adubação com NPK, que promoveu teor de $21,98 \text{ g kg}^{-1}$ de K nos tecidos foliares.

Os teores foliares de Ca (Fig. 2A) e S (Fig. 2B) também não se ajustaram a nenhum modelo matemático e, em ambas as variáveis, a maior média ($5,47$ e $2,74 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) foi obtida na área adubada com $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO. Para o Ca, não houve diferença entre as doses de CO e NPK ($5,07 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto que para o S, a adubação com NPK promoveu teor médio de $3,00 \text{ g kg}^{-1}$, sendo superior às obtidas nas plantas adubadas com 0 ; $1,7$ e $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO, cujos valores variaram entre $2,44$ e $2,46 \text{ g kg}^{-1}$ (Fig. 2B).

FIGURA 2 - Teor de cálcio (A) e enxofre (B) foliar em plantas de milho em função das doses de composto orgânico e NPK

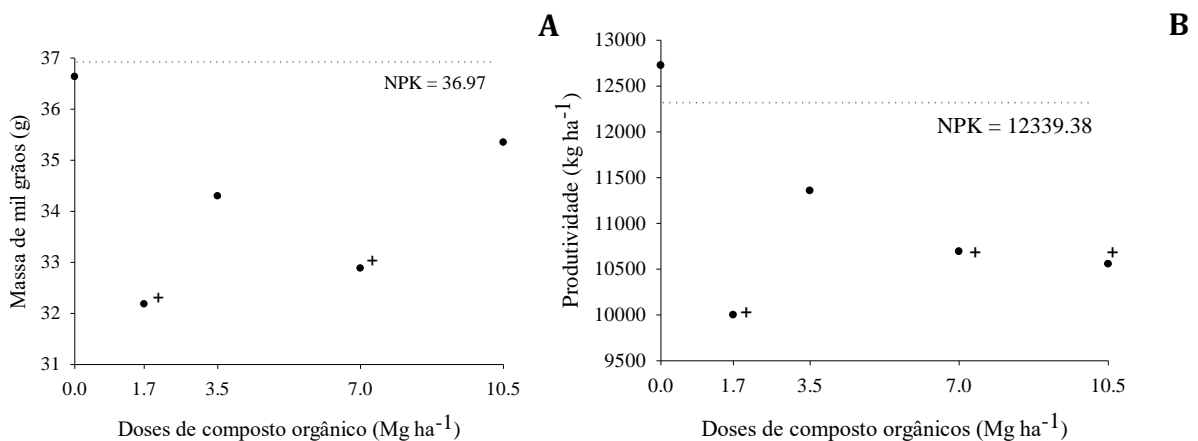


Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com 52,3 kg ha⁻¹ de fósforo elementar).

A maior MMG foi obtida na área adubada com NPK, sendo de 36,97g (Fig. 3A), diferindo-se significativamente da massa obtida nas plantas adubadas com 1,7 e 7,0 Mg ha⁻¹ de CO. Em relação à produtividade de grãos, a maior média foi obtida na área sem adubação com CO (0 Mg ha⁻¹), tendo valor médio de 12.725,10 kg ha⁻¹ (Fig. 3B). A produtividade da área adubada com NPK foi de 12.339,38 kg ha⁻¹, sendo superior à obtida nas áreas adubadas com 1,7; 7,0 e 10,5 Mg ha⁻¹ de CO, cuja produtividade ficou abaixo de 10.690,00 kg ha⁻¹.

FIGURA 3 - Massa de mil grãos (A) e produtividade (B) de plantas de milho em função das doses de composto orgânico e NPK



Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com 52,3 kg ha⁻¹ de fósforo elementar).

Na cultura da soja, as doses de CO diferiram entre si nos teores foliares de K, Ca e S, bem como na massa de mil grãos (MMG) e produtividade (Tabela 9). E também houve diferença significativa entre as doses de compostos orgânicos e o controle adicional (tratamento com NPK) para os teores foliares de K, Ca e S (Tabela 9). Em relação ao residual do solo, houve diferença significativa entre as doses de CO no teor de P, matéria orgânica (MO) e C orgânico (Corg). Além disso, as doses de CO diferiram-se significativamente da adubação com NPK somente no P residual (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e *p* valor) para teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de plantas de soja submetidas a 0; 1,7; 3,5; 7,0 e 10,5 Mg ha⁻¹ de composto orgânico e NPK

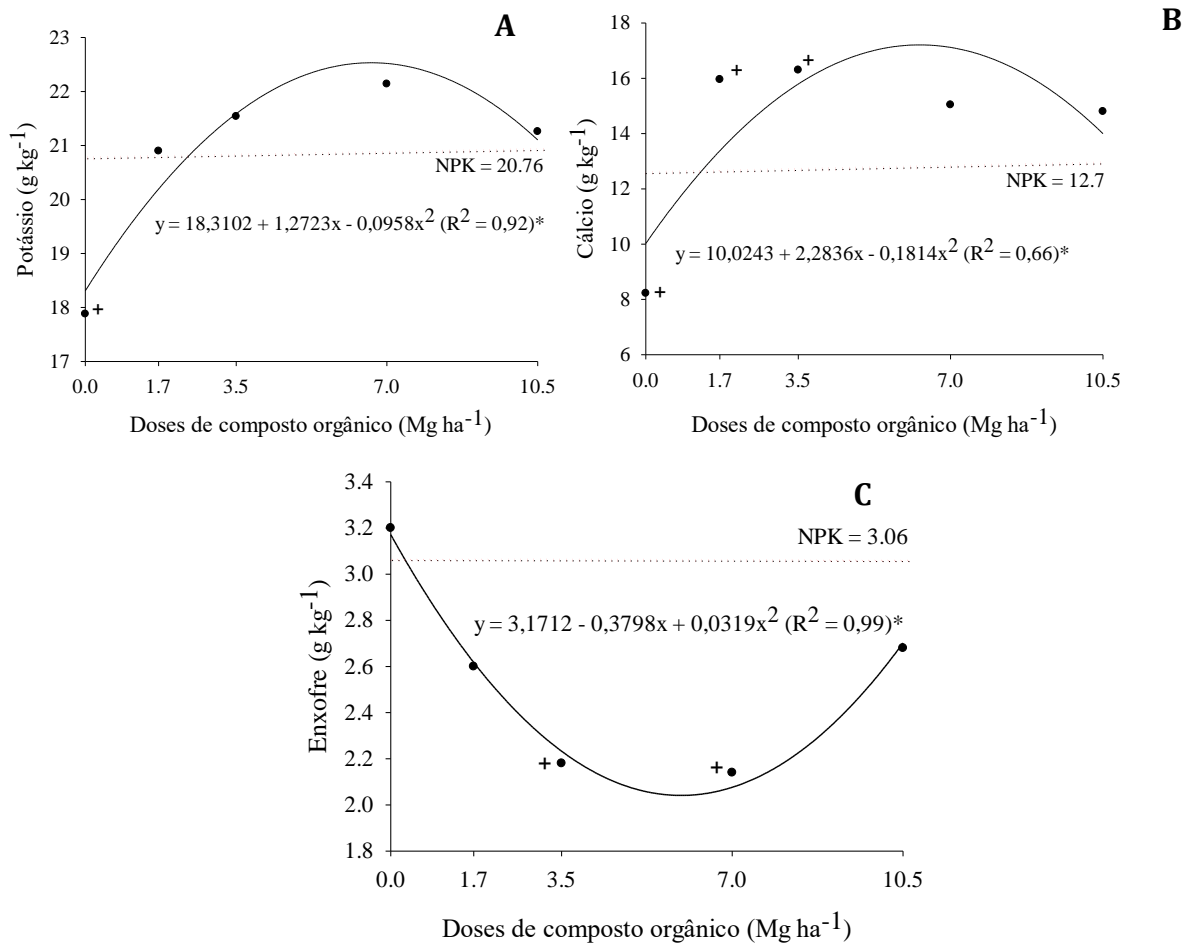
Variáveis	Fonte de variação					CV (%)
	Tratamentos	Doses	Doses x Cont.Ad	Bloco	Resíduo	
GL	5	4	1	4	20	
N	4,75 ^{ns}	4,89 ^{ns}	4,20 ^{ns}	5,06 ^{ns}	5,37	3,79
P	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	4,15
K	11,08 ^{**}	13,84 ^{**}	0,001 [*]	3,65 ^{ns}	1,5	5,91
Ca	45,79 ^{**}	55,30 ^{**}	7,75 [*]	2,75 ^{ns}	3,23	13
Mg	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03	5
S	0,95 ^{**}	0,93 ^{**}	1,04 [*]	0,32 ^{ns}	0,14	14,22
MMG	98,56 [*]	122,06 [*]	4,54 ^{ns}	11,50 ^{ns}	32,62	3,19
PROD	364284,71 ^{ns}	443685,26 [*]	46682,50 ^{ns}	22107,24 ^{ns}	145491,25	8,47
Residual do solo						
P	1091,55 ^{**}	1363,81 ^{**}	2,54 [*]	2,60 ^{ns}	9,98	7,19
MO	63,77 ^{**}	79,08 ^{**}	2,51 ^{ns}	6,86 ^{ns}	8,56	4,78
Corg	21,45 ^{**}	26,60 ^{**}	0,85 ^{ns}	2,31 ^{ns}	2,88	4,78

Fonte: O autor (2025)

Nota: GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; Cont.Ad - controle adicional; ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5 e 1%, respectivamente.

O teor foliar de K apresentou resposta quadrática às doses de CO, com ponto de máxima resposta estimado em 6,64 Mg ha⁻¹, correspondente a um teor médio de 22,53 g kg⁻¹ (Fig. 4A). Considerando as doses aplicadas, o maior teor de K foliar ocorreu nas plantas adubadas com 7,0 Mg ha⁻¹ de CO, resultando em 22,14 g kg⁻¹ (Fig. 4A). O único tratamento que se diferiu das plantas tratadas com NPK (20,76 g kg⁻¹) foi a dose de 0 Mg ha⁻¹, em que os valores foram de 17,88 g kg⁻¹ de K (Fig. 4A).

FIGURA 4 - Teor de potássio (A), cálcio (B) e enxofre (C) foliar em plantas de soja em função das doses de composto orgânico e NPK



Fonte: O autor (2025)

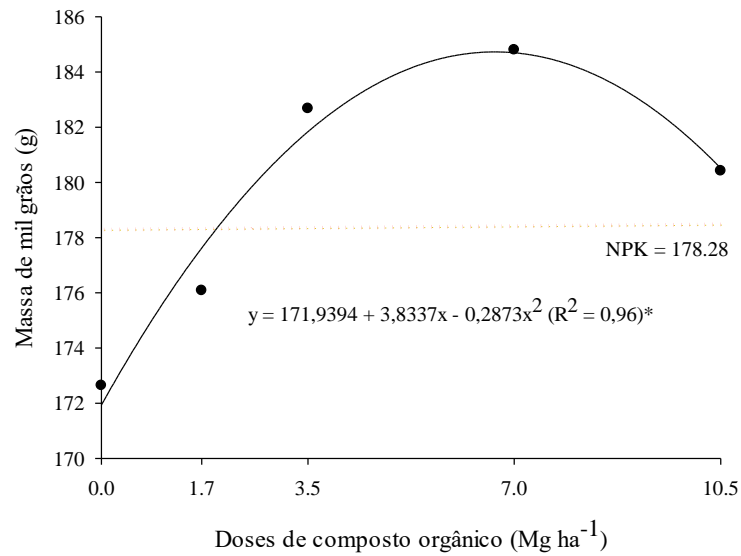
Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com $52,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo elementar).

Para o Ca foliar, a melhor resposta foi obtida com $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ do CO, cujo teor médio foi de $16,30 \text{ g kg}^{-1}$, diferindo-se inclusive do tratamento com NPK, em que as plantas tiveram $12,70 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca (Fig. 4B). Os tratamentos com 0 e $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO também se diferiram do controle adicional, tendo médias de $8,22$ e $15,96 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Fig. 4B).

Os teores mais baixos de S foliar foram obtidos nas plantas tratadas com $3,5$ e $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO ($2,18$ e $2,14 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), diferindo-se do controle adicional, cujas plantas tiveram teor médio de $3,06 \text{ g kg}^{-1}$ (Fig. 4C).

Para a MMG, a melhor resposta foi obtida com $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO que resultou em uma massa de $184,80 \text{ g}$ (Fig. 5). E nenhuma das doses se diferiu do tratamento com NPK, cuja MMG foi de $178,28 \text{ g}$.

Figura 5 - Massa de mil grãos de plantas de soja em função das doses de composto orgânico e NPK

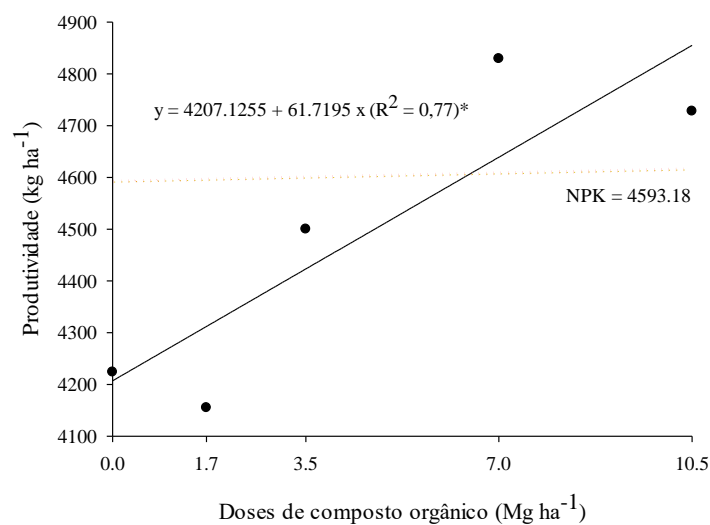


Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com 52,3 kg ha⁻¹ de fósforo elementar).

A produtividade apresentou ajuste ao modelo linear crescente em função das doses de CO, indicando resposta positiva ao incremento do insumo. Sem aplicação de CO (0 Mg ha⁻¹), a produtividade foi de 4.223,84 kg ha⁻¹, enquanto na máxima dose do CO (10,5 Mg ha⁻¹) atingiu 4.728,06 kg ha⁻¹ (Fig. 6). Na área adubada com NPK, a produtividade média foi de 4.593,18 kg ha⁻¹, não se diferenciando das doses de CO (Fig. 6).

Figura 6 - Produtividade de grãos de plantas de soja em função das doses de composto orgânico e NPK

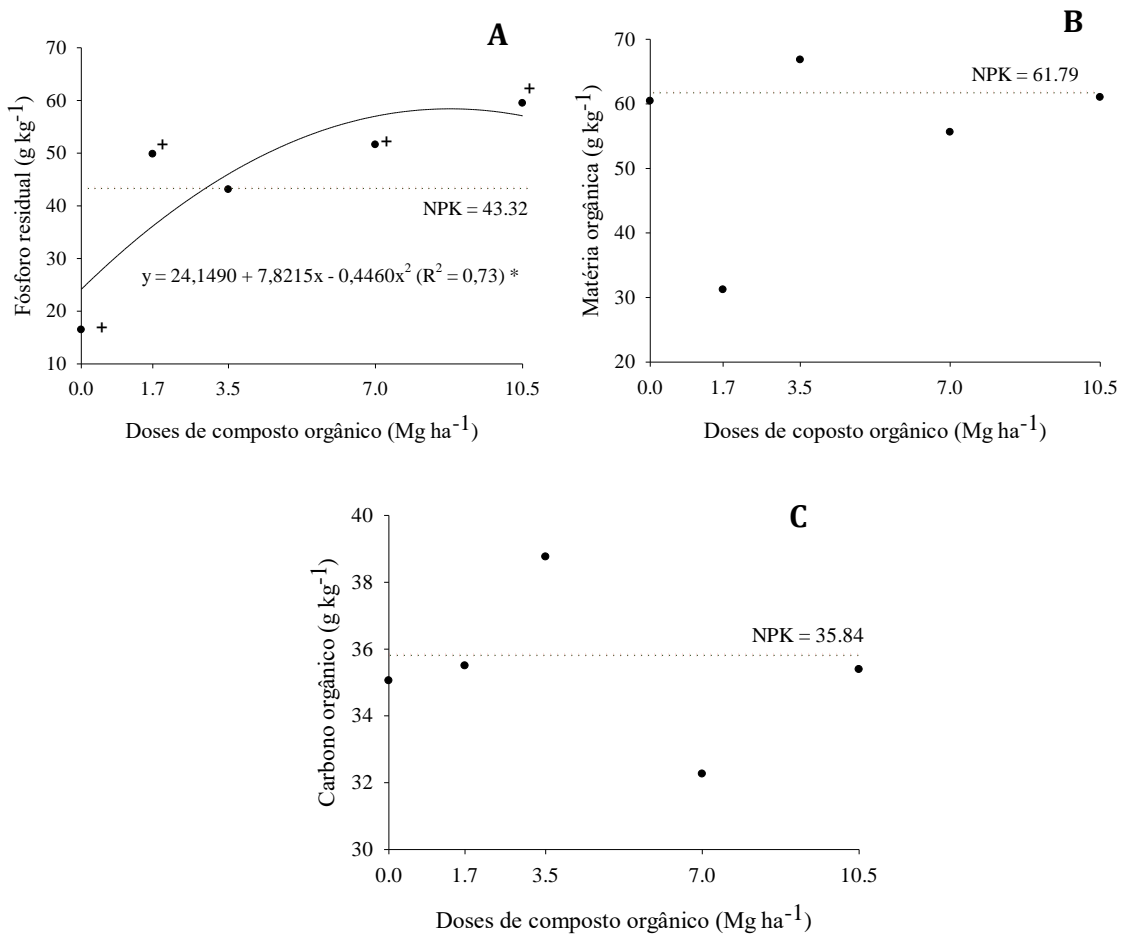


Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com 52,3 kg ha⁻¹ de fósforo elementar).

O teor de P residual ajustou-se ao modelo polinomial quadrático em função das doses de CO. Entre as doses utilizadas, houve maior média na área adubada com 10,5 Mg ha⁻¹ de CO, cuja média foi de 59,47 g kg⁻¹ (Fig. 7A), diferindo-se do valor obtido na área adubada com NPK (43,32 g kg⁻¹). O teor de P residual obtido nas áreas adubadas com 1,7 e 7,0 Mg ha⁻¹ (49,86 e 51,60 g kg⁻¹, respectivamente) também se diferiu significativamente do controle adicional (Fig. 7A).

FIGURA 7 - Fósforo residual (A), matéria orgânica (B) e carbono orgânico (C) em áreas adubadas com doses de composto orgânico e NKP



Fonte: O autor (2025)

Nota: * Significativo a 5%; + Médias que se diferem do controle adicional (NPK com 52,3 kg ha⁻¹ de fósforo elementar).

Em relação a MO (Fig. 7A) e Corg (Fig. 7B), não houve ajuste de modelo matemático para as doses de CO, e nem diferença significativa entre as doses de CO e NPK, mas observa-se que a maior média para ambas as variáveis foi obtida na área adubada com 3,5 Mg ha⁻¹, sendo, respectivamente, de 66,82 e 38,76 g kg⁻¹.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste experimento demonstraram que o composto orgânico pode ser considerado fonte alternativa de fósforo. O aumento das doses do composto influenciou significativamente variáveis como os teores foliares de N, P, K, Ca e S, além do peso de mil grãos e da produtividade de milho, evidenciando que o elemento pode atender às demandas nutricionais das culturas.

Mesmo a adubação mineral tendo apresentado respostas superiores em alguns parâmetros, especialmente no peso de mil grãos e em determinados teores foliares, o composto orgânico apresentou desempenho semelhante em produtividade e contribuiu para o aumento do fósforo residual e do carbono orgânico no solo, o que demonstra que pode haver ainda mais diferença ao decorrer de múltiplas safras. Esses resultados reforçam a viabilidade do uso destes resíduos como insumos agrícolas, evidenciando uma saída para a sustentabilidade do sistema, além da melhoria da fertilidade dos solos.

REFERÊNCIAS

BÜNEMANN, E. K.; LEHMANN, J.; KLEBER, M. Organic matter dynamics and nutrient availability in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 122, p. 1–23, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Revista Científica Symposium**, v. 16, n. 1, p. 36–41, 2019.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, p. 60–68, 2015.

MATOS, A. T. de. **Manual de análises de resíduos sólidos**. Viçosa: Editora UFV, 2015.

MENEZES-BLACKBURN, D. *et al.* Phosphorus mobility in the soil–plant continuum: a review. **Plant and Soil**, v. 427, p. 5–16, 2016.

RICHARDSON, A. E. *et al.* Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, p. 305–339, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho demonstrou que tanto fertilizantes organominerais quanto compostos oriundos da cadeia avícola podem ser considerados alternativas agronomicamente viáveis aos fertilizantes minerais fosfatados tradicionais.

Pelo experimento descrito no capítulo 2, verificou-se que os fertilizantes organominerais, independentemente da fonte orgânica, da sua acidificação ou granulometria, apresentaram desempenho semelhante ao MAP na fase vegetativa do milho, sem comprometer a produtividade inicial.

No experimento do capítulo 3, o composto aplicado em campo demonstrou ter capacidade de fornecer nutrientes às culturas de milho e soja, com efeitos positivos sobre aspectos produtivos de ambas, além da melhora da fertilidade do solo, especialmente relacionada ao aumento do fósforo residual e da matéria orgânica.

Analisados em conjunto, os dois experimentos sugerem que o uso de resíduos da avicultura, seja na forma de fertilizantes organominerais ou de compostos orgânicos, pode contribuir para reduzir a dependência de fontes minerais importadas, possibilitar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e pecuários no Brasil. Mesmo não substituindo totalmente os fertilizantes minerais no curto prazo, estas fontes alternativas de insumos têm potencial para complementar a adubação convencional, aliando benefícios ambientais e econômicos.

Recomenda-se, no entanto, a continuidade das pesquisas em diferentes ciclos produtivos e condições de campo, buscando consolidar o uso desses insumos como prática sustentável e viável para a agricultura brasileira.