



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



**HELEN CARLA BELAN**

**FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO COM  
MICRORGANISMOS NA CULTURA DA SOJA**

**UBERLÂNDIA - MG  
2022**

**HELEN CARLA BELAN**

**FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO COM  
MICRORGANISMOS NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Agronomia da Universidade  
Federal de Uberlândia, para obtenção do  
grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

**UBERLÂNDIA - MG  
2022**

**HELEN CARLA BELAN**

**FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO COM  
MICRORGANISMOS NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Agronomia da Universidade  
Federal de Uberlândia, para obtenção do  
grau de Engenheira Agrônoma.

Aprovada pela Banca Examinadora em 12 de agosto de 2022.

---

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo  
Orientador – UFU

---

Dra. Evelyn Cristina de Oliveira  
Membro da banca - UFU

---

Me. Raquel Pinheiro da Mota  
Membro da banca – UFU

Dedico esse trabalho ao meu pai Gilmar (*in memoriam*), com todo o meu amor e gratidão.

“Daria tudo que sei pela metade do que ignoro.”  
René Descartes

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelas oportunidades recebidas e pelo encerramento de mais um ciclo na minha vida.

Aos meus pais, Gilmar e Alzira, pela dedicação incondicional sem a qual nada disso seria possível. Pelo apoio emocional e financeiro. Em especial, ao meu pai Gilmar, que mesmo em seus momentos mais difíceis me transformou como ser humano e me ensinou a valorizar cada passo da jornada. Sempre vou te amar.

Aos meus irmãos, Henri e Helder, por serem meus exemplos e minha base. As minhas cunhadas, Andressa e Aline, pelo apoio em todos os momentos. Aos meus sobrinhos, Matheus, Antônio, Lucca e Lisa, por trazerem alegria e leveza aos meus dias.

Ao meu orientador Reginaldo de Camargo, pela acolhida, orientação e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Ernane Lemes e ao Miguel Franco pela enorme contribuição na execução e organização desse trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias, pela estrutura ofertada e pela oportunidade recebida.

Aos membros da banca, por terem aceitado o convite, e, desde já, pelas contribuições que serão feitas a esse trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho fosse concluído.

## RESUMO

Os fertilizantes organominerais (FOM) são uma alternativa aos fertilizantes minerais (FM), além de possibilitarem a destinação sustentável dos resíduos orgânicos. Por isso, avaliar o efeito que os FOMs exercem nas culturas contribui para a melhoria na sua eficiência, bem como para consolidar e potencializar seu uso agrícola em grande escala. O objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito do FOM inoculado com microrganismos e do FM na produtividade da cultura da soja, na acumulação de nutrientes foliares e na fertilidade do solo em dois locais de estudo: Paracatu/Mg e Ibiá/MG. O delineamento experimental adotado em ambos os ensaios foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$ , correspondente a duas fontes de fertilizantes (organomineral granulado com adição de bactérias 05-26-0 + 0-0-32 e mineral com a adição de polímero 10-52-00 + 00-00-60) e o segundo fator correspondente a três doses de fósforo e potássio (50, 75 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). O FOM utilizado foi formulado com resíduos de celulose adicionado com MAP (fosfatado) ou KCl (potássico). Como FM, foram utilizadas essas mesmas fontes isoladas. O experimento foi conduzido durante a safra de 2020/21. Foram realizadas análises foliares das folhas jovens após 60 dias de semeadura. No final do ciclo, foram mensuradas a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>), peso de grãos em 10 plantas e peso de mil grãos. Também foram realizadas análises de solo posteriormente para cada tratamento. Para a cidade de Paracatu, a produtividade entre as fontes diferiu apenas na dose de 75 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 31,6% maior com o uso de FOM, em relação ao FM. Para Ibiá, o FOM foi superior nas doses de 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>, porém apresentou uma produtividade menor na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>. A maior produtividade em Paracatu, com a aplicação de FOM, se deu pelo aumento do número de grãos por planta. Quanto às análises foliares, houve diferença significativa para os parâmetros N, P e K foliar, em Ibiá, sendo maior com a aplicação de fertilizante mineral. As análises de solo mostraram que houve pouca alteração da fertilidade do solo com a aplicação dos fertilizantes. Considerando os resultados de produtividade encontrados, o FOM é uma alternativa viável para substituir o FM, obtendo bons incrementos mesmo em doses mais baixas do insumo.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, adubação, fontes alternativas, resíduos, fósforo, potássio

## ABSTRACT

Organomineral fertilizers (FOM) are an alternative to mineral fertilizers (FM), in addition to enabling a sustainable destination for organic residue. Therefore, to evaluate the effect that FOMs on crops contribute to improve efficiency, as well as to consolidate and enhance their agricultural use on a large scale. The present work aimed to verify the effect of FOM inoculated with microorganisms and FM on soybean productivity, on the accumulation of leaf nutrients and on fertility of soil in two study sites: Paracatu/Mg and Ibiá/MG. The experimental design adopted was complete blocks with randomized treatments, in a 2 x 3 + 1 factorial scheme (fertilizer x dose + control). The FOM used is granulated and was formulated with cellulose residues added with MAP (phosphate) or KCl (potassium). The experimental design adopted in both trials was in randomized blocks with four replications, in a 2 x 3 + 1 factorial scheme, corresponding to two sources of fertilizers (granulated organomineral with the addition of bacteria 05-26-0 + 0-0-32 and mineral with the addition of polymer 10-52-00 + 00-00-60) and the second factor corresponding to three doses of phosphorus and potassium (50, 75 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O). The FOM used was formulated with cellulose residues added with MAP (phosphate) or KCl (potassium). As FM, these same isolated sources were used. The experiment was conducted during the 2020/21 harvest. Foliar analyzes were performed on young leaves after 60 days of sowing. At the end of the cycle, yield (kg ha<sup>-1</sup>), grain weight in 10 plants and weight of 1000-grains were measured. Soil analyzes were also performed later for each treatment. For the city of Paracatu, the productivity among the sources differed only at the dose of 75 kg ha<sup>-1</sup>, being 31.6% higher with the use of FOM, in relation to the FM. For Ibiá, the FOM was higher at the doses of 50 and 75 kg ha<sup>-1</sup>, but it presented a lower productivity at the dose of 100 kg ha<sup>-1</sup>. The highest productivity in Paracatu, with the application of FOM, was due to the increase in the number of grains per plant. As for the foliar analysis, there was a significant difference for the parameters N, P and K foliar, in Ibiá, being greater with the application of mineral fertilizer. Soil analyzes showed that there was little change in soil fertility with the application of fertilizers. Considering the productivity results found, FOM is a viable alternative to replace FM, achieving good increments even at lower doses of the input.

**Keywords:** sustainability, fertilization, alternative sources, phosphorus, potassium, waste

## Sumário

1	Introdução .....	12
2	Material e métodos.....	14
2.1	Local de estudo .....	14
2.2	Delineamento experimental.....	16
2.3	Análise de dados .....	18
3	Resultados .....	19
4	Discussão .....	27
5	Conclusão.....	30
6	Referências.....	30

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Localização dos experimentos instalados a campo. .... 15
- Figura 2.** Produtividade de soja com diferentes doses de fertilizante mineral e organomineral + *Bacillus* (50; 75; e 100 kg ha<sup>-1</sup>) e testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante) no Local 1 (Paracatu, MG) e Local 2 (Ibiá, MG). As médias foram comparadas pelo teste LSD (fonte) e o teste de Regressão (doses) usando um P de 0,05. Uberlândia-MG, 2022. .... 19
- Figura 3.** Potássio e fósforo nas folhas (K e P, g kg<sup>-1</sup>) com fertilizantes minerais e organominerais + *Bacillus* (doses: 50; 75; e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O) e testemunha no Local 1 (Paracatu/MG) e Local 2 (Ibiá/MG). Uberlândia-MG, 2022. As médias foram comparadas pelo teste LSD (fontes) e o teste de regressão (doses), utilizando um *p* de 0,05 com resultados significativos representados por letras maiúsculas. Ns: nenhum efeito significativo. .... 23
- Figura 4.** Correlação da produtividade da soja com peso de grãos em 10 plantas, peso de mil grãos (PMG), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio nas folhas (K) e fósforo, potássio, cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H<sup>+</sup>) Al) e matéria orgânica (MO) no solo. No lado esquerdo estão apresentadas as variáveis para o Local 1 – Paracatu/MG e no lado direito para o Local 2 – Ibiá/MG. As variáveis foram correlacionadas pela correlação de Pearson (P<0,05), e as correlações positivas e negativas foram demonstradas pelos valores de correlação azul e vermelho. Uberlândia-MG, 2022. .... 26

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Caracterização físico-química dos solos das áreas experimentais nos municípios de Paracatu-MG e Ibiá-MG.....	16
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química dos fertilizantes utilizados nos ensaios. ....	17
<b>Tabela 3.</b> Peso de grãos em 10 plantas, peso de mil grãos (PMG) e nitrogênio foliar com aplicação de fertilizantes minerais e organominerais + <i>Bacillus</i> em Paracatu/MG e Ibiá/MG. ....	20
<b>Tabela 4.</b> Porcentagem de grãos de soja retidos nas peneiras (18, 16, 15, 14 e 13 <i>mesh</i> e fundo) para os tratamentos com fertilizante mineral e organomineral + <i>Bacillus</i> (doses: 50; 75; e 100 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O) e controle nos locais 1 (Paracatu/MG) e 2 (Ibiá/MG). ....	21
<b>Tabela 5.</b> Análise de solo após o experiment: pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al) e matéria orgânica (MO) com doses de fertilizantes minerais e organominerais + <i>Bacillus</i> e controle no Local 1 (Paracatu/MG) e Local 2 (Ibiá/MG). ....	25

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura têm se tornado um setor cada vez mais tecnificado, tanto em termos de engenharia genética quanto de máquinas e insumos. Uma das tecnologias em expansão no mercado é o fertilizante organomineral (FOM), um associado de fontes minerais e matéria orgânica que proporciona diversos benefícios ao solo e à sua microbiota (SMITH et al., 2020; BOUHIA et al., 2022). A matéria orgânica pode ser tanto de origem animal como vegetal, oriundos de subprodutos da indústria, restos de cultura, restos de comedouros e outras fontes (BOUHIA et al., 2022). Entretanto, o manuseio inadequado de resíduos orgânicos de atividades agrícolas pode levar a graves impactos ao meio ambiente, como a eutrofização de corpos d'água, desta forma, a destinação e aplicação desses resíduos de forma correta é de extrema importância para todo o ecossistema (LANDGRAF et al., 2005). Para Gonçalves et al. (2020), diferentes fontes de matéria orgânica são alternativas viáveis para a composição organomineral e podem melhorar os retornos econômicos e minimizar os impactos ambientais negativos nos sistemas de cultivo.

A utilização de matéria orgânica nas lavouras pode influenciar significativamente no aumento de produtividade das culturas, favorecendo a infiltração e a absorção da água, além do aumento da CTC (capacidade de troca catiônica) do solo (HOFFMANN et al., 2001; BOUHIA et al., 2022). Contudo, por apresentarem pequenas concentrações de N, P e K, é necessário o complemento com fontes minerais (BISSANI et al., 2008).

Além da baixa concentração de nutrientes, o uso da matéria orgânica isolada nas lavouras dificulta o manejo, pois se trata de um material instável, com elevado teor de umidade, composição variável e forma não definida (SMITH et al., 2020). A partir do momento em que os FOMs passaram a ser produzidos no formato granulado, e portanto utilizados em plantadeiras a semelhança dos fertilizantes minerais (FM), abriu-se um portal para a veiculação de diferentes tecnologias via associação com a matéria orgânica.

São vários os potenciais benefícios dos FOMs, sendo os mesmos dependentes principalmente de fatores ambientais e biológicos (LEVRERO, 2009). Como efeitos positivos pode-se citar a liberação gradativa dos nutrientes, melhoria no desenvolvimento radicular das plantas, maior retenção de água, melhora nas propriedades bio-físico-químicas do solo, redução das perdas dos nutrientes e diminuição da taxa de mineralização (ATKINSON et al., 2010; CHEN et al., 2010; ANDERSON et al., 2011; JEFFERY et al., 2011; ALMEIDA-JÚNIOR, 2021; BOUHIA et al., 2022).

Além do fornecimento de nutrientes e melhorias para o solo como um todo, os FOMs são, em geral, inoculados com microrganismos benéficos, que também auxiliam no bom desenvolvimento das culturas. O uso desse tipo de organismo já é bem difundido na agricultura, como a inoculação de bactérias promotoras de crescimento e no controle biológico de patógenos e nematoides (KLOEPPE, 1999; MIGUEL et al., 2021). Muitas espécies do gênero *Bacillus* têm sido utilizadas com essas finalidades, pois produzem inúmeros metabólitos secundários que podem ser utilizadas no âmbito agrícola (RADHAKRISHNAN et al., 2017; MILJAKOVIĆ et al., 2020).

Estudos sobre a espécie *Bacillus subtilis*, demonstram que essas bactérias são capazes de produzir antibióticos, como a iturina e biofilmes, que possibilitam a colonização preventiva e benéfica para as raízes das plantas, defendendo as plantas de diversos patógenos, como fungos do gênero *Fusarium* (ARAUJO et al., 2005; MILJAKOVIĆ et al., 2020). Além disso, essas bactérias também foram associadas à indução de resistência e a mecanismos de promoção de crescimento para diversas culturas (RADHAKRISHNAN et al., 2017; MILJAKOVIĆ et al., 2020).

Outra espécie muito utilizada é a *Bacillus licheniformis*, que possui grande eficácia no controle de nematoides, gerando menor necessidade de defensivos químicos (MONNERAT, 2020). De acordo com Khan et al. (2016), *B. licheniformis* também possui grande potencial como biodegradador, podendo ser empregada na biorremediação de solos contaminados com malathion. Rosa et al. (2021) descrevem que as bactérias *B. subtilis* associadas a *B. licheniformis* elevaram a massa da raiz e reduziram o número de *P. brachurus* e *H. glycines* em raízes de plantas de soja. Buscando esses benefícios, os FOMs são inoculados com microrganismos benéficos para potencializar o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

Apesar das vantagens do uso de FOM na agricultura, o maior consumo desse tipo de fertilizante no Brasil se dá pelos setores de olericultura, fruticultura, floricultura e culturas perenes, sendo apenas uma pequena parte destinada para a cultura de grãos. Em compensação, o cultivo de grãos, como soja e milho, é justamente o setor que mais consome fertilizantes no Brasil. Dessa forma, essas culturas precisam receber atenção distinta no desenvolvimento de produtos, como os FOMs, que aumentem a eficiência dos insumos utilizados em larga escala.

Nesse contexto, a soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é a oleaginosa com maior área cultivada no Brasil, sendo também uma das mais produzidas no mundo. Recentemente, o país assumiu também o posto de maior exportador mundial da cultura da soja (CONAB, 2021). Trata-se de

uma cultura que muitos produtores já empregam de alta tecnologia desde a adubação até a colheita, desta forma, avanços em produtividade requerem novas soluções.

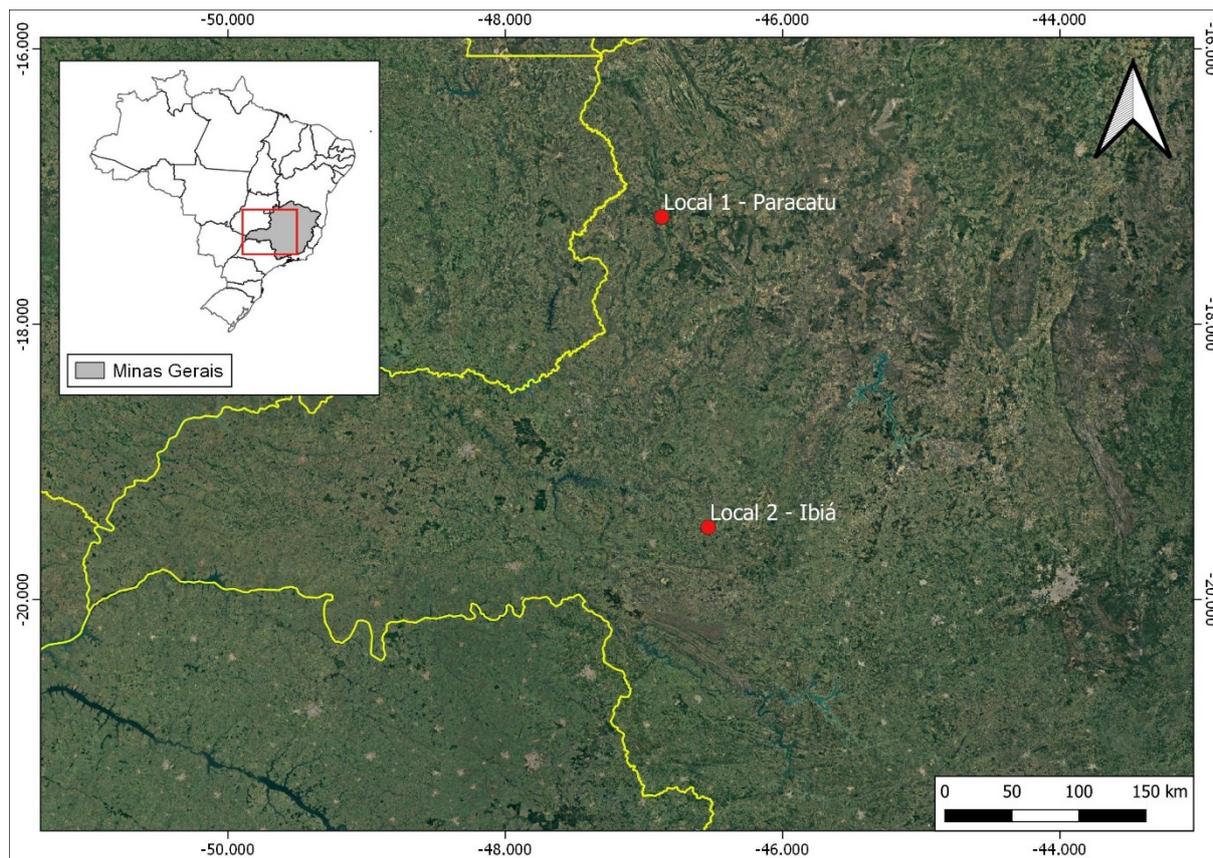
Segundo Cabral et al. (2020), os nutrientes que compõem o FOM fornecem um melhor balanço nutricional e maior eficiência de absorção destes pela cultura da soja. A etapa de maior exigência nutricional inicia-se por volta dos 30 dias e se mantém elevada até o início do enchimento dos grãos, quando a fixação de nitrogênio e a atividade fotossintética são elevadas e produzem um desenvolvimento mais acelerado, com um acúmulo máximo entre 82 e 92 dias. O nutriente com maior exigência é o N, seguido do K, Ca, Mg, P e S. Apesar da grande necessidade de N, por ser uma leguminosa, ocorre a fixação biológica de nitrogênio, associado simbioticamente a bactérias do gênero *Rhizobium* (CARMELLO, 2006).

Neste sentido, o presente estudo avaliou a eficiência de fertilizantes organominerais inoculados com mistura das espécies de *Bacillus subtilis* e *Bacillus liqueniformes* na produtividade da cultura da soja, na acumulação de nutrientes foliares e na fertilidade do solo em dois locais de estudo: Paracatu/Mg e Ibiá/MG.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local de estudo

Foram instalados dois experimentos a campo com a cultura da soja, ambos na região sudeste do Brasil (Figura 1). Um dos ensaios foi conduzido em área irrigada com sistema de pivô central no período de 20 novembro de 2020 a 24 de março de 2021, na fazenda Santa Julieta, localizada no município de Paracatu/MG (Local 1). A localidade está na latitude -16.969186 e longitude -46.436060 a 450m de altitude. O segundo ensaio foi conduzido em sistema de sequeiro no período de 17 novembro de 2020 a 23 de fevereiro de 2021 na fazenda Santa Tereza, localizada no município de Ibiá/MG (Local 2), cuja altitude do local de cultivo é 1060m, latitude -19.693556 e longitude -46.385092. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região de Paracatu apresenta clima do tipo AW-tropical úmido, enquanto que Ibiá-MG possui clima classificado como subtropical de inverno seco (Cwa).



**Figura 1.** Localização dos experimentos instalados a campo.

Para a determinação das características físico-químicas iniciais do solo em ambos experimentos, foram realizadas coletas de amostras simples a uma profundidade de 0 a 20 cm, sendo que a partir destas amostras foi retirada uma amostra composta, segundo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). O solo de Paracatu-MG foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo e o de Ibiá-MG como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013). Os resultados da análise física e química dos solos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química dos solos das áreas experimentais nos municípios de Paracatu-MG e Ibiá-MG.

	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	P <sub>res</sub> ---- mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> ---- mg dm <sup>-3</sup>	H+Al ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Paracatu	5,3	4,9	2,14	0,78	0,1	8,9	83,0	2,83	5,96	3,13
Ibiá	6,3	5,7	3,78	1,22	0	25,5	131,1	2,68	8,02	5,34
	t cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	M.O. dag kg <sup>-1</sup>	C.O. ----- dag kg <sup>-1</sup>	B ----- dag kg <sup>-1</sup>	Cu ----- mg dm <sup>-3</sup>	Fe ----- mg dm <sup>-3</sup>	Mn ----- mg dm <sup>-3</sup>	Zn ----- mg dm <sup>-3</sup>	V ----- %	m ----- %
Paracatu	3,23	2,5	1,5	0,11	2,45	39,0	2,56	3,53	53,0	3,0
Ibiá	3,45	1,3	0,8	0,25	2,11	15,0	10,61	2,64	67	0
	Areia ----- g kg <sup>-1</sup>			Silte ----- g kg <sup>-1</sup>			Argila ----- g kg <sup>-1</sup>			
Paracatu	171			212			617			
Ibiá	268			191			541			

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); S em fosfato de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>; H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L<sup>-1</sup> + TEA 0,1 mol<sup>-1</sup> + CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,3) cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> x 10 = mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> / mg dm<sup>-3</sup> = ppm / dag kg<sup>-1</sup> = %; CTC a pH 7; SB: soma de bases. V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; M.O. = método colorimétrico; metodologias baseadas em Embrapa (2009). Análise textual pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2009).

## 2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado em ambos os ensaios foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 3 + 1, correspondente a duas fontes de fertilizantes (organomineral granulado com adição de bactérias 05-26-0 + 0-0-32 e mineral com a adição de polímero 10-52-00 + 00-00-60) e o segundo fator correspondente a três doses de fósforo e potássio (50, 75 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). Utilizou-se ainda o tratamento controle (adicional) - sem a aplicação de fertilizantes. O nitrogênio (120kg de N via ureia) e fósforo foram aplicados no sulco de semeadura, enquanto o potássio foi aplicado a lanço, distribuído em área total da parcela experimental.

Para produção das formulações presentes nos fertilizantes organominerais foi utilizado como base orgânica, resíduo de celulose compostado acrescido das mesmas fontes presentes no fertilizante mineral com polímero (fosfato monoamônico - MAP e cloreto de potássio - KCl). A composição química dos fertilizantes utilizados no experimento está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2.** Caracterização química dos fertilizantes utilizados nos ensaios. Uberlândia-MG, 2022.

Tratamento	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	COT <sup>3</sup>	CTC <sup>4</sup>
	----- kg t <sup>-1</sup> -----		%	----- mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	
FOM <sup>1</sup> fosfatado + Bactérias	4,9	26,5	0	12,2	420,0
FOM potássico + Bactérias	0	0	32,1	13,1	296,3
FM <sup>2</sup> fosfatado	10,0	52,3	0	0	0
FM potássico	0	0	60,2	0	0

<sup>1</sup>FOM = fertilizante organomineral; <sup>2</sup>FM = fertilizante mineral com polímero; <sup>3</sup>COT = carbono orgânico total; <sup>4</sup>CTC = capacidade de troca de cátions.

A mistura das bactérias aos FOMs foi realizada considerando a proporção de 700 mL de solução microbiana para cada 1 ton de fertilizantes, obtendo-se uma população de  $1 \times 10^{11}$  UFC ton<sup>-1</sup> de FOM produzido. As bactérias adicionadas pertencem a mistura das espécies de *Bacillus subtilis* e *Bacillus liqueniformes*.

O plantio da soja foi realizado em linhas espaçadas de 0,5 m e população ajustada em aproximadamente 250 mil plantas por hectare. A cultivar utilizada no município de Paracatu-MG foi a Pioneer 90Y30 e em Ibiá-MG a cultivar BRS284. As unidades experimentais foram compostas por 40 m<sup>2</sup> (4 x 10 m) com espaçamento de 1m entre blocos. Em ambos os ensaios, o fornecimento de micronutrientes via foliar, e o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados de acordo com às necessidades de cada cultivo pelos produtores rurais de cada localidade.

Aos 60 dias após a semeadura (DAS), no estágio R1-R2, foram coletadas amostras de folhas das plantas de cada parcela experimental para análise química foliar de macronutrientes. Foram coletadas folhas jovens e totalmente desenvolvidas do segundo nó de 10 plantas, sendo essas amostras acondicionadas em sacos de papel e levadas ao Laboratório de Fertilidade da Universidade Federal de Uberlândia onde foram realizadas as análises foliares de nitrogênio, fósforo e potássio (g kg<sup>-1</sup>), seguindo metodologia proposta por Embrapa (2009).

Após a senescência das plantas no final do ciclo da cultura, foi realizada a avaliação de produtividade coletando-se as plantas presentes nas 3 linhas centrais de cada parcela em 5 metros de comprimento, obtendo-se uma sub-parcela de 7,5 m<sup>2</sup>. Após a colheita das plantas presentes nesta sub-parcela foram mensurados:

*Produtividade* (kg ha<sup>-1</sup>): massa de grãos obtidos por trilha mecânica das plantas e correção da umidade para a base de 13% conforme a fórmula:  $PF = PI \times (100 - UI) / (100 - UF)$ ,

sendo: PF: peso final da amostra; PI: peso inicial da amostra; UI: umidade inicial da amostra; UF: umidade final da amostra (13%).

*Peso de grãos em 10 plantas (g)*: massa de grãos obtidos em 10 plantas.

*Peso de mil grãos (g)*: Para determinação do peso de mil sementes (PMS), utilizou-se oito repetições de 100 sementes, as quais foram pesadas em balança de precisão (0,001g), seguindo os critérios estabelecidos pela RAS (BRASIL, 2009). Posteriormente, também realizou-se a correção da umidade para 13%.

*Teste de retenção de peneira (TRP)*: realizado a partir de uma amostra de 100g de sementes e distribuídas sobre um conjunto de peneiras de 13 a 18 mesh, seguindo os critérios estabelecidos pela RAS (BRASIL, 2009). Os resultados são expressos em porcentagem (%).

Por fim, buscando-se avaliar a influência da aplicação dos fertilizantes sobre as características químicas do solo cultivado, foi coletada uma amostra de solo em cada parcela e essas foram encaminhadas ao laboratório para análise química segundo metodologia descrita pela Embrapa (2009).

### 2.3 Análise de dados

Os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram avaliados pelo teste de Shapiro-Wilk e pelo teste de oneillmathews ( $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Os dados de cada local foram submetidos à ANOVA, com base no teste F. Quando o teste F foi significativo ( $p \leq 0,1$ ), as fontes foram testadas pelo teste LSD ( $p \leq 0,1$ ) e as taxas foram avaliadas pelo teste de regressão ( $p \leq 0,1$ ). A dupla interação entre os tratamentos também foi monitorada ( $p \leq 0,1$ ).

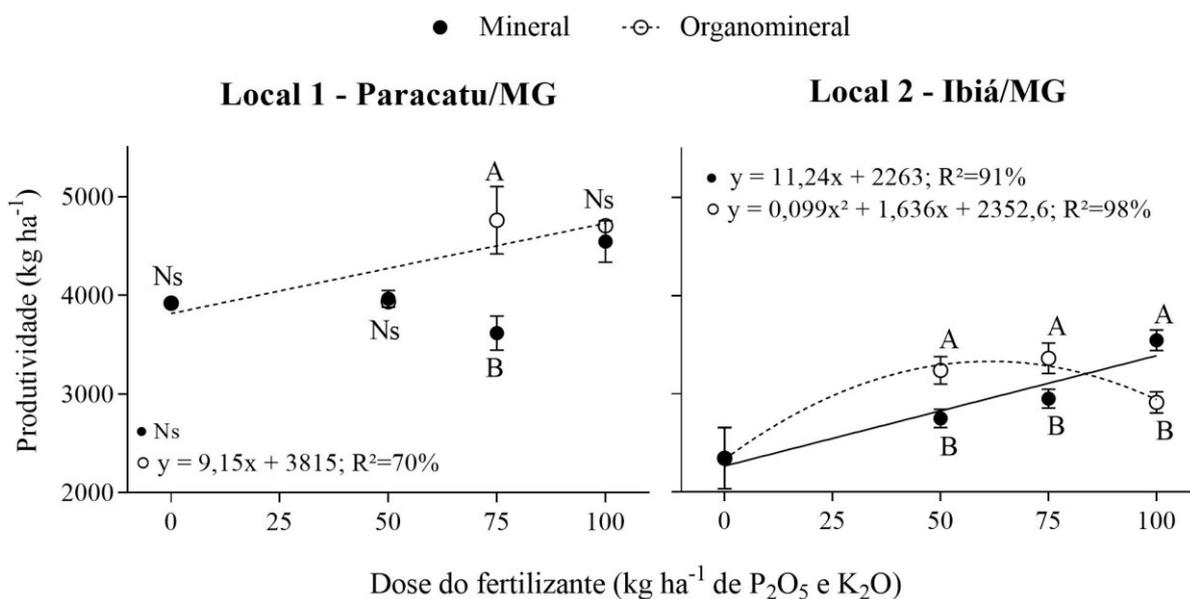
As correlações entre peso de grãos em 10 plantas, 1000 grãos, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio nas folhas (K), e fósforo, potássio, cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al) e matéria orgânica (MO) do solo foram monitorados pela correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ). Os resultados foram apresentados em um gráfico de ciclo (adaptado), que foi dividido em três camadas: (i) camada radicular com dados de produtividade; (ii) camada 1 com os dados da planta; (iii) camada 2 com dados de solo. Os k-vértices foram representados com a média variável calculada para cada sítio.

A análise de componentes principais (PCA) foi usada para explicar a diferença entre os locais. O número de variáveis foi dimensionado de acordo com suas características para melhor visualizar a interação entre as variáveis nos eixos coordenados, chamados de componentes principais. O critério de Kaiser foi utilizado para obter um modelo mais simples e parcimonioso. As análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R Foundation for Statistical Computing

v. 4.0.0;) e Python (Python Software Foundation v. 3.8.3), e os resultados representados graficamente no Sigmaplot (Systat Software, Inc. v. 11).

### 3 RESULTADOS

Tanto o fertilizante organomineral quanto mineral apresentaram respostas lineares na produtividade da soja com aumento de 13% (FM) e 16% (FOM), quando comparado com o controle, para a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O no Local 1, e um aumento de 33% (FM) e 20% (FOM) no Local 2 (Figura 2). A aplicação do FOM aumentou a produtividade da soja (32%), em relação à aplicação do FM isolado, na dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> no Local 1. Para o Local 2, o FOM se mostrou a melhor alternativa nas doses de 50 kg ha<sup>-1</sup> e 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Todavia, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, o FM apresentou rendimento superior em relação ao FOM, sendo que a dose em que as duas fontes de fertilizantes se equivalem em produtividade seria 86,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Figura 2).



**Figura 2.** Produtividade de soja com diferentes doses de fertilizante mineral e organomineral + *Bacillus* (50; 75; e 100 kg ha<sup>-1</sup>) e testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante) no Local 1 (Paracatu, MG) e Local 2 (Ibiá, MG). As médias foram comparadas pelo teste LSD (fonte) e o teste de Regressão (doses) usando um P de 0,05. Uberlândia-MG, 2022.

No Local 1, o peso de grãos em 10 plantas foi 18,5% maior nos tratamentos com FOM do que nos tratamentos com FM, sendo que não houve efeito para o peso de mil grãos (PMG).

Para o Local 2, não houve diferença entre fontes e doses para o peso de grãos em 10 plantas e nem para PMG (Tabela 3).

O acúmulo de N foliar não foi alterado pelas doses em ambos os locais com médias gerais de 50 (Local 1) e 38 g kg<sup>-1</sup> (Local 2). Já no Local 2, o FM promoveu maior acúmulo de N foliar em relação ao FOM (Tabela 3).

**Tabela 3.** Peso de grãos em 10 plantas, peso de mil grãos (PMG) e nitrogênio foliar com aplicação de fertilizantes minerais e organominerais + *Bacillus* em Paracatu/MG e Ibiá/MG.

(Kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O)	Local 1 – Paracatu/MG			Local 2 – Ibiá/MG		
	10 plantas g	PMG g	N foliar g kg <sup>-1</sup>	10 plantas g	PMG g	N foliar g kg <sup>-1</sup>
	Mineral					
0	463,4±32,0	147,7±2,9	53,6±3,1	135,1±7,4	142,5±0,9	35,5±1,2
50	456,3±10,6	155,1±3,0	49,1±1,5	147,4±6,2	145,7±1,9	39,2±1,0
75	469,9±12,2	147,8±2,3	52,2±3,1	126,7±11,2	144,6±0,9	39,6±0,6
100	476,4±8,1	148,4±2,6	50,6±0,9	138,2±4,9	145,0±0,7	41,1±0,3
Média	467,5±2,4B	150,5±0,9	50,6±0,3	137,4±2,4	145,1±0,1	40,0±0,2A
	Organomineral + <i>Bacillus</i>					
0	463,4±32,0	147,7±2,9	53,6±3,1	135,1±7,4	142,5±0,9	35,5±1,2
50	537,0±33,6	151,2±3,1	51,6±1,8	148,6±7,3	143,3±0,6	36,2±0,7
75	556,6±20,4	150,7±2,4	50,2±2,1	150,0±7,9	147,5±1,4	37,6±1,2
100	567,4±31,3	150,2±4,5	46,6±0,6	132,3±4,4	146,1±1,6	36,2±3,0
Média	553,6±3,6A	150,7±0,1	49,4±0,6	143,6±2,3	145,6±0,5	36,7±0,2B
	valor <i>p</i>					
<i>p</i> <sub>dose</sub>	0,49	0,42	0,50	0,12	0,52	0,81
<i>p</i> <sub>fonte</sub>	<0,05*	0,93	0,52	0,22	0,63	<0,05*
<i>p</i> <sub>dose*fonte</sub>	0,97	0,55	0,35	0,07	0,18	0,67

As médias foram comparadas pelo teste LSD (fonte) e o teste de Regressão (doses) usando um *p* de 0,05. Diferenças significativas são apresentadas com asterisco e as médias diferentes com letras maiúsculas.

No Local 2, os fertilizantes não influenciaram o tamanho dos grãos, com média de 0,2; 45,15; 44,25; 12,25; 1,8; e 0,5% nas peneiras de *mesh* 18; 16; 15; 14; 13; e fundo, respectivamente (Tabela 4). Para o Local 1, a aplicação do FM afetou a porcentagem de grãos na peneira de 13 *mesh* e ambas as fontes afetaram os resíduos das peneiras, com aumento de porcentagem entre as doses 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Tabela 4).

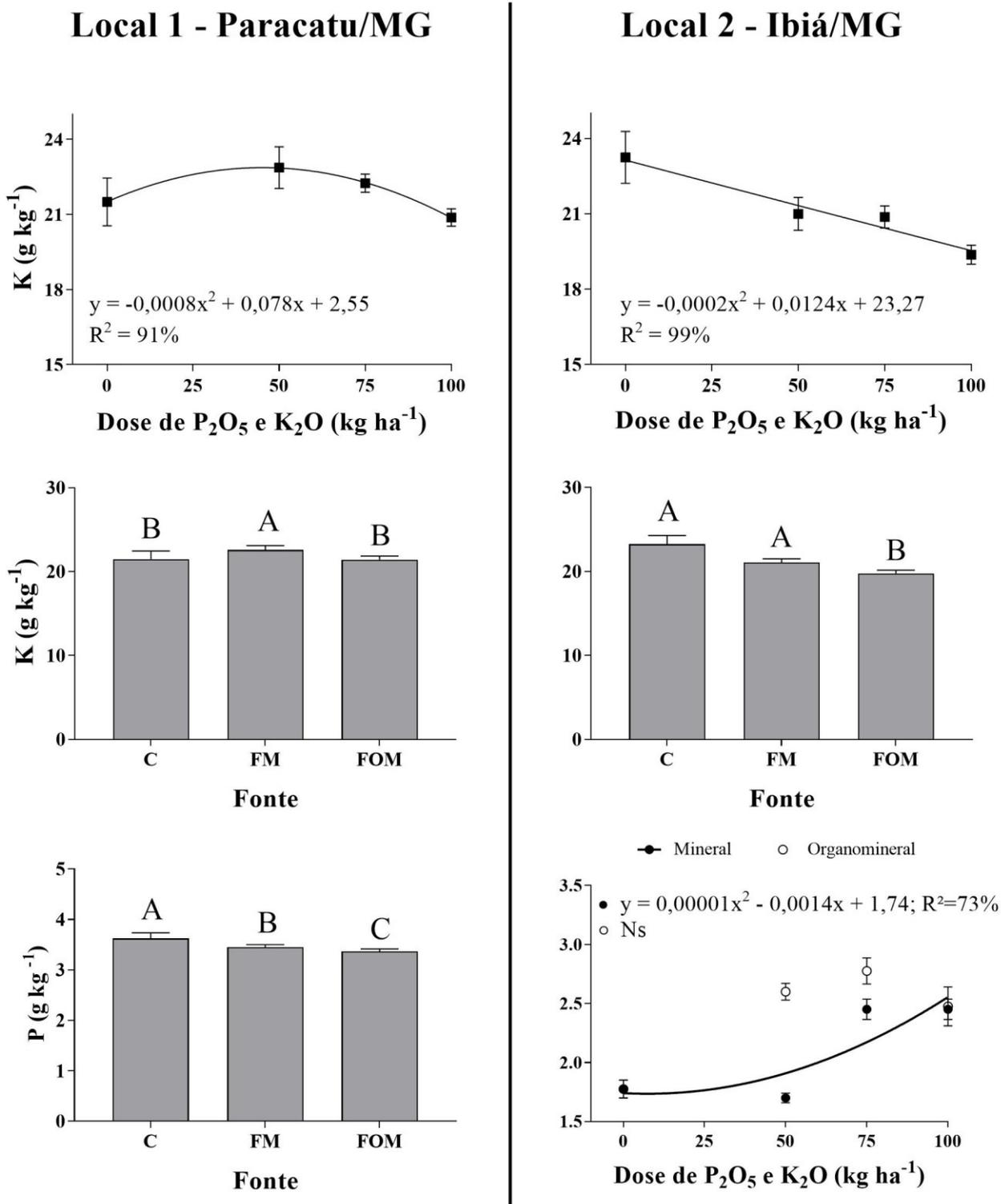
**Tabela 4.** Porcentagem de grãos de soja retidos nas peneiras (18, 16, 15, 14 e 13 *mesh* e fundo) para os tratamentos com fertilizante mineral e organomineral + *Bacillus* (doses: 50; 75; e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O) e controle nos locais 1 (Paracatu/MG) e 2 (Ibiá/MG). Uberlândia-MG, 2022.

(Kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O)	Local 1 – Paracatu/MG						Local 2 – Ibiá/MG					
	18	16	15	14	13	Fundo	18	16	15	14	13	Fundo
	Mineral											
0	0,6	37,3	41,6	17,4	3,8	0,6	0,3	39,4	46,2	15,7	1,4	0,5
50	0,9	48,7	38,3	10,6	1,3	0,2	0,4	47,7	42,1	9,5	1,2	0,2
75	0,9	39,7	39,3	16,0	3,1	0,6	0,2	48,7	43,7	10,2	1,3	1,2
100	0,3	39,2	40,9	15,9	3,0	0,6	0,1	40,0	43,8	17,2	1,0	0,4
Média	0,7	42,5	39,5	14,2	2,5	0,5	0,2	45,5	43,2	12,3	1,2	0,6
	Organomineral + <i>Bacillus</i>											
0	0,6	37,3	41,6	17,4	3,8	0,6	0,3	39,4	46,2	15,7	1,4	0,5
50	0,4	42,9	40,5	13,8	2,5	0,2	0,3	41,9	52,8	13,9	4,4	0,6
75	0,5	43,1	40,2	13,3	2,3	0,4	0,4	47,8	40,3	9,9	1,2	0,3
100	0,8	44,6	38,6	13,7	2,5	0,5	0,1	44,8	42,8	12,7	1,5	0,3
Média	0,6	43,6	39,8	13,6	2,4	0,4	0,2	44,8	45,3	12,2	2,4	0,4
	valor <i>p</i>											
<i>p</i> <sub>dose</sub>	0,84	0,47	0,98	0,24	0,08	<0,05*	0,06	0,29	0,45	0,32	0,30	0,47
<i>p</i> <sub>fonte</sub>	0,60	0,73	0,89	0,68	0,92	0,12	0,83	0,83	0,57	0,97	0,21	0,43
<i>p</i> <sub>dose*fonte</sub>	0,16	0,32	0,61	0,16	<0,05*	0,54	0,22	0,36	0,27	0,41	0,32	0,24

As médias foram comparadas pelo teste LSD (fonte) e o teste de Regressão (doses) usando um *p* de 0,05. Diferenças significativas são apresentadas com asterisco e as médias diferentes com letras maiúsculas.

As doses de fertilizantes aumentaram o teor médio de potássio foliar, seguindo uma resposta quadrática com maior acúmulo nas doses 48 (Local 1;  $R^2 = 91\%$ ) e 31  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (Local 2;  $R^2 = 99\%$ ). Em ambos os locais, o FM apresentou maior acúmulo de K em relação ao FOM (Figura 3).

No Local 1, o acúmulo de fósforo também foi maior com o FM em relação ao FOM, sem diferença significativa entre as doses ( $P > 0,05$ ). Contudo, no Local 2, houve efeito da adubação mineral com maior acúmulo de P na dose de 70  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $R^2: 73\%$ ), e acúmulo superior de P nas doses entre 50 e 75  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  em relação ao FOM (Figura 3).



**Figura 3.** Potássio e fósforo nas folhas (K e P, g kg<sup>-1</sup>) com fertilizantes minerais e organominerais + *Bacillus* (doses: 50; 75; e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O) e testemunha no Local 1 (Paracatu/MG) e Local 2 (Ibiá/MG). Uberlândia-MG, 2022. As médias foram comparadas pelo teste LSD (fontes) e o teste de regressão (doses), utilizando um *p* de 0,05 com resultados significativos representados por letras maiúsculas. Ns: nenhum efeito significativo.

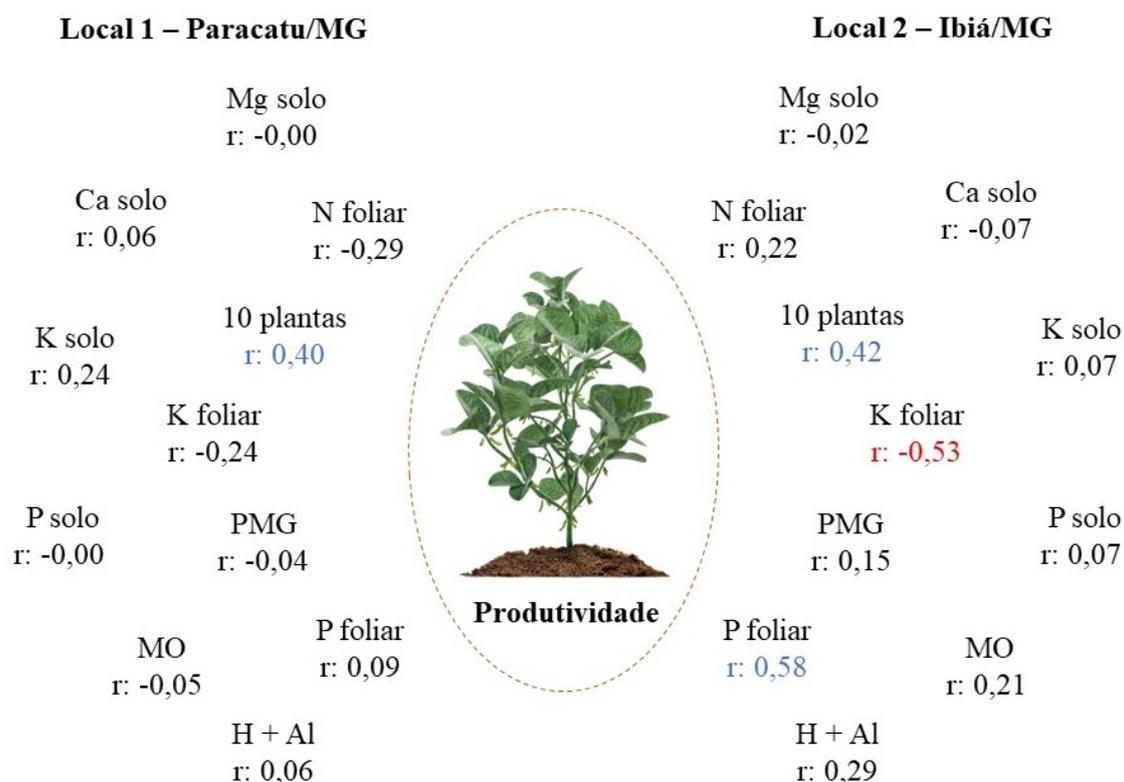
Em ambos os locais, os teores de P, K, Ca e Mg no solo, H<sup>+</sup>Al e pH não foram alterados com a adição de fertilizantes, apresentando média geral de 16,2 mg dm<sup>-3</sup>; 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 2,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e 5,6 (H<sub>2</sub>O), respectivamente (Tabela 5). A alteração isolada foi observada nos teores de K no Local 1, e no estoque de matéria orgânica no Local 2, devido ao efeito superior do FM em relação ao FOM.

**Tabela 5.** Análise de solo após o experimento: pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al) e matéria orgânica (MO) com doses de fertilizantes minerais e organominerais + *Bacillus* e controle no Local 1 (Paracatu/MG) e Local 2 (Ibiá/MG). Uberlândia-MG, 2022.

(Kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O)	Local 1 – Paracatu/MG							Local 2 – Ibiá/MG						
	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K -----	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg -----	H+Al -----	MO dag kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K -----	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg -----	H+Al -----	MO dag kg <sup>-1</sup>
	Mineral													
0	5,9	21,9	0,2	2,5	1,1	2,4	3,2	5,7	7,6	0,2	1,8	0,7	2,9	3,6
50	5,6	16,9	0,4	2,1	0,9	2,6	2,3	5,6	5,0	0,3	1,9	0,7	2,3	5,0
75	5,5	19,8	0,3	2,3	1,0	2,5	1,5	5,5	8,4	0,2	1,6	0,6	2,9	3,4
100	5,8	40,4	0,4	2,9	1,2	2,3	2,0	5,4	9,0	0,2	2,1	0,8	2,9	4,9
Média	5,6	25,7	0,4A	2,5	1,0	2,5	1,9	5,5	7,5	0,2	1,8	0,7	2,7	4,4A
	Organomineral + <i>Bacillus</i>													
0	5,9	21,9	0,2	2,5	1,1	2,4	3,2	5,7	7,6	0,2	1,8	0,7	2,9	3,6
50	5,7	18,6	0,3	2,3	0,9	2,4	1,7	5,5	14,7	0,2	1,7	0,7	3,1	3,6
75	5,7	11,8	0,3	2,3	0,9	2,4	1,7	5,6	19,7	0,3	1,9	0,8	3,0	3,2
100	5,8	22,1	0,2	2,6	1,1	2,3	1,7	5,6	14,1	0,3	2,2	0,8	3,0	3,1
Média	5,8	17,5	0,3B	2,4	1,0	2,4	1,7	5,6	16,2	0,2	1,9	0,8	3,0	3,3B
	valor <i>p</i>													
<i>p</i> <sub>dose</sub>	0,39	0,13	0,80	0,06	0,10	0,45	0,29	0,81	0,81	0,84	0,18	0,10	0,45	0,19
<i>p</i> <sub>fonte</sub>	0,31	0,21	<0,05*	0,77	0,81	0,65	0,23	0,36	0,12	0,90	0,63	0,81	0,65	<0,05*
<i>p</i> <sub>dose*fonte</sub>	0,90	0,46	0,57	0,43	0,91	0,80	0,31	0,43	0,88	0,13	0,55	0,91	0,80	0,32

As médias foram comparadas pelo teste LSD (fonte) e o teste de Regressão (doses) usando um *p* de 0,05. Diferenças significativas são apresentadas com asterisco e as médias diferentes com letras maiúsculas.

A produtividade da soja foi correlacionada com o peso de grãos em 10 plantas com  $r$  de 0,40 (Local 1) e 0,42 (Local 2). No Local 2, encontramos uma correlação entre os nutrientes nas folhas e a produtividade, sendo uma correlação positiva com P foliar ( $r = 0,58$ ) e correlação negativa com K foliar ( $r = -0,53$ ), Figura 5.



**Figura 4.** Correlação da produtividade da soja com peso de grãos em 10 plantas, peso de mil grãos (PMG), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio nas folhas (K) e fósforo, potássio, cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al) e matéria orgânica (MO) no solo. No lado esquerdo estão apresentadas as variáveis para o Local 1 – Paracatu/MG e no lado direito para o Local 2 – Ibiá/MG. As variáveis foram correlacionadas pela correlação de Pearson ( $P < 0,05$ ), e as correlações positivas e negativas foram demonstradas pelos valores de correlação azul e vermelho. Uberlândia-MG, 2022.

## 4 DISCUSSÃO

O uso de fertilizantes organominerais inoculados com microrganismos na cultura da soja apresentou resultados semelhantes ou superiores ao uso de fertilizantes minerais isolados, principalmente quando aplicado em doses mais baixas, o que torna esse composto uma potencial alternativa de fornecimento total ou parcial de nutrientes, mesmo em culturas de ciclo anual.

Os ganhos em variáveis de produtividade têm se justificado especialmente pelos benefícios da matéria orgânica sobre o solo e pelo efeito de proteção da fonte mineral do fertilizante (KOMINKO et al., 2017; SMITH et al., 2020; BOUHIA et al., 2022). Tendo observado efeito significativo de doses de FOM sobre a produtividade e a massa de 100 grãos na cultura da soja, Costa et al. (2018) apontam que possivelmente a presença de matéria orgânica na composição do FOM permitiu que os nutrientes fossem disponibilizados de maneira contínua e regular durante todo o período do ciclo da cultura, favorecendo ao melhor aproveitamento dos nutrientes.

Numa análise aprofundada, a identificação de alterações favoráveis em parâmetros de produtividade atribuídos aos FOMs, têm sustentação não apenas na simples adição de matéria orgânica ao sistema, mas na ampla melhoria no ambiente da rizosfera (MANDAL et al., 2007; KOMINKO et al., 2017; SMITH et al., 2020). Mesmo por que, a elevação no teor de matéria orgânica com a aplicação de FOMs tende a ocorrer apenas ao longo dos anos, com sucessivas adubações, desde que acompanhadas do uso de outras técnicas conservacionistas (MANDAL et al., 2007; AYENI et al., 2012). Esse fato se torna evidente quando observamos as análises de solo realizadas após o experimento e verificamos que não houve acréscimo de matéria orgânica com a aplicação do FOM.

Ribeiro et al. (2020) relatam que a aplicação de FOM em soja resultou em diferenças significativas não apenas em produtividade de grãos, mas também em parâmetros vegetativos como área foliar, número de folhas e produção de matéria seca na parte aérea. Além disso, novas pesquisas têm apontado para diferenças significativas em padrões enzimáticos em tecidos de plantas atribuídos aos FOMs (MANDAL et al., 2007; SILVA et al., 2020). Silva et al. (2020) descrevem mudanças quantitativas na atividade das enzimas peroxidase, catalase e urease, assim como na peroxidação lipídica nos tecidos da planta. Estas descobertas tornam possível a investigação a nível bioquímico dos efeitos dos FOMs sobre a fisiologia das plantas.

Os diversos fatores bióticos e abióticos que interferem na produtividade da cultura da soja pode atuar sobre dois parâmetros principais: tamanho do grão e/ou número de grãos por planta (COSTA, 2017). No presente trabalho, a maior produtividade encontrada no Local 1 (Paracatu/MG) para as plantas fertilizadas com FOM se deve a um aumento no número de grãos por planta e não ao aumento do peso dos grãos, visto que o PMG não diferiu entre os tratamentos. Essa constatação é evidenciada também pela correlação positiva entre o peso de grãos de 10 plantas e a produtividade nesse local, assim como pelo teste de retenção nas peneiras.

Os FOMs são utilizados mais largamente em culturas perenes, sendo apenas uma pequena porção aplicada para culturas anuais, isso devido à liberação mais lenta e gradual dos nutrientes que estão protegidos pela matéria orgânica (MAKINDE et al., 2011; SMITH et al., 2020). Apesar do FOM, quando aplicado em algumas doses, não apresentar resultados superiores ao do FM isolado, como observado no presente experimento e em outros estudos (CABRAL et al., 2020; FONSECA & SILVESTRINI 2021; GUESSER et al., 2021), os ganhos em produtividade se equivalem, indicando o uso do FOM como um substituto do FM, mesmo para culturas de ciclo curto.

Além disso, os resultados aqui encontrados corroboram com outros estudos que demonstraram que o uso do FOM é mais efetivo que o FM quando aplicado em doses mais baixas. Souza et al. (2019) encontraram resultados equivalentes em produtividade na soja para doses de 200 kg/ha de FOM e 400 kg/ha de FM. Teixeira et al. (2014), avaliando a cultura da cana-de-açúcar, constataram que, com o uso de FOM, as doses aplicadas podem ser reduzidas em 18,8%. Essa redução na dose dos nutrientes contribui para a otimização desse recurso e torna a prática agrícola mais sustentável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Além da adição de nutrientes, os FOMs são inoculados com microrganismos benéficos para a rizosfera e para as plantas, contribuindo assim para o bom desempenho da cultura mesmo nas aplicações com doses mais baixas do insumo. Vários estudos têm demonstrado os benefícios da aplicação de bactérias do gênero *Bacillus* em diversas culturas, como soja, trigo, milho, feijão, tomate e batata (RADHAKRISHNAN et al., 2017; MILJAKOVIĆ et al., 2020). Jain et al. (2017) observaram que essas bactérias favoreceram o crescimento e a proteção contra *Rhizoctonia solani* e *Fusarium oxysporum* em plantas de soja inoculadas. Esses benefícios podem ter colaborado para os melhores resultados do FOM em relação ao FM.

Quando observamos os resultados de produtividade para os dois locais de estudo, constatamos diferentes respostas da cultura, independente dos tratamentos aplicados. O Local 1, como anteriormente descrito, dispunha de irrigação, o que, provavelmente, levou a um incremento de produtividade devido à redução do estresse hídrico. Para além disso, devemos considerar que os fatores ambientais e genéticos também podem ter interferido na heterogeneidade de respostas, o que ressalta a necessidade de se avaliar cada local distintamente e de se replicar esse tipo de experimento em locais diferentes, buscando compreender as particularidades de cada área.

Os teores de nutrientes foliares são um indicativo da disponibilidade de nutrientes no solo e do equilíbrio nutricional das plantas (MAO et al., 2020). Para soja, a absorção de nutrientes é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais (VELOSO et al., 2007). De acordo com Oliveira (2007), a etapa de maior exigência nutricional inicia-se por volta dos 30 dias e se mantém elevada até o início do enchimento dos grãos, quando a fixação de nitrogênio (N) e a atividade fotossintética são elevadas e produzem um desenvolvimento mais acelerado. Em razão desse curto período em que ocorre a absorção dos nutrientes, a adição do FM promoveu uma maior acumulação de N, P e K nas folhas o que pode estar associado à rápida liberação desse fertilizante em relação ao organomineral.

Apesar da liberação de nutrientes ser mais lenta para o FOM, ela é mais gradual e se mantém contínua ao longo do tempo, gerando um maior efeito residual e benefícios para o solo e para as culturas subsequentes (MAKINDE et al., 2011; OLANIYI & OJETAYO, 2011; OJO et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2020). As análises de solo não indicaram grandes mudanças na composição dos solos após a aplicação das doses de fertilizantes, podendo esse ser um efeito do curto período avaliado ou mesmo do histórico de cultivo das áreas.

Indo além dos resultados agronômicos, que demonstram a eficiência dos FOM em fornecer nutrientes para as plantas, não devemos negligenciar a questão da sustentabilidade, já que a aproveitamento de resíduos e subprodutos, per se, promove grandes ganhos para o meio ambiente por reduzir passivos ambientais inerentes das atividades antrópicas.

## 5 CONCLUSÃO

Os fertilizantes organominerais demonstram ter potencial de serem utilizados para o fornecimento total ou parcial de nutrientes em substituição a fertilização mineral, pois proporcionaram resultados similares ou superiores de produtividade na cultura da soja. Para a cidade de Paracatu, a produtividade entre as fontes diferiu apenas na dose de 75 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 31,6% maior com o uso de FOM, em relação ao FM. Para Ibiá, o FOM foi superior nas doses de 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>, porém apresentou uma produtividade menor na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>. A maior produtividade em Paracatu, com a aplicação de FOM, se deu pelo aumento do número de grãos por planta.

Quanto às análises foliares, houve diferença significativa para os parâmetros N, P e K foliar, em Ibiá, sendo maior com a aplicação de fertilizante mineral. As análises de solo mostraram que houve pouca alteração da fertilidade do solo com a aplicação dos fertilizantes.

A possibilidade de aplicação em doses mais baixas, a redução da perda dos nutrientes e a utilização de resíduos potencialmente poluidores fazem com que o uso de fertilizantes organominerais seja uma promissora solução na busca por uma agricultura mais sustentável econômica e ambientalmente.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; NETTO, A. M. L.; LIMA, L. I. O.; PINTO, L. S.; SILVA, R. F.; VERONEZ, R. V. S.; PIRES, D. E.; ALVES, R. P.; DUTRA, J. M.; SANTOS, L. J. S. Utilização de adubação organomineral na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 73971-73988, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-531>
- ANDERSON, C. R.; HAMONTS, K.; CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M.; FIERS, M.; STEWART, A.; HILL, R. A.; SHERLOCK, R. R. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. **Pedobiologia**, Amsterdam, v. 54, n. 56, p. 309-320, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005>
- ARAUJO, F. F.; HENNING, A. A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 21, n. 8, p. 1639-1645, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-005-3621-x>. Acesso: 29 jul. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-3621-x>
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, Amsterdam - NL, v. 337, n. 1, p. 1-8, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>

- AYENI, L. S.; ADELEYE, E. O.; ADEJUMO, J. O. Comparative effect of organic, organomineral and mineral fertilizers on soil properties, nutrient uptake, growth and yield of maize (*Zea mays*). **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 2, n. 11, p. 493–497, 2012. doi:10.13140/RG.2.2.15371.18721
- BISSANI, C. A.; TEDESCO, M.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S.; GIANELLO, C. CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. **Porto Alegre: Editora Metrópole**, 2008.
- BOUHIA, Y.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; BOUKHARI, M. E. M. E.; MPHATSO, C.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. **Reviews in Environmental Science and BioTechnology**, v. 21, p. 425-446, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395 p.
- CABRAL, F. L.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, L. N. S. dos; PAIXÃO, C. F. C. das; VIDAL, V. M.; BASTOS, A. V. S. Avaliação da fertilização mineral e organomineral na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e614995402-e614995402, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5402>>. Acesso: 30 jul. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.5402>
- CARMELLO, Q. A. de C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Piracicaba: ESALQ**, 2006. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-solos01.pdf>>. Acesso: 29 jul. 2021.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª. Editores. – Viçosa, MG, 1999. p. 359.
- CHEN, Y.; CHEN, Y. X.; HUANG, X.; HU, B.; SHI, D. Z.; WU, W. X. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, **Elsevier**, Amsterdam - HL, v. 78, n. 9, p. 1177 – 1181, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.029>
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2021/22, v. 9, n. 10, 10º levantamento, jul. 2021. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36194\\_8144bfc95d544b42d23\\_ab308b7016813](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36194_8144bfc95d544b42d23_ab308b7016813). Acesso em: 17 jul. 2022.
- COSTA, F. de K. D.; MENEZES, J. F. S.; ALMEIDA-JUNIOR, J. J.; SIMON, G. A.; MIRANDA, B. C.; LIMA, A. M. de; LIMA, M. S. de. Desempenho agrônômico da soja convencional cultivada com fertilizantes organomineral e mineral. **Nucleus**, v. 15, n. 2. p. 301-309, 2018. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2902>
- COSTA, F. K. D. Desempenho agrônômico da soja convencional cultivada com fertilizantes organomineral e mineral. Dissertação, Magister Scientiae, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, Goiás. 24 p. 2017.
- CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, 5398, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009.U628p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos, editor. 3ª. Rio de Janeiro; 2013.
- FONSECA, G.; SILVESTRINI, L. E. G. Efeitos de adubações mineral e organomineral na cultura da soja. Trabalho de Conclusão de Curso. UNICESUMAR, Maringá, PR. 15 p. 2021.
- GONÇALVES, C. A.; CAMARGO, R. de; SOUSA, R. T. X. de; SOARES, N. S.; OLIVEIRA, R. C. de; STANGER, M. C.; LANA, R. M. Q.; LEMES, E. M. Chemical and technological attributes of sugarcane as functions of organomineral fertilizer based on filter cake or sewage sludge as organic matter sources. **PLoS ONE**, v. 16, n.12, e0236852. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236852>
- GUESSER, V. P.; MISSIO, E.; RUSSINI, A.; PINHO, P. J. de. Adubação organomineral e mineral e resposta da soja em terras baixas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 2376-2390, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-162>
- HOFFMANN, I.; GERLING, D.; KYIOGWOM, U. B.; MANÉ-BIELFELDT, A. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 86, n. 3, p. 263-275, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880900002887>>. Acesso: 29 jul. 2021. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00288-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00288-7)
- JAIN, S.; VAISHNAV, A.; KUMARI, S.; VARMA, T.; TUTEJA, N.; KUMAR-CHOUDHARY, D. Chitinolytic *Bacillus*-mediated induction of jasmonic acid and defense-related proteins in soybean (*Glycine max* L. Merrill) plant against *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 36, p. 200–214, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9630-1>
- JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VELDE, M. V. D.; BASTOS, A. C. Quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **Elsevier**, Amsterdam - HL, v. 144, n. 1, p. 175 – 187, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>
- KHAN, S.; ZAFFAR, H.; IRSHAD, U.; AHMAD, R.; KHAN, A. R.; SHAH, M. M.; BILAL, M.; IQBAL, M.; TATHEER, N. Biodegradation of malathion by *Bacillus licheniformis* strain ML-1. **Archives of Biological Sciences**, v. 68, n. 1, p. 51-59, 2016. <https://doi.org/10.2298/ABS141218007K>
- KLOEPPER, J. W.; RODRIGUEZ-UBANA, R.; ZEHNDER, G. W.; MURPHY, J. F.; SIKORA, E.; FERNÁNDEZ, C. Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. **Australasian Plant Pathology**, v. 28, n. 1, p. 21-26, 1999. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1071/AP99003>>. Acesso: 29 jul. 2021. <https://doi.org/10.1071/AP99003>
- KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, K. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. **Waste Biomass Valorization**, v. 8, n. 5, p. 1781–1791, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9805-9-9>
- LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações**. 1ª ed., Rima: São Carlos, 2005.
- LEVRERO, C. R. Fertilizante organomineral: a serviço do mundo. Fórum Abisolo, 2009.

- MAKINDE, E. A.; AYENI, L. S.; OJENIYI, S. O. Effects of organic, organomineral and NPK fertilizer treatments on the nutrient uptake of *Amaranthus cruentus* (L.) on two soil types in Lagos, Nigeria. **Journal of Central European Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 114–123, 2011. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/12.1.887>
- MANDAL, A.; PATRA, A. K.; SINGH, D.; SWARUP, A.; EBHIN-MASTO, R. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 18, p. 3585–3592, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.027>
- MAO, J.; MAO, Q.; ZHENG, M.; MO, J. Responses of foliar nutrient status and stoichiometry to nitrogen addition in different ecosystems: A meta-analysis. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, e2019JG005347, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019JG005347>
- MIGUEL, P. S. B.; DELVAUX, J. C.; OLIVEIRA, M. N. V. de; CAMARGO, R. de; FRANCO, M. H. R.; SOBREIRA, H. de A.; SOARES, D. F.; JARDIM, V. H. P. Bactérias endofíticas: colonização, benefícios e identificação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 8777-8791, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-595>
- MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. **Microorganisms**, v. 8, 1037, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S. C. L.; MARTINS, E. S.; QUEIROZ, P. R.; SILVA, E. Y. Y. da; GARCIA, A. R. M.; CASTRO, M. T. de; ROCHA, G. T.; FERREIRA, A. D. C. de L.; GOMES, A. C. M. M. Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Documentos (INFOTECA-E)**, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1122563>>. Acesso: 29 jul. 2021.
- OJO, J. A.; OLOWOAKE, A. A.; OBEMBE, A. Efficacy of organomineral fertilizer and unamended compost on the growth and yield of watermelon (*Citrullus lanatus* Thumb) in Ilorin Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 121–125, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0073-z>
- OLANIYI, J. O.; OJETAYO, A. E. Effect of fertilizer types on the growth and yield of two cabbage varieties. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 12, p. 1573–1582, 2011.
- OLIVEIRA, A. P.; BARBOSA, A. H. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. N. P. Produção da batata-doce adubada com esterco bovino e biofertilizantes. **Ciência Agrotécnica**, 31:1722-1728, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600018>
- RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in Physiology**, v.8, 667, 2017. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00667>
- RIBEIRO, M. E. G.; PEREIRA, C. S.; FIORINI, I. V. A.; RESENDE, F. R.; SILVA, A. A.; PEREIRA, H. D. Doses of organomineral fertilizer in soybean. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 6, p. 31–35, 2020. <https://doi.org/10.36560/13620201072>

- ROSA, T. E. A.; SOUZA, J. C. de; PEREIRA, W. J.; MOREIRA, J. A. de A.; ARAÚJO, F. G. de. Nematicidas biológicos associados a cama de frango no controle de nematoides na soja e milho. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 580-589, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/9380>>. Acesso: 30 jul. 2021. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n309rc>
- SILVA, L. G.; CAMARGO, R. de; LANA, R. M. Q.; DELVAUX, J. C.; FAGAN, E. B.; MACHADO, V. J. Biochemical changes and development of soybean with use of pelletized organomineral fertilizer containing sewage sludge and filter cake. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, e44249, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.44249>
- SMITH, W. B.; WILSON, M.; PAGLIARI, P. Organomineral fertilizers and their application to field crops. **Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns and Management**, v. 67, 2020. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c18>
- SOUZA, R. T. X.; HENRIQUE, B. C. M.; HENRIQUE, C. M.; HENRIQUE, H. M. Uso de fertilizante organomineral de liberação gradual de nutrientes na cultura de soja. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 21-24 jul. 2019. <https://doi.org/10.5151/cobecic2019-FTSP36>
- TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.
- VELOSO, C. A. C.; EL-HUSNY, J. C.; CORRÊA, J. R. V.; CARVALHO, E. J. M.; SOUZA, F. R. S. DE; MARTINEZ, G. B., RODRIGUES, A. L. N.; Adubação fosfatada e potássica na cultura da soja em latossolo amarelo do Estado do Para. XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Gramado RS, 2007.