

Passo Fundo, RS / Setembro, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



## Eficiência de uso de fertilizantes organominerais de matriz orgânica de linhito em solos do Rio Grande do Sul

Fabiano Daniel De Bona<sup>(1)</sup> e José Pereira da Silva Júnior<sup>(1)</sup><sup>(1)</sup> Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

**Resumo** – A dependência da agricultura brasileira em fertilizantes importados reforça a necessidade de pesquisas por novas fontes de nutrientes nacionais para uso em sistemas de produção agrícola. Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de uso pelas plantas, o efeito de ação residual e o valor agronômico de fertilizantes organominerais de matriz orgânica composta por linhito em condições de ambiente controlado e em campo. O trabalho contemplou dois experimentos: a) um composto por quatro solos com diferentes teores de argila e conduzido em casa de vegetação durante quatro ciclos de cultivos de sucessão soja/trigo; e b) outro, sob condições de campo, em Passo Fundo, RS, durante seis ciclos de cultivos envolvendo soja, trigo, milho e aveia-branca. Nesses estudos, foram comparados os efeitos das fontes de nutrientes fósforo (P) e potássio (K) mineral e organomineral na produtividade das plantas e na disponibilidade desses elementos no solo. Nos ensaios em condições controladas, embora o fertilizante organomineral não tenha sido mais eficiente do que o fertilizante mineral em termos de produção de trigo ou soja, o mesmo mostrou-se uma fonte adequada de nutrientes às plantas em todos os solos estudados, independentemente do teor de argila dos mesmos. Nas condições de solo (Latosolo) e clima (subtropical) do ensaio em campo, o fertilizante organomineral de matriz orgânica de linhito demonstrou valor agronômico similar ao fertilizante mineral, assegurando altas produtividades das culturas envolvidas e incrementando a fertilidade do solo em termos de P e K disponível.

**Termos para indexação:** adubação, culturas agrícolas anuais, fertilidade do solo, fósforo, potássio.

## Use Efficiency of Organomineral Fertilizers with Lignite in Soils of Rio Grande do Sul

**Abstract** – The dependence of Brazilian agriculture on imported fertilizers reinforces the importance of researches focused on looking for new national nutrients sources to be used in agricultural production systems. In this context, the present study aimed to evaluate the use efficiency by plants, the residual effect in soil and the agronomic value of organomineral fertilizers using lignite as organic matrix, under controlled environmental and field

**Embrapa Trigo**  
Rodovia BR-285, km 294  
Caixa Postal 78  
99022-100 Passo Fundo, RS  
www.embrapa.br/trigo  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Leila Maria Costamilan*

Secretária

*Marialba Osorski dos Santos*

Membros

*Alberto Luiz Marsaro Júnior,  
Eliana Maria Guarienti, João  
Leodato Nunes Maciel, João  
Leonardo Fernandes Pires,  
Joaquim Soares Sobrinho, Jorge  
Alberto de Gouvêa, Martha  
Zavariz de Miranda e Sirio  
Wiethölter*

Normalização bibliográfica

*Graciela Olivella Oliveira  
(CRB-10/1434)*

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Márcia Barrocas Moreira Pimentel*

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

conditions. The research included two experiments: a) one composed by four soils with contrasting clay content under greenhouse environment during four cropping cycles of soy/wheat; and b) other, under field conditions, at Passo Fundo, RS, during six crop sequences involving soybean/wheat/corn/oat plants. In these studies, we compare the effects of mineral and organomineral nutrient sources of phosphorus (P) and potassium (K) on plant productivity and the availability of these elements in the soil. In assessments under controlled conditions, although organomineral fertilizer was not more efficient than mineral fertilizer in terms of wheat and soybean production, it should be noted that it proved to be an adequate source of nutrients in all soils studied, regardless of their clay content. Under the soil (Oxisol) and climate (subtropical) conditions of the field trial, the organic-based organomineral fertilizer lignite demonstrated agronomic value similar to mineral fertilizer, ensuring high productivity of crops and increasing soil fertility in terms of available P and K.

**Index terms:** soil fertilization, annual grain crops, soil fertility, phosphorus, potassium.

## Introdução

A pandemia da COVID-19 e a instabilidade geopolítica decorrente da guerra na Ucrânia, no início da década de 2020, demonstraram a dinâmica dos cenários do comércio internacional, com reflexos nos preços e fluxos de suprimentos em cadeias de produção interconectadas em escala global. No caso específico dos fertilizantes, a grande dependência externa da agricultura do Brasil no suprimento de fósforo (P) e de potássio (K) (Silva Neta, 2020) revelou-se um elo muito fraco da cadeia de produção agrícola. A busca por fontes locais de suprimento ou por países fornecedores mais estáveis são alternativas de garantia de fornecimento de nutrientes para a agricultura brasileira. Além disso, o alto custo dos fertilizantes e sua participação em até 40% dos custos variáveis de produção do produto agrícola brasileiro (Conab, 2024a) implica a necessidade premente de melhoria da eficiência de uso de nutrientes nos sistemas de produção.

O novo Plano Nacional de Fertilizantes (Brasil, 2022) tem se destacado como política pública que visa fomentar a indústria brasileira de fertilizantes e, por consequência, a pesquisa por fontes de nutrientes nacionais para as culturas agrícolas. A ampliação da oferta de fertilizantes nacionais pode se dar

pela descoberta e exploração de novas jazidas de nutrientes minerais em solo brasileiro e/ou também pelo reuso e aproveitamento de nutrientes presentes em resíduos orgânicos de origem rural ou urbana, cujos podem ser processados pela indústria e disponibilizados à agricultura como fertilizante orgânico ou organomineral.

Os fertilizantes organominerais são, basicamente, a mistura de nutrientes de plantas, de natureza química, com alguma matriz orgânica natural (Kiehl, 2008; Brasil, 2017; Bouhia et al., 2022). Esses fertilizantes são considerados uma tecnologia antiga, que sempre foi relegada a um segundo plano em detrimento de fertilizantes puramente minerais, no mundo do agronegócio brasileiro. O atual incentivo a sua fabricação e emprego amplo na agricultura (Sakrabani, 2024) envolve questões desde o preconizado aumento de eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas até o aproveitamento de materiais orgânicos que constituem um passivo ambiental em muitas regiões do País (dejetos de animais, cama de aviário, resíduos de mineração, etc.) (Borges et al., 2019; Brasil, 2022).

A natureza e as características físico-químicas da matriz orgânica, associadas a concentração de nutrientes minerais, definem a qualidade e o valor agrônomico do fertilizante organomineral. O material orgânico geralmente é provido de cargas elétricas [capacidade de troca de cátions (CTC) e capacidade de troca de ânions (CTA)], higroscopicidade, nutrientes, carbono, substâncias húmicas, entre outros (Kiehl, 2008). Essas características são incorporadas ao fertilizante organomineral e conferem diferentes propriedades de interação com os tipos de solo e de plantas crescidas no ambiente agrícola (Hue, 1991; Grohskopf et al., 2019). Portanto, a garantia de eficiência como fonte de nutrientes e o valor agrônomico do fertilizante organomineral dependem de pesquisas sob condição de campo.

Nesse contexto, por meio do presente estudo, objetivou-se avaliar a eficiência de uso pelas plantas, o efeito de ação residual e o valor agrônomico de fertilizantes organominerais de matriz orgânica composta por linhito, em condições de ambiente controlado e de campo. O linhito é um tipo de carvão fóssil, constituindo-se em um estágio intermediário entre a turfa e o carvão betuminoso, de formação atribuída à era Terciária, rico em detritos vegetais, de cor preta ou marrom-escura, com alto teor de água e matérias voláteis. Esse material possui de 67 a 78% de carbono (C) em sua composição química (Brasil, 2024) e é considerado uma forma menor de carvão devido ao seu baixo poder calorífico

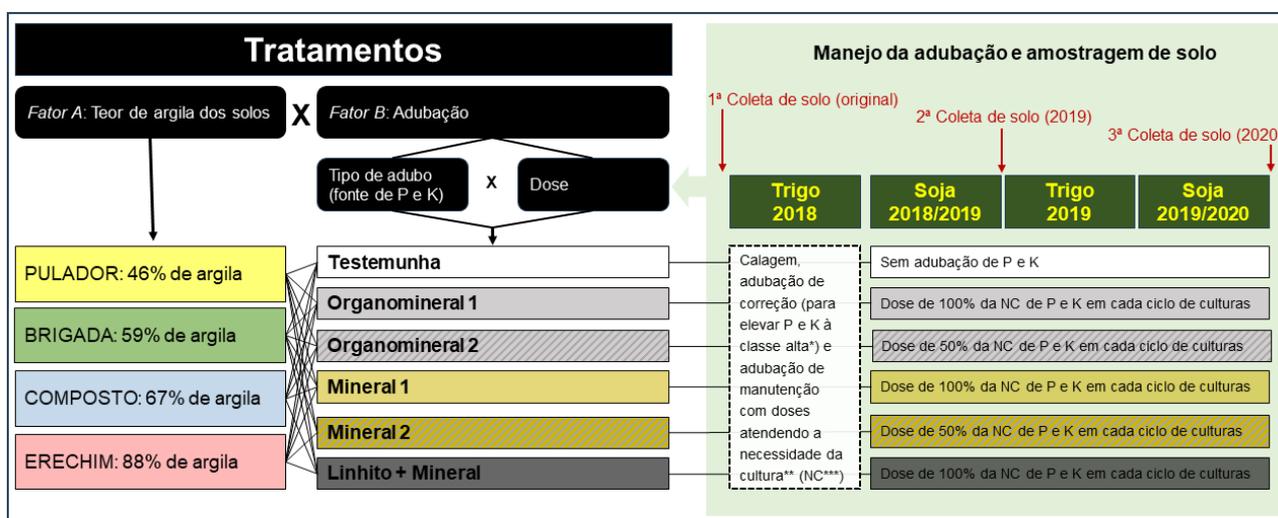
(4.000 kcal). Geralmente o linhito é abundante como resíduo em minas de exploração de carvão mineral. Em termos de nutrientes constitutivos da sua estrutura química, o linhito possui apenas traços ou percentuais baixos de enxofre (S) e teores desprezíveis dos macronutrientes primários nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

A partir da geração de informações para melhoria da eficiência de uso de fertilizantes em sistemas de produção de grãos, o estudo contribui na Agenda 2030 para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável).

## Material e métodos

### Ensaios em casa de vegetação

O experimento foi realizado nas dependências da Embrapa Trigo em Passo Fundo, RS, em casa de vegetação, utilizando-se vasos de plásticos com capacidade de 20 L preenchidos com solo. Os tratamentos experimentais foram compostos por dois fatores: fator A - solos com distintos teores de argila, e fator B – doses e tipos de fertilizantes (organominerais e minerais; fontes de P e K). Os tratamentos foram obtidos combinando-se os tipos de solos com os fertilizantes e as suas quantidades aplicadas às culturas agrícolas (Figura 1).



\*Classificação segundo o Manual... (2016).

\*\*Tratamento Testemunha recebeu baixa dose de adição de fertilizantes (adubação de correção) via adubação mineral, na instalação do experimento.

\*\*\*NC: necessidade da cultura, ou seja, a dose recomendada de adubação de manutenção da cultura de acordo com o Manual... (2016) para os tratamentos Organomineral 1, Organomineral 2, Mineral 1, Mineral 2 e Linhito + Mineral.

**Figura 1.** Detalhamento esquemático dos tratamentos, sequência de cultivos e épocas de amostragem de solo do experimento com vasos contendo solos distintos em casa de vegetação.

Os solos foram coletados nas camadas de 0-20 cm de áreas agrícolas, campo nativo e matas localizados nas áreas rurais dos municípios de Passo Fundo e de Erechim no RS. Embora com teores de argila distintos na camada superficial, todos os solos coletados eram pertencentes à classe dos Latossolos (Santos et al., 2018). Após a coleta inicial, os solos foram secos ao ar, destorroados, peneirados e encaminhados para caracterização química (Tabela 1) e física no Laboratório de Solos da Embrapa Trigo. Os solos secos foram corrigidos quanto à acidez, aplicando-se calcário dolomítico, visando a elevar o pH dos mesmos a 6,0 (Manual..., 2016) e também a aumentar os teores de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) disponíveis. A adubação de correção de P foi realizada para elevar os teores

disponíveis do elemento nos solos até o nível alto (Manual..., 2016) nos tratamentos Mineral 1, Mineral 2, Organomineral 1 e Organomineral 2 e Linhito + Mineral, o que demandou a aplicação de 160 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por meio dos fertilizantes superfosfato simples e organomineral de matriz orgânica de linhito (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 4-12-12).

O tratamento Testemunha recebeu uma única adubação de P [parte da dose recomendada de P para a adubação de correção (Manual..., 2016)], 45 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na instalação do experimento (Figura 1), por meio da fonte superfosfato simples, objetivando-se fornecer condições mínimas de crescimento e desenvolvimento às plantas em termos de nutrição com fósforo.

**Tabela 1.** Características químicas dos solos antes da instalação do experimento em casa de vegetação (solo representativo da camada 0-20 cm do perfil).

Sítio de coleta	Características químicas do solo							
	pH	SMP <sup>(1)</sup>	Al	Ca	Mg	P	K	MO
			----- mmolc/dm <sup>3</sup> -----	mmolc/dm <sup>3</sup>	mmolc/dm <sup>3</sup>	----- mg/dm <sup>3</sup> -----	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>
Pulador (46% de argila)	4,8	5,3	29,9	10,4 B	8,0 M	2,4 MB	24 MB	18 MB
Brigada (59% de argila)	6,7	6,7	0	54,9 A	37,0 A	2,7 MB	20 MB	24 MB
Composto (67% de argila)	5,0	5,2	34,2	7,0 B	4,9 B	2,4 MB	25 MB	16 MB
Erechim (88% de argila)	5,3	5,2	38,5	3,7 B	1,8 B	2,5 MB	26 MB	14 MB

As letras junto aos valores dos diferentes atributos ou elementos químicos indicam a classificação da concentração do(s) mesmo(s) segundo o Manual... (2016): MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; e A = alto.

<sup>(1)</sup> Índice SMP, ou método pH-SMP, é uma técnica de análise e correção da acidez do solo, baseada no poder tampão do solo. O nome SMP é uma referência aos criadores do método: Shoemaker, McLean e Pratt.

Os fertilizantes cloreto de potássio, ureia e gesso agrícola foram utilizados em doses distintas, de acordo com o tratamento de fertilizantes, para balancear os teores dos nutrientes N, K e S durante a semeadura da primeira cultura (trigo 2018) da sequência de cultivos: a) potássio: 160 kg/ha de K<sub>2</sub>O para os tratamentos Mineral 1, Mineral 2, Organomineral 1, Organomineral 2 e Linhito + Mineral [dose recomendada como adubação de correção para se elevar o teor de potássio do solo ao nível alto do Manual... (2016)], e apenas 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O para o tratamento Testemunha [parte da dose recomendada de K para a adubação de correção (Manual..., 2016) - critério análogo utilizado para o fornecimento mínimo de P a esse tratamento]; b) nitrogênio: 53 kg/ha de nitrogênio; e c) enxofre: 89 kg/ha de enxofre.

A dose de linhito aplicada no tratamento Linhito+Mineral equivaleu ao montante da matriz orgânica fornecido nas doses aplicadas via tratamentos Organomineral 1 e Organomineral 2.

Doses de manutenção de fertilizantes com micronutrientes (sulfato de cobre, cloreto de manganês, molibdato de sódio, sulfato de zinco e ácido bórico) foram adicionadas aos solos para garantir que não haveria limitações ao crescimento das plantas ocasionadas por eventuais baixas disponibilidades desses nutrientes no solo.

A aplicação dos corretivos, fertilizantes e linhito foi realizada por meio da mistura dos mesmos ao solo seco com o auxílio de uma betoneira. Após a mistura homogênea de solo com o corretivo, fertilizantes e/ou linhito, procedeu-se ao preenchimento dos vasos de plástico (unidade experimental). Cada vaso, com dimensão de 40 cm de altura e 30 cm de diâmetro, foi preenchido com 22 kg de solo corrigido e adubado.

Complementando a adubação de correção (Manual..., 2016) dos solos realizada conforme descrito anteriormente, realizou-se a adubação de manutenção (Manual..., 2016) com 100% da dose recomendada de P e K (necessidade da cultura – NC) para a primeira cultura agrícola que foi semeada nos vasos em junho de 2018 (trigo). Portanto, os tratamentos Mineral 1 e Mineral 2 e Organomineral 1 e Organomineral 2 não diferiram entre si no quesito quantidade de P e K aplicados no trigo safra 2018. Porém, a partir do segundo cultivo de plantas nos vasos (soja safra 2018/2019), os tratamentos Mineral 2 e Organomineral 2 foram adubados com a metade das doses de fertilizantes [50% da dose recomendada de adubação de manutenção (50% da NC) de P e K para a cultura (Manual..., 2016)], que foi aplicada nos tratamentos Mineral 1 e Organomineral 1, respectivamente. O intuito dos tratamentos Mineral 2 e Organomineral 2 foi avaliar o efeito da redução da dose dos nutrientes P e K e, indiretamente, avaliar o efeito residual dos tipos e doses de fertilizantes na produção das plantas crescidas em solos com diferentes teores de argila.

Destaca-se que o tratamento Testemunha foi conduzido sem adubação de manutenção para todas as culturas agrícolas que compuseram o experimento. Já o tratamento Linhito + Mineral recebeu 100% da dose de adubação de manutenção das culturas (100% da NC).

A sequência de cultivos nos vasos foi a seguinte: trigo (2018), soja (2018/2019), trigo (2019) e soja (2019/2020). As adubações de manutenção dos tratamentos a partir da soja da safra 2018/2019 foram realizadas incorporando-se os fertilizantes na camada de 0-5 cm do solo no interior do vaso, antes da

semeadura das plantas. Tanto o trigo quanto a soja receberam cerca de 50 kg/ha de N na forma de ureia em cobertura durante o ciclo de crescimento e de desenvolvimento das plantas.

Os vasos contendo os solos foram distribuídos na casa de vegetação seguindo o delineamento em blocos inteiramente aleatorizados com quatro repetições, cultivando-se cinco plantas de soja ou de trigo por vaso. Durante o ciclo da cultura foram aplicados inseticidas e fungicidas sempre que alguma praga ou doença atingisse o nível de dano. A irrigação foi realizada manualmente visando a manter a umidade do solo em aproximadamente 80% da capacidade de campo. O monitoramento da quantidade de água foi realizado pela pesagem do conjunto vaso de plástico e solo.

Por ocasião da maturação fisiológica das culturas, colheram-se grãos de soja ou de trigo para a determinação da produção das plantas. Após a colheita da soja nos períodos de cultivo de 2018/2019 e 2019/2020, coletaram-se amostras de solo em todo o perfil de solo no interior dos vasos, com trado do tipo calador. As amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Trigo para a determinação dos principais atributos da fertilidade do solo, mormente os teores disponíveis de P e K, seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

### Ensaio em campo

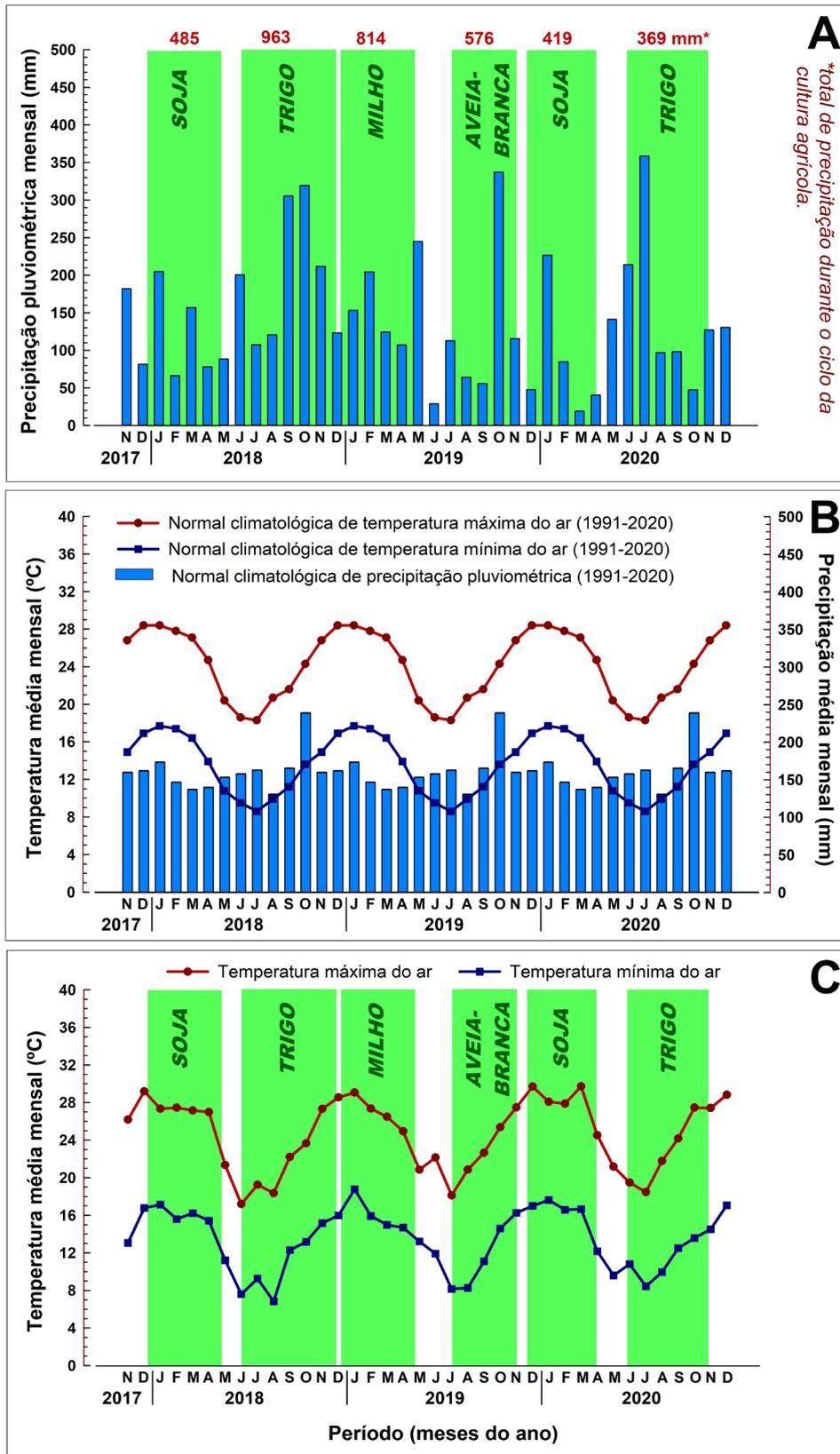
Os ensaios em campo foram realizados em área experimental (coordenadas geográficas: latitude de 28°13'53"S e longitude de 52°21'09"L; altitude de 696 m) pertencente à Fazenda da Brigada Militar do RS e localizada próxima à sede da cidade de Passo Fundo. O clima da região é descrito como subtropical úmido (Cfa), com chuva bem distribuída durante o ano, de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico, textura argilosa (Santos et al., 2018), e estava sendo conduzido sob plantio direto com culturas produtoras de grãos durante 10 anos, quando foi instalado o presente estudo, em 2017. O referido solo não apresentava problemas com acidez e os teores dos nutrientes estavam acima do nível crítico (Manual..., 2016). Objetos do presente estudo, os teores de P e K disponíveis do solo eram altos na camada de 0-10 cm e baixos na camada de 10-20 cm do solo (Manual..., 2016), o que ilustra o típico gradiente de fertilidade do solo comum em áreas de plantio direto de médio a longo prazo do subtropical brasileiro (Schlindwein; Anghinoni, 2000; Dalla Nora et al., 2017; De Bona, 2022). Conduziram-se seis cultivos agrícolas no período de 2017 a 2020, na seguinte sequência:

soja – trigo – milho – aveia-branca – soja – trigo. A distribuição da precipitação pluviométrica e as temperaturas médias do ar durante o período experimental encontram-se representadas na Figura 2. Os manejos fitotécnico e fitossanitário seguiram as indicações técnicas para cada cultura agrícola.

Os tratamentos de tipos e doses de fertilizantes (organominerais e minerais; fontes de P e K) estudados neste ensaio estão representados e detalhados na Figura 3, cujas aplicações foram realizadas no momento da semeadura de cada cultura agrícola. Os tratamentos foram estabelecidos no intuito de avaliar a eficiência e o efeito residual de um fertilizante organomineral (fórmulas N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 4-12-12 e N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 6-8-8) de matriz orgânica composta por linhito em comparação a um fertilizante mineral N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O tradicional (fórmulas N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 2-23-23 e N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 5-20-20). A doses de referência dos fertilizantes mineral e organomineral foram calculadas para atender a 100 e a 50% da dose de P e K recomendada para a adubação de manutenção da cultura agrícola (necessidade da cultura – NC) (Manual..., 2016), respectivamente. A redução de 50% da dose de P e K aplicada via fertilizante organomineral às culturas agrícolas foi realizada para mimetizar a prática comumente utilizada pelos agricultores que fazem uso desse adubo comercial no campo. Objetivando-se avaliar o efeito residual do fertilizante organomineral, estabeleceram-se alguns tratamentos complementares: a) com redução fixa de 10% da dose da NC ao longo dos cultivos; e b) com reduções progressivas e cumulativas de 5, 10 e 15% da dose da NC a cada cultivo.

Os experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As dimensões das parcelas experimentais foram de 3,6 x 6,0 m. O efeito dos tratamentos foi avaliado com base nos seguintes parâmetros: a) caracterização e monitoramento da fertilidade química do solo, cujas amostras foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm de profundidade do solo, em 2018 e 2020 (pós cultura da soja no verão em ambos os anos); b) mensuração de parâmetros nutricionais e produtivos da planta (produtividade de grãos e concentração de nutrientes P e K nos grãos e nas folhas diagnósticas).

A partir dos dados coletados, determinou-se a exportação de P e K pelas culturas agrícolas e o balanço desses nutrientes no sistema agrícola. Os resultados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (teste F; P<0,05) e, havendo efeito significativo, efetuou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey (P<0,05).



**Figura 2.** Padrão de variação das principais variáveis meteorológicas durante a sequência de cultivos agrícolas componentes do experimento com fertilizante organomineral em campo no período de 2017 a 2020: precipitação pluviométrica mensal (A), normais climatológicas mensais (1991-2020) de precipitação pluviométrica e de temperaturas máximas e mínimas do ar (B) e temperaturas médias mensais máximas e mínimas do ar (C) em Passo Fundo.

Fonte: Embrapa Trigo (2024).

CULTURAS	SOJA 2017/18	TRIGO 2018	MILHO 2018/19	AVEIA 2019	SOJA 2019/20	TRIGO 2020
<b>REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA</b>						
<b>CT: Controle</b>	Sem adubação	Sem adubação	Sem adubação	Sem adubação	Sem adubação	Sem adubação
<b>MN1: Adubo mineral</b>	100% da NC*	100% da NC				
<b>MN2: Adubo mineral</b> (redução de 50% da dose MN1)	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC
<b>OM1: Adubo organomineral</b>	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC	50% da NC
<b>OM2: Adubo organomineral</b> (redução de 10% da dose OM1)	45% da NC	45% da NC	45% da NC	45% da NC	45% da NC	45% da NC
<b>OM3: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 5% da dose OM1)	47,5% da NC	45% da NC	42,5% da NC	40% da NC	37,5% da NC	35% da NC
<b>OM4: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 10% da dose OM1)	45% da NC	40% da NC	35% da NC	30% da NC	25% da NC	20% da NC
<b>OM5: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 15% da dose OM1)	42,5% da NC	35% da NC	27,5% da NC	20% da NC	12,5% da NC	5% da NC
<b>FÓRMULAS N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O E QUANTIDADES APLICADAS (kg/ha)</b>						
<b>CT: Controle</b>	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
<b>MN1: Adubo mineral</b>	2-23-23 350*	2-23-23 200	2-23-23 784	5-20-20 350	5-20-20 350	2-23-23 300
<b>MN2: Adubo mineral</b> (redução de 50% da dose MN1)	2-23-23 175	2-23-23 100	2-23-23 392	5-20-20 175	5-20-20 175	2-23-23 150
<b>OM1: Adubo organomineral</b>	4-12-12 350	4-12-12 200	4-12-12 784	6-8-8 438	6-8-8 438	4-12-12 300
<b>OM2: Adubo organomineral</b> (redução de 10% da dose OM1)	4-12-12 315	4-12-12 200	4-12-12 705	6-8-8 394	6-8-8 394	4-12-12 270
<b>OM3: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 5% da dose OM1)	4-12-12 333	4-12-12 180	4-12-12 666	6-8-8 350	6-8-8 329	4-12-12 210
<b>OM4: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 10% da dose OM1)	4-12-12 315	4-12-12 160	4-12-12 548	6-8-8 263	6-8-8 219	4-12-12 120
<b>OM5: Adubo organomineral</b> (redução cumulativa de 15% da dose OM1)	4-12-12 298	4-12-12 140	4-12-12 431	6-8-8 175	6-8-8 110	4-12-12 30

\*NC: dose recomendada de adubação de manutenção (kg/ha da fórmula N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) da cultura de acordo com o Manual... (2016).

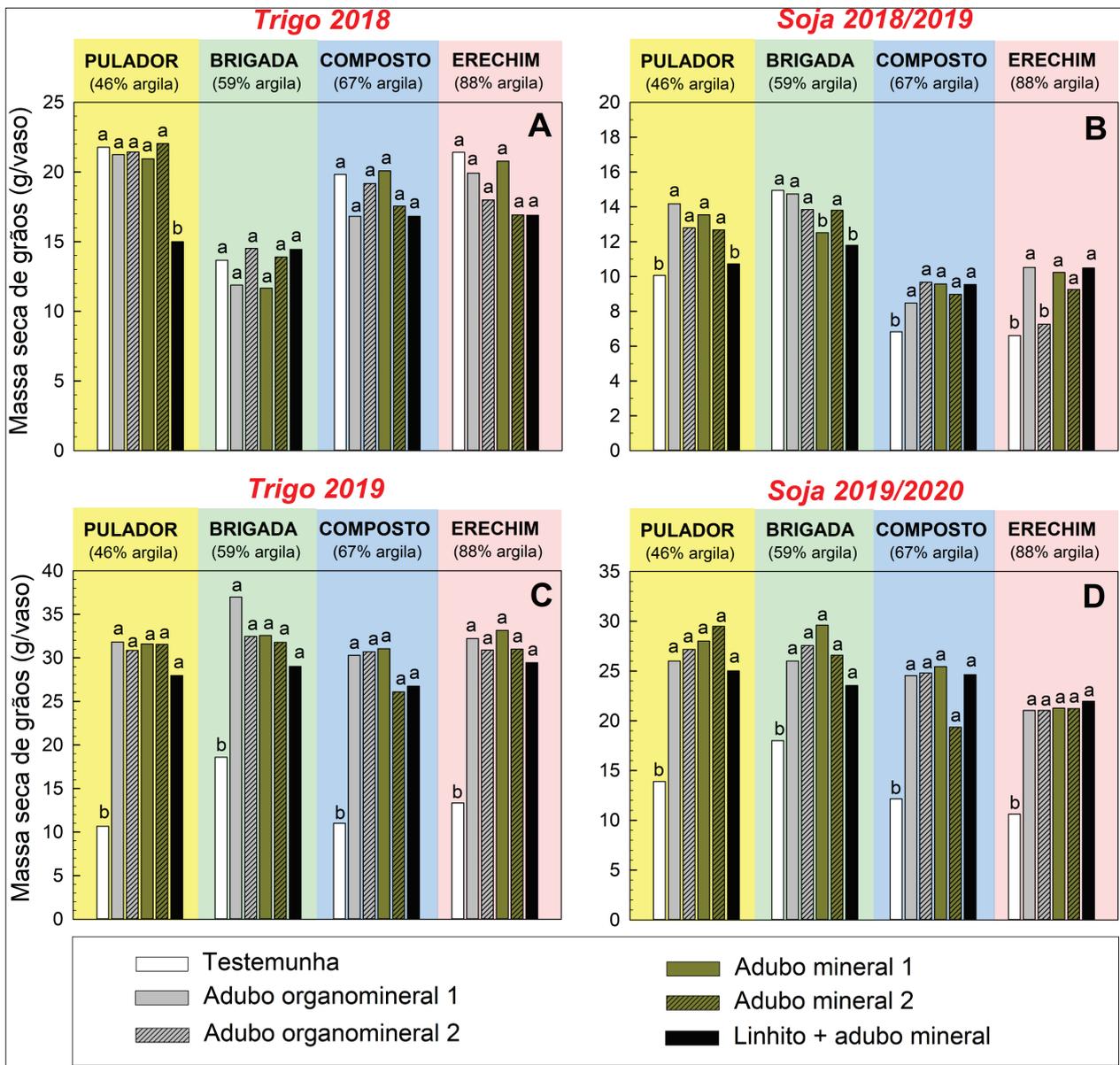
Figura 3. Tratamentos, fertilizantes e doses utilizados nos cultivos no experimento com fertilizante organomineral em campo durante o período de 2017 a 2020.

## Resultados e discussão

### Ensaio em casa de vegetação

Considerando o fator tipo de solos, observou-se que, mesmo havendo distintos teores de argila e características químicas dos solos (Tabela 1), não se

verificaram essas diferenças na produção de soja e de trigo durante os quatro períodos de cultivo dessas plantas (Figura 4). De modo geral, observou-se que o uso do fertilizante (seja mineral, seja organomineral) afetou positivamente a produção das plantas, independentemente do teor de argila do solo.



**Figura 4.** Massa seca de grãos das culturas agrícolas [trigo 2018 (A), soja 2018/2019 (B), trigo 2019 (C) e soja 2019/2020 (D)] em função do tipo de solos e de fertilizantes utilizados de 2018 até 2020. Considerando isoladamente cada tipo de solo, as médias dos tratamentos de fertilizantes seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

No primeiro ano de cultivo do experimento (2018), a correção de solo e as adubações de estabelecimento fizeram com que praticamente não houvesse diferenças de produção de trigo em virtude da aplicação dos tipos e doses de fertilizantes

(Figura 4A). Esse resultado é atribuído ao efeito da calagem e ao fato do solo acondicionado nos vasos ter sido intensamente manejado antes da instalação do experimento, o que acaba disponibilizando muitos nutrientes para a cultura e garantindo a produção

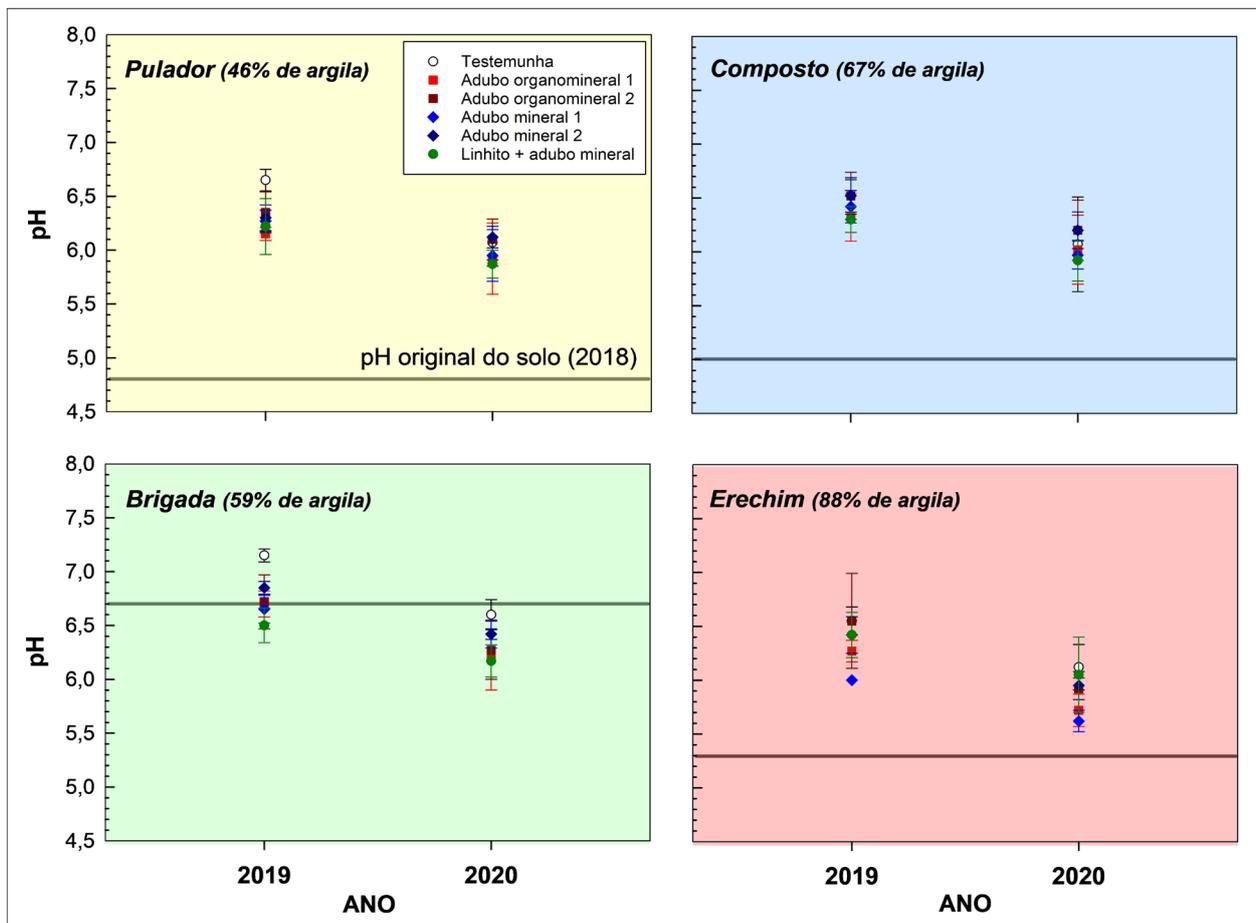
das plantas. Deve-se salientar que a correção de solo e as adubações realizadas para o primeiro cultivo de trigo se assemelharam ao processo de construção de fertilidade do solo (Resende et al., 2016) largamente aplicado pelos produtores rurais em lavouras que estão em fase de instalação ou recomeço do sistema plantio direto.

Logo após a colheita de trigo em 2018, realizou-se o plantio da soja, que foi adubada com doses de fertilizantes organomineral e mineral (Organomineral 1 e Mineral 1) correspondentes à recomendação de adubação de manutenção segundo o Manual... (2016), bem como foi realizada a aplicação de apenas metade da dose da referida recomendação por meio dos tratamentos Organomineral 2 e Mineral 2. Os dados de produção da soja 2018/2019 (Figura 4B) não refletiram os efeitos dessa redução de dose de fertilizantes, bem como, de maneira geral, não discriminaram diferenças de rendimento de grãos em função do tipo de fertilizante.

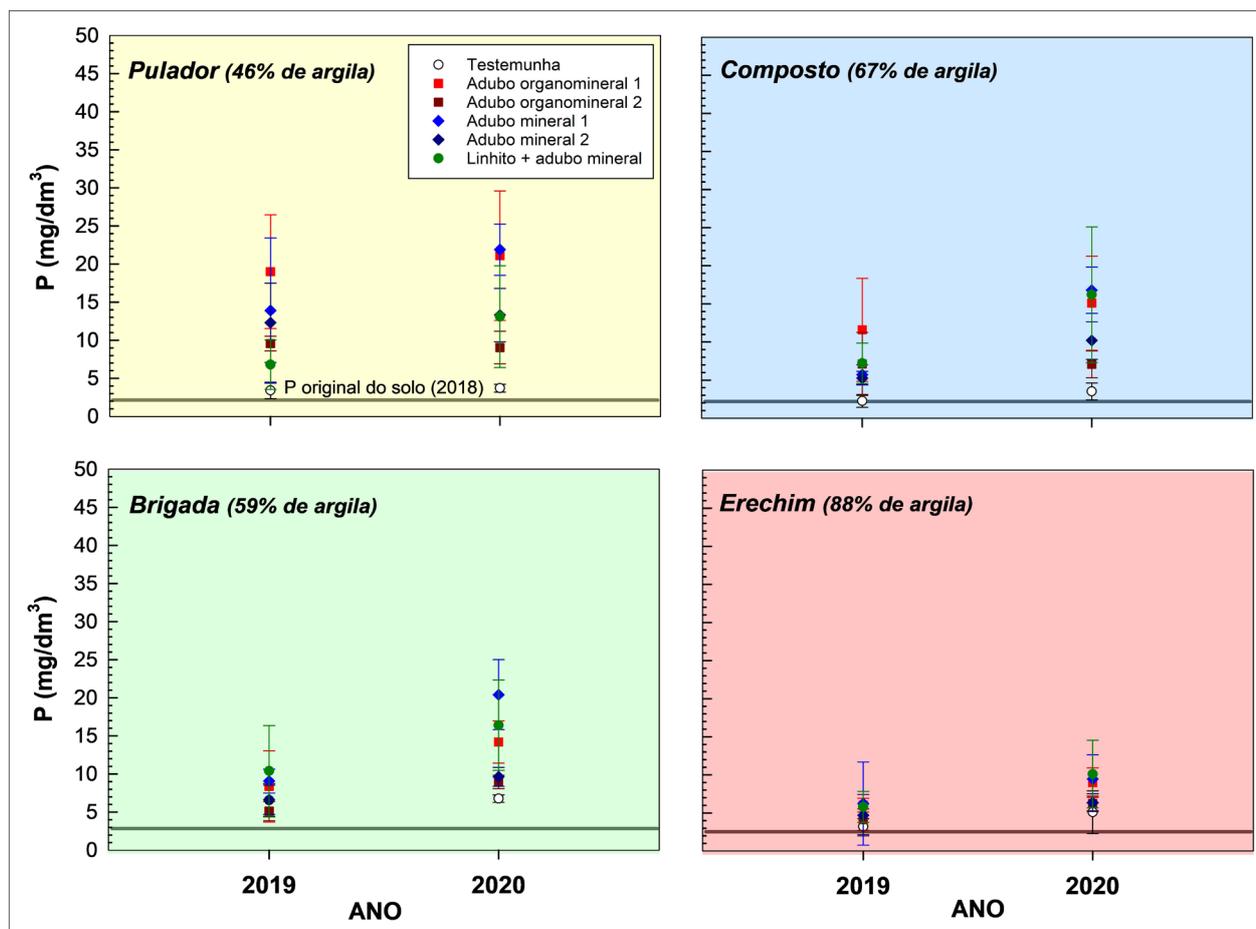
Seguindo o padrão de variação observado na soja 2018/2019 (Figura 4B), a produção de grãos de trigo 2019 e de soja 2019/2020 foi alta em todos os

tratamentos, com exceção da testemunha (Figuras 4C e 4D). Não houve diferença significativa no rendimento de grãos de trigo 2019 e de soja 2019/2020 entre os tratamentos de tipos de fertilizantes (organomineral e mineral) e entre os tratamentos com metade da dose do mesmo tipo de fertilizante.

A evolução da fertilidade química mediante os tratamentos aplicados durante o período experimental explica o padrão de variação da produção de grãos de trigo e de soja (Figura 4). Dentre os principais atributos químicos da fertilidade, convém demonstrar os valores e o padrão de variação do pH (Figura 5) e dos teores de P (Figura 6) e K disponíveis (Figura 7) dos solos distintos química e fisicamente submetidos aos tratamentos de tipos e doses de fertilizantes. Constatou-se que a correção da acidez aplicada aos solos que eram originalmente ácidos no início do experimento foi efetiva em elevar e manter o pH dos mesmos em valores considerados adequados para o crescimento das culturas agrícolas, independentemente do tipo de solo ou tratamento de fertilizante (Figura 5).



**Figura 5.** Valores de pH do solo em água na ocasião da instalação do experimento em vasos com vasos contendo solos distintos em casa de vegetação (2018 – solo original), da colheita da soja cultivada no período 2018/2019 (2019) e da colheita da soja cultivada no período 2019/2020 (2020). As barras de erro verticais indicam o desvio padrão da média (n = 4).

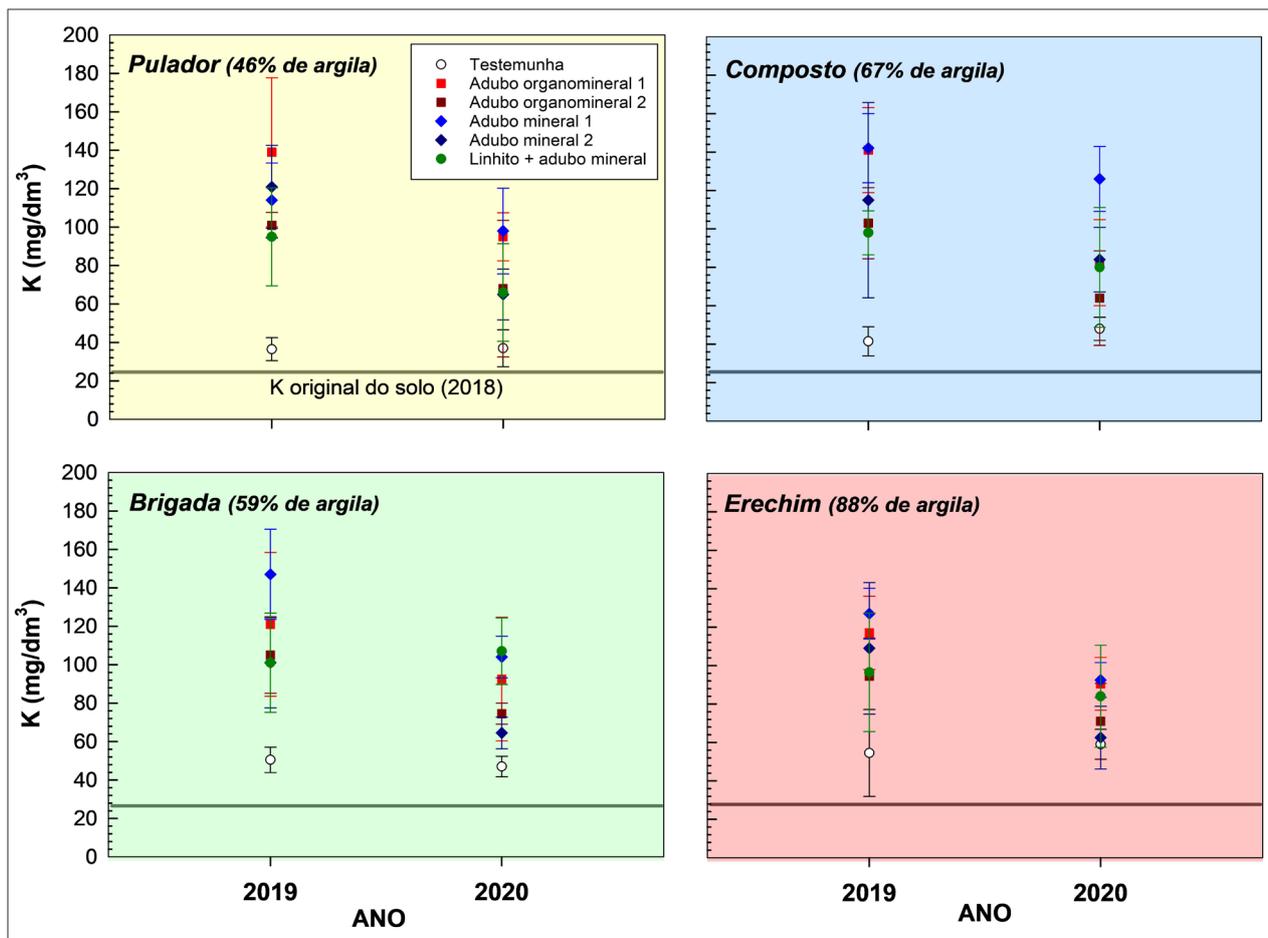


**Figura 6.** Teores de fósforo disponível no solo na ocasião da instalação do experimento em vasos com vasos contendo solos distintos em casa de vegetação (2018 – solo original), da colheita da soja cultivada no período 2018/2019 (2019) e da colheita da soja cultivada no período 2019/2020 (2020). As barras de erro verticais indicam o desvio padrão da média ( $n = 4$ ).

Considerando que os teores de P (Figura 6) e K disponíveis (Figura 7) dos solos originalmente eram baixos e muito baixos (Manual..., 2016), respectivamente, destaca-se que tanto o fertilizante organomineral quanto o mineral foram efetivos em incrementar (ou “construir”) a fertilidade do solo em relação a esses nutrientes. Uma vez corrigidos e adubados para o primeiro cultivo do experimento (trigo 2018), todos os solos se mantiveram com elevados teores de P e K, mesmo com a alta extração de nutrientes via grãos e palha na colheita do trigo e da soja. Tal fato denota similaridade de poder residual do P e do K aplicados via fertilizantes mineral e organomineral.

Analisando a dinâmica do P disponível nos solos do ensaio, verificou-se que o uso dos fertilizantes

organominerais ou minerais elevou seu teor até as classes de fertilidade média ou alta (Manual..., 2016) em todos os solos durante o transcorrer dos experimentos (Figura 6). Mesmo havendo redução da disponibilidade de P nos solos com mais alto grau de argila ou nos tratamentos com meia dose de manutenção de adubação (Organomineral 2 e Mineral 2), esse efeito não foi refletido na redução do rendimento da produção de grãos de trigo e de soja. Constata-se que não houve efeito da matriz orgânica do fertilizante organomineral (linhito) em reduzir a fixação de P nos solos com alto teor de argila (Erechim), uma vez que os teores de P disponível foram similares nos solos adubados com fertilizante organomineral, mineral ou a mistura linhito+mineral.



**Figura 7.** Teores de potássio disponível no solo na ocasião da instalação do experimento em vasos com vasos contendo solos distintos em casa de vegetação (2018 – solo original), da colheita da soja cultivada no período 2018/29 (2019) e da colheita da soja cultivada no período 2019/20 (2020). As barras de erro verticais indicam o desvio padrão da média ( $n = 4$ ).

### Ensaio em campo

Dentre as características químicas de solo analisadas em abril de 2018 e em abril de 2020, os teores de P e K foram os que sofreram alterações sob efeito dos tratamentos de adubação (Figuras 8 e 9, respectivamente). Os dois momentos de avaliação correspondem ao período de tempo de pós-cultura da soja safras 2017/2018 e 2019/2020 (Figura 3).

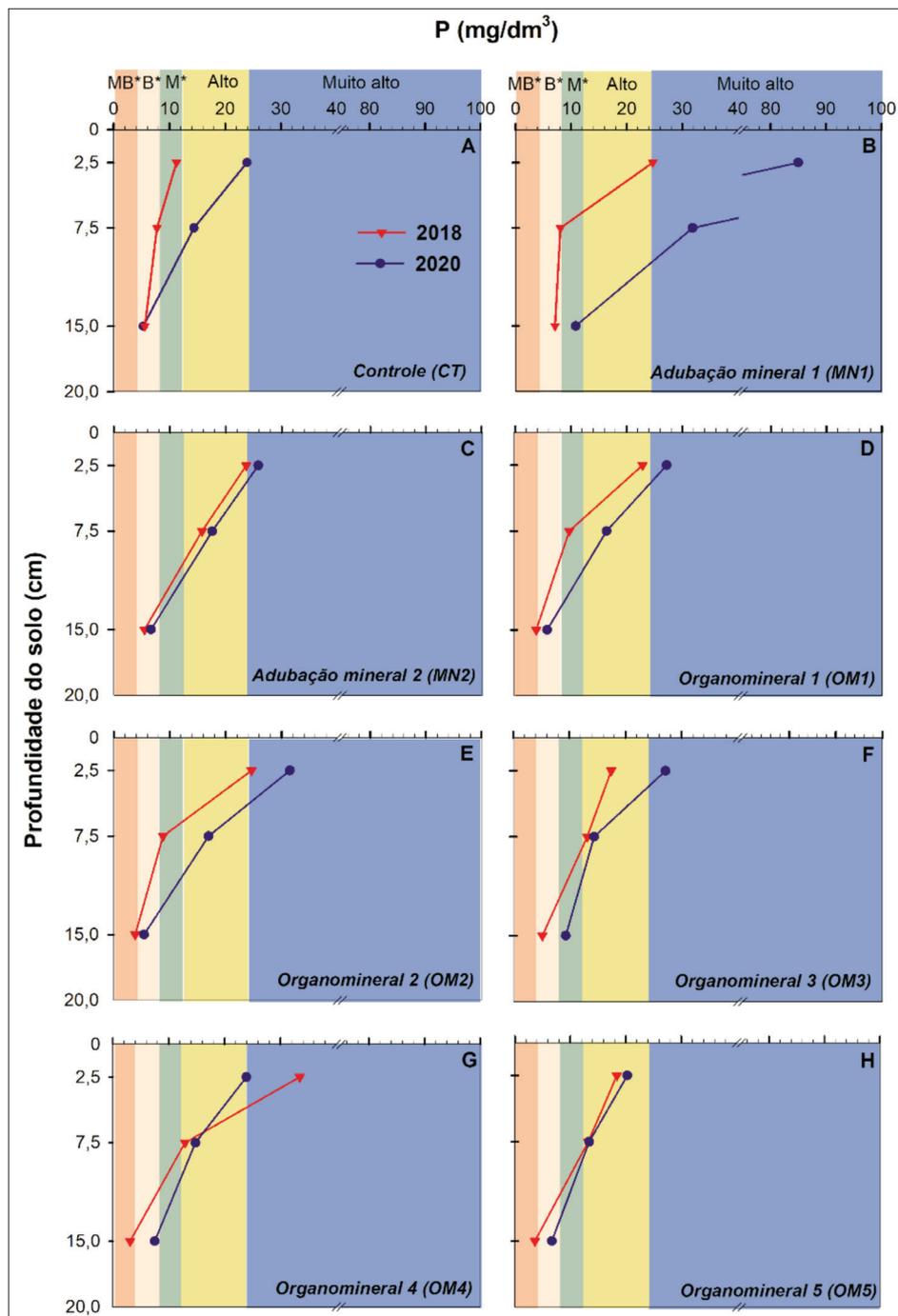
Os teores de P nas camadas de solo de 0–5, 5–10 e 10–20 cm em cada tratamento de adubação são apresentados na Figura 8. Analisando os padrões de variação dos teores de P disponível nas camadas em profundidade e nas duas avaliações realizadas, pode-se verificar que as adubações tiveram efeito de enriquecimento do teor de P na superfície do solo e de redução desse efeito nas camadas mais profundas, o que corrobora outros estudos que abordam a distribuição do nutriente P no perfil do solo sob sistema plantio direto (Schlindwein;

Anghinoni, 2000; Cook; Trlica, 2016; Dalla Nora et al., 2017; De Bona, 2022). Denota-se mais alto incremento de P disponível na camada de 0–10 cm do solo associado ao tratamento com mais alta dose aplicada do nutriente [adubo mineral 1 (MN1)].

Constatou-se aumento do teor de P disponível do solo entre os períodos de 2018 e 2020 em quase todos os tratamentos de fertilizante, inclusive do controle (Figura 8). No entanto, a magnitude desse aumento é diferente entre os tratamentos, o que era esperado devido à diferença de montantes de P aplicados. Porém, ao se analisar os efeitos distintos dos tratamentos com fertilizantes organomineral e mineral, que adicionaram quantidades similares de P [adubo organomineral 1 (OM1) e adubo mineral 2 (MN2)] (Figuras 8C e 8D) ao solo, nos teores disponíveis de P da superfície do solo, levanta-se a hipótese de que outros fatores podem estar influenciando esse incremento do nutriente P. De acordo com Hue

(1991), embora os compostos orgânicos presentes em fertilizantes organominerais possam reduzir a solubilidade desse tipo de fertilizante, os mesmos também podem aumentar a disponibilidade desse nutriente na

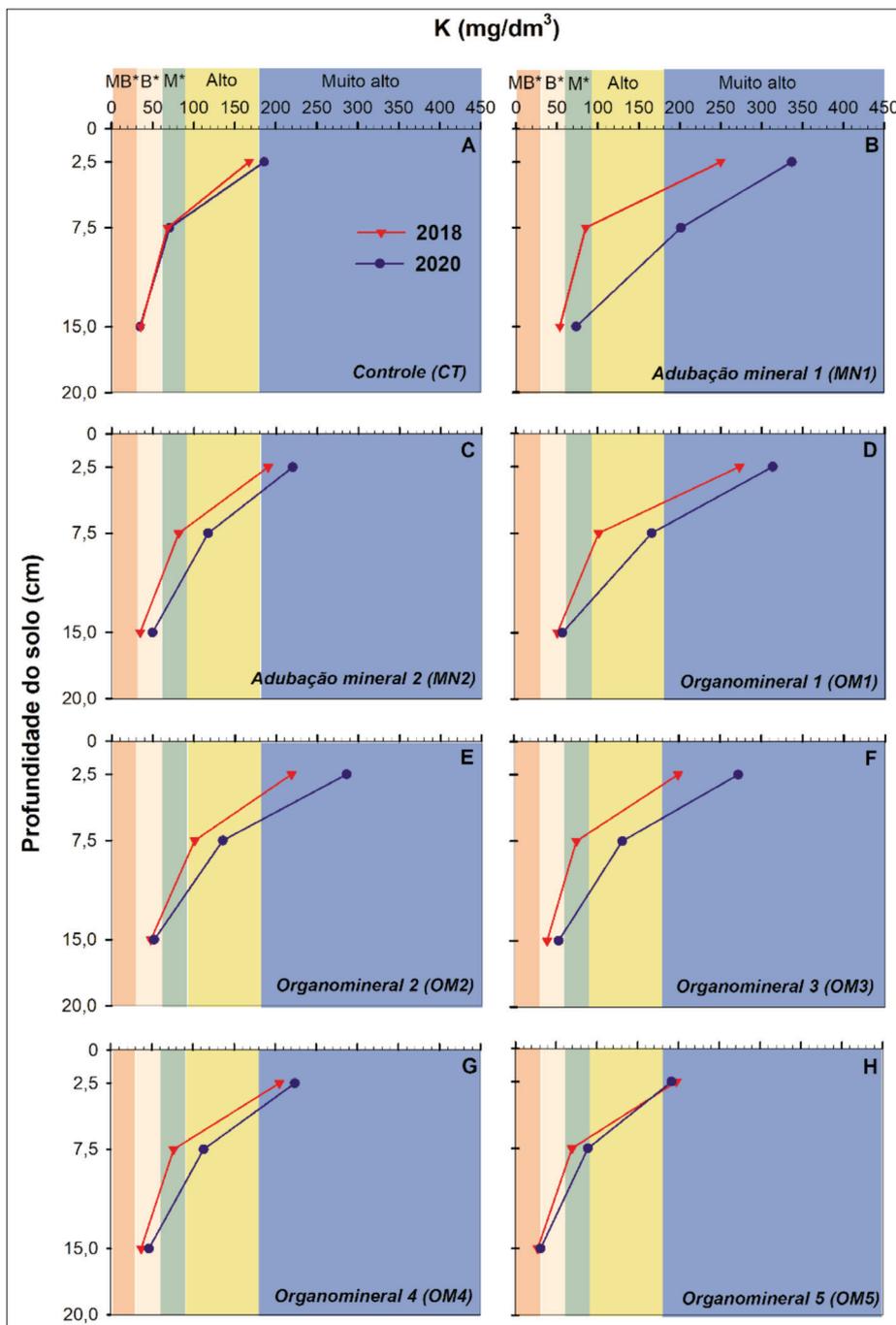
solução do solo, pois reduzem a quantidade de P adsorvido aos colóides minerais, uma vez que C e P competem pelos sítios de adsorção eletropositivos desses argilominerais do solo (Sparks, 2003).



**Figura 8.** Teores de fósforo disponível no perfil arável do solo do experimento com fertilizante organomineral em campo em 2018 e em 2020 (pós cultura da soja no verão em ambos os anos). Classes de interpretação dos teores de fósforo disponível no solo (Manual..., 2016): MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; alto; muito alto. Tratamentos: CT = controle (A); MN1 = adubo mineral (B); MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1) (C); OM1 = adubo organomineral (D); OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1) (E); OM3 = adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1) (F); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1) (G); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1) (H).

Os teores de K disponível nas camadas de solo de 0–5, 5–10 e 10–20 cm em cada tratamento de adubação são apresentados na Figura 9. Constatou-se efeito positivo das adubações no enriquecimento de K no solo na superfície desde o primeiro cultivo, o qual se intensificou ao longo dos cultivos, como indica o nível de K na avaliação realizada em 2020, após cultivo da soja 2019/2020. Análogo ao P (Figura 8), o referido enriquecimento de K disponível não se verificou na mesma intensidade

e forma nas camadas mais profundas do perfil do solo. Esse relatado padrão de variação do K disponível no perfil do solo arável do experimento foi observado desde a primeira aplicação dos tratamentos de fertilizantes, conforme pode ser visualizado das Figuras 9B, 9C, 9D, 9E e 9F correspondentes aos tratamentos adubo mineral 1 (MN1), adubo mineral 2 (MN2), adubo organomineral 1 (OM1), adubo organomineral 2 (OM2) e adubo organomineral 3 (OM3), respectivamente.

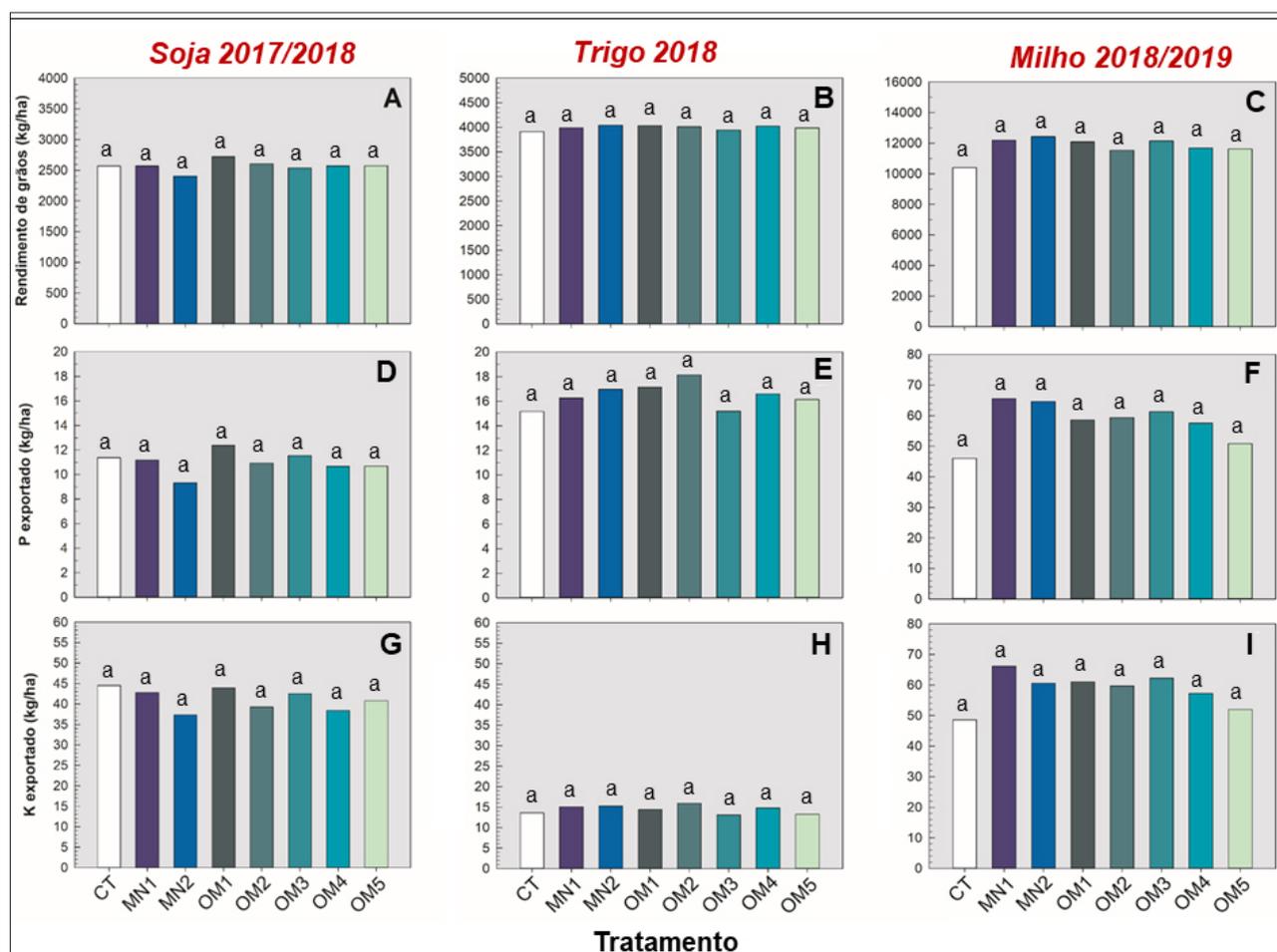


**Figura 9.** Teores de potássio disponível no perfil arável do solo do experimento com fertilizante organomineral em campo em 2018 e 2020 (pós cultura da soja no verão em ambos os anos). Classes de interpretação dos teores de potássio disponível no solo (Manual..., 2016): MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; alto; muito alto. Tratamentos: CT = controle (A); MN1 = adubo mineral (B); MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1) (C); OM1 = adubo organomineral (D); OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1) (E); OM3 = adubo organominera (redução cumulativa de 5% da dose OM1) (F); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1) (G); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1) (H).

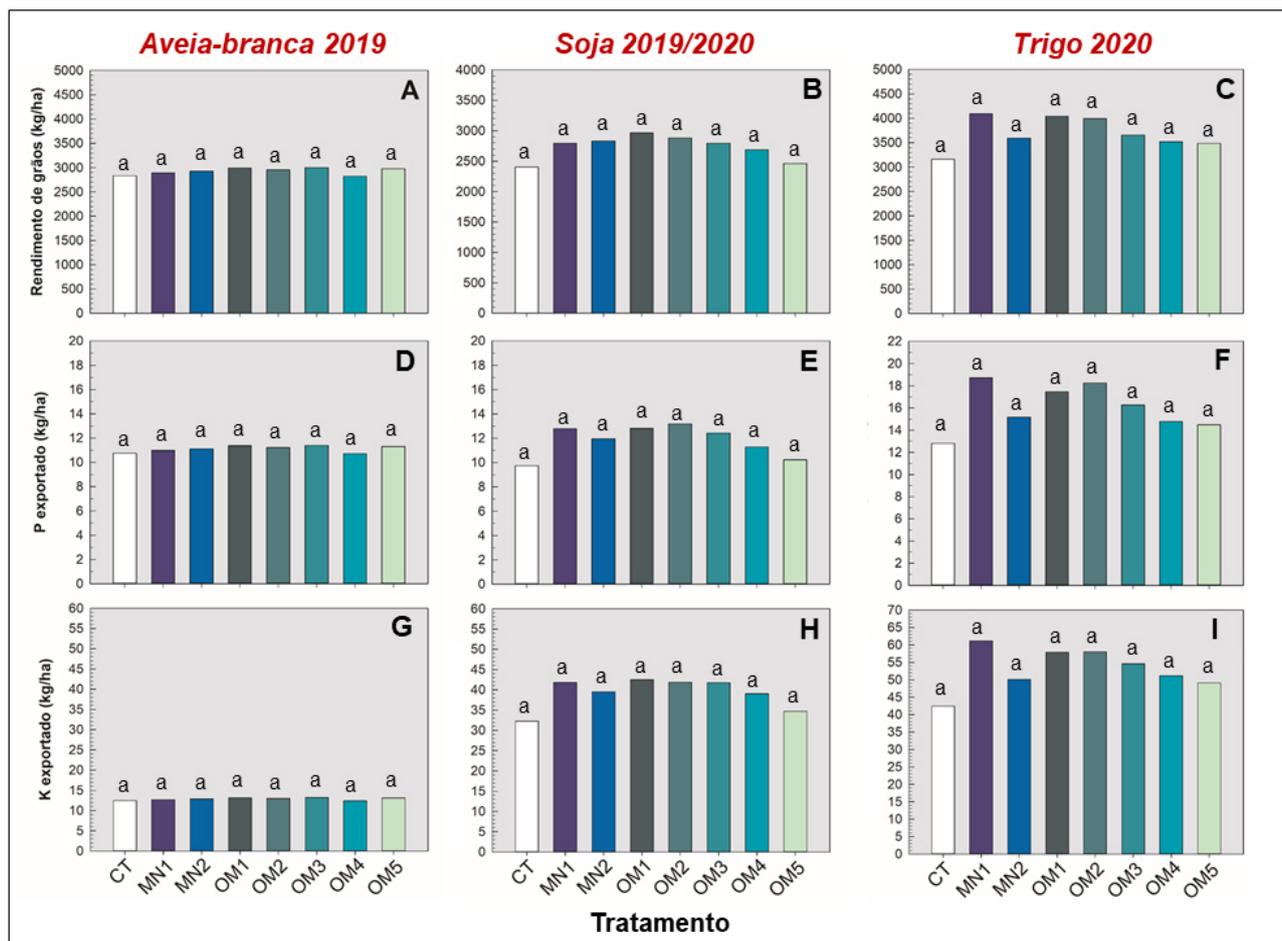
Quanto ao desempenho agrônômico dos manejos de adubação avaliados, os resultados de rendimento de grãos e dos teores de P e K nas folhas diagnósticas e nos grãos são apresentados nas Figuras 10 e 11 e nas Tabelas 2 e 3. De modo geral, a média de rendimento esteve acima da média de produtividade regional para todas as culturas do estudo (trigo, soja, aveia-branca e milho) (Conab, 2024b), o que indica as boas condições do ambiente. O estado nutricional das plantas mensurado pela concentração de P (Tabela 2) e de K (Tabela 3) nas folhas diagnósticas das culturas agrícolas esteve acima do nível adequado (Malavolta et al., 1997).

Constatou-se que, nos seis cultivos, não houve diferença significativa no rendimento de grãos em função da aplicação dos tratamentos com fertilizantes minerais e organominerais na

semeadura das culturas agrícolas (Figuras 10 e 11). Ainda, verificou-se que o incremento dos teores de P e de K (Figuras 8 e 9, respectivamente) observado no solo não se refletiu no aumento da produtividade das plantas. A explicação para esse padrão de variação do rendimento de grãos das culturas agrícolas, em função da aplicação dos tratamentos de fertilizantes, pode estar relacionada à fertilidade natural e à construída do solo da área experimental, submetida há anos de agricultura intensiva, o que gerou reservas suficientes de nutrientes disponíveis para manter a satisfatória produção das culturas. Essa hipótese pode ser corroborada ao serem observados os teores de P e de K disponíveis no solo do tratamento controle (Figuras 8 e 9, respectivamente) e os resultados de produção e exportação de P e de K (Figuras 10 e 11) e o estado nutricional e concentração desses nutrientes nos grãos (Tabelas 2 e 3).



**Figura 10.** Rendimento de grãos [soja 2017/2018 (A), trigo 2018 (B) e milho 2018/2019 (C)] e fósforo [soja 2017/2018 (D), trigo 2018 (E) e milho 2018/2019 (F)] e potássio [soja 2017/2018 (G), trigo 2018 (H) e milho 2018/2019 (I)] exportados pelas culturas agrícolas (grãos) submetidas aos seguintes tratamentos de fertilizantes nas safras de soja 2017/2018, trigo 2018 e milho 2018/2019. CT = controle; MN1 = adubo mineral; MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1); OM1 = adubo organomineral; OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1); OM3 = adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1). Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.



**Figura 11.** Rendimento de grãos [aveia-branca 2019 (A), soja 2019/2020 (B) e trigo 2020 (C)] e fósforo [aveia-branca 2019 (D), soja 2019/2020 (E) e trigo 2020 (F)] e potássio [aveia-branca 2019 (G), soja 2019/2020 (H) e trigo 2020 (I)] exportados pelas culturas agrícolas (grãos) submetidas aos seguintes tratamentos de fertilizantes nas safras de aveia-branca 2019, soja 2019/20 e trigo 2020: CT = controle; MN1 = adubo mineral; MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1); OM1 = adubo organomineral; OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1); OM3 = adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1). Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A literatura reporta que as respostas produtivas das culturas agrícolas, quando comparados os efeitos da adubação com fertilizante mineral e com fertilizante organomineral, são muito variáveis (Deeks et al., 2013; Antille et al., 2017; Corrêa et al., 2018; Frazão et al., 2019; Mumbach et al., 2020). Em alguns casos, a substituição do fertilizante mineral pelo organomineral acarreta ganhos (Deeks et al., 2013; Frazão et al., 2019); em outros, perdas (Antille et al., 2017; Frazão et al., 2019) ou similaridade quantitativa (Corrêa et al., 2018; Mumbach et al., 2020) de produção agrícola.

Visando a avaliar a eficiência do fertilizante organomineral na produção de grãos de culturas agrícolas anuais no Sul do Brasil, Mumbach et al.

(2020) concluíram que os fertilizantes orgânico (cama de aves), organomineral (cama de aves + monoamônio fosfato) e mineral (monoamônio fosfato, cloreto de potássio e ureia), quando usados fornecendo a mesma concentração de nutrientes, produzem resultados semelhantes de incremento de crescimento de plantas e de rendimento produtivo. Esses resultados estão alinhados aos observados no presente trabalho (Figuras 10 e 11), o que invariavelmente traz à tona a importância de se considerar os custos econômicos do quilo de nutriente de cada tipo de fertilizante (Trani; Trani, 2011) na tomada de decisão com relação ao produto de melhor custo/benefício a ser adotado no sistema de produção de cada agricultor.

**Tabela 2.** Concentração de fósforo nas folhas diagnósticas (estado nutricional) e nos grãos das culturas agrícolas (exportação) submetidas aos tratamentos de fertilizantes nas safras de soja 2017/2018, trigo 2018, milho 2018/2019, aveia-branca 2019, soja 2019/2020 e trigo 2020.

Tratamento	Concentração de fósforo nas folhas						Concentração de fósforo no grão					
	Soja 2017/2018	Trigo 2018	Milho 2018/2019	Aveia-branca 2019	Soja 2019/2020	Trigo 2020	Soja 2017/2018	Trigo 2018	Milho 2018/2019	Aveia-branca 2019	Soja 2019/2020	Trigo 2020
	g/kg						g/kg					
CT: Controle	3,8 ab*	2,4	3,1	2,5	3,6	2,3	4,4	3,9 b	4,4	4,2	4,1	4,0
MN1: Adubo mineral	3,4 ab	2,5	2,9	2,3	3,7	2,4	4,4	4,0 ab	5,4	4,3	4,6	4,1
MN2: Adubo mineral (redução de 50% da dose MN1)	3,6 abc	2,5	2,8	2,6	3,6	2,5	4,6	4,3 ab	4,9	4,1	4,3	4,0
OM1: Adubo organomineral	3,7 abc	2,5	2,8	2,5	3,5	2,5	3,9	4,2 ab	5,2	4,0	4,2	4,2
OM2: Adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1)	3,5 abc	2,5	2,9	2,4	3,4	2,5	4,2	4,5 a	5,2	4,2	4,6	4,0
OM3: Adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1)	3,4 c	2,5	3,1	2,6	3,5	2,5	4,6	3,9 b	5,1	4,3	4,5	4,0
OM4: Adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1)	3,6 abc	2,5	3,1	2,4	3,5	2,5	4,2	4,1 ab	4,9	4,2	4,2	4,0
OM5: Adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1)	3,9 a	2,3	2,9	2,4	3,5	2,4	4,2	4,1 ab	4,4	4,1	4,2	4,1
F <sup>(1)</sup>	4,07**	1,66 <sup>ns</sup>	2,84 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	3,51**	2,53 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	2,31 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>
CV <sup>(2)</sup> (%)	5,08	4,34	4,47	7,45	5,30	4,25	10,14	5,60	9,18	6,32	6,01	3,21

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. \*\*Os efeitos dos tratamentos diferem entre si ao nível de significância de 5%. <sup>ns</sup> As diferenças entre as médias são não significativas.

<sup>(1)</sup> F: teste F = variação entre médias amostrais / variação dentro das amostras.

<sup>(2)</sup> CV = coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Concentração de potássio nas folhas diagnósticas (estado nutricional) e nos grãos das culturas agrícolas (exportação) submetidas aos tratamentos de fertilizantes nas safras de soja 2017/2018, trigo 2018, milho 2018/2019, aveia 2019, soja 2019/2020 e trigo 2020.

Tratamentos	Concentração de potássio nas folhas						Concentração de potássio no grão					
	Soja 2017/2018	Trigo 2018	Milho 2018/2019	Aveia 2019	Soja 2019/2020	Trigo 2020	Soja 2017/2018	Trigo 2018	Milho 2018/2019	Aveia 2019	Soja 2019/2020	Trigo 2020
	g/kg						g/kg					
CT: Controle	18,4	13,4 c*	17,7	21,2	14,7	14,0	17,3 a	3,5	4,7 ab	4,1	13,4	3,6
MN1: Adubo mineral	19,3	15,0 ab	21,2	20,3	18,2	14,5	16,7 ab	3,8	5,4 a	4,2	15,0	3,5
MN2: Adubo mineral (redução de 50% da dose MN1)	19,4	13,8 abc	20,9	21,5	18,4	13,0	16,2 ab	3,6	5,1 ab	4,3	14,3	3,4
OM1: Adubo organomineral	17,7	15,5 a	19,5	19,6	18,0	15,2	15,5 ab	3,8	4,9 ab	4,3	14,0	3,5
OM2: Adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1)	18,5	14,3 abc	21,0	22,0	17,8	14,0	15,1 ab	4,0	5,2 ab	4,2	14,5	3,5
OM3: Adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1)	18,3	12,2 bc	19,8	20,8	16,5	13,2	16,8 ab	3,3	5,1 ab	4,1	14,9	3,4
OM4: Adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1)	17,9	13,0 abc	19,1	21,6	16,7	13,3	15,0 b	3,7	4,9 ab	4,3	14,5	3,5
OM5: Adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1)	19,4	11,5 c	18,3	19,9	15,0	13,5	15,9 a	3,3	4,5 b	4,2	14,1	3,4
F <sup>(1)</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>**</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	3,32 <sup>ns</sup>	3,95 <sup>**</sup>	3,60 <sup>ns</sup>	3,13 <sup>**</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	2,85 <sup>*</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	4,55 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>
CV <sup>(2)</sup> (%)	9,71	9,18	8,02	9,56	9,62	8,53	5,95	9,79	7,12	6,33	3,36	8,56

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. \*\*Os efeitos dos tratamentos diferem entre si ao nível de significância de 5%. <sup>ns</sup> As diferenças entre as médias são não significativas.

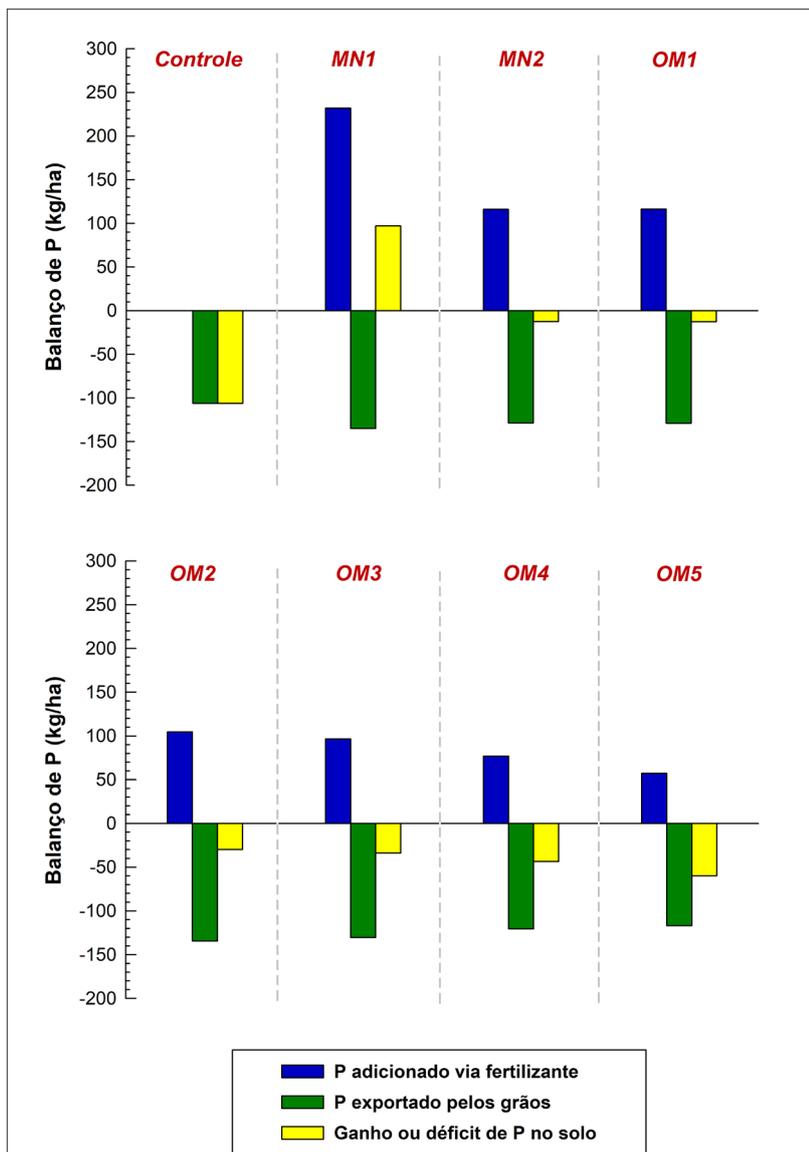
<sup>(1)</sup> F: teste F = variação entre médias amostrais / variação dentro das amostras.

<sup>(2)</sup> CV = coeficiente de variação.

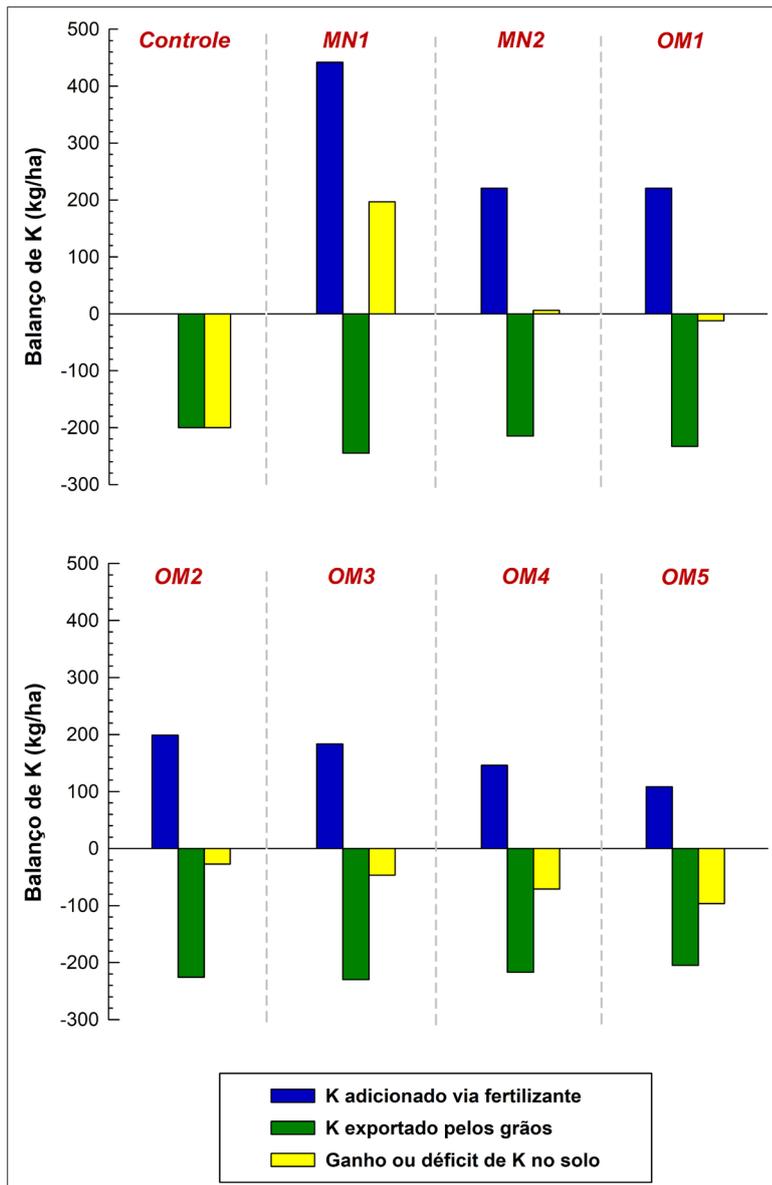
O balanço das entradas e saídas de P (Figura 12) e K (Figura 13) do sistema solo-planta acumulado no período de cultivo das seis culturas agrícolas ajuda a elucidar as relações: adição de fertilizantes x produtividade das culturas x teores de P e K disponíveis do solo. O estudo desses gráficos de balanço de P e K (Figuras 12 e 13, respectivamente) evidencia que a adição da dose recomendada de adubação de manutenção das culturas agrícolas (Manual..., 2016) via fertilizante mineral [adubo mineral 1 (MN1)] (Tabela 1) gerou um excedente de P e K no solo, o que é corroborado pelo aumento dos teores de disponibilidade desses elementos no perfil do solo, mormente na camada de 0–10 cm (Figuras 8B e 9B).

Tal resultado poderia induzir à conclusão que o melhor tratamento seria o fertilizante mineral com dose 100% da NC (Manual..., 2016) (Tabela 1).

Porém, há que se destacar que o uso de 50% da dose de adubação de manutenção da cultura via fertilizante organomineral [adubo organomineral 1 (OM1)] teve balanço de entrada e saída de P e de K do sistema solo-planta próximo à neutralidade (Figuras 12 e 13), culminando em produções agrícolas altas (Figuras 10 e 11) e em enriquecimento dos teores de P e K disponíveis do solo (Figuras 8D e 9D, respectivamente), particularmente de K. Reduções da dose recomendada de adubação de manutenção das culturas (Manual..., 2016) nos tratamentos de fertilizantes organomineral [adubo organomineral 2 (OM2), adubo organomineral 3 (OM3), adubo organomineral 4 (OM4) e adubo organomineral 5 (OM5)] tendem a causar um empobrecimento do solo com o tempo (Figuras 12 e 13), mesmo se verificando



**Figura 12.** Balanço de fósforo do solo em função dos tratamentos de fertilizantes após a condução de seis safras agrícolas em experimento com fertilizante organomineral em campo: soja 2017/2018, trigo 2018, milho 2018/2019, aveia-branca 2019, soja 2019/2020 e trigo 2020). Tratamentos: CT = controle; MN1 = adubo mineral; MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1); OM1 = adubo organomineral; OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1); OM3 = adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1).



**Figura 13.** Balanço de potássio do solo em função dos tratamentos de fertilizantes após a condução de seis safras agrícolas em experimento com fertilizante organomineral em campo: soja 2017/2018, trigo 2018, milho 2018/2019, aveia-branca 2019, soja 2019/2020 e trigo 2020). Tratamentos: CT = controle; MN1 = adubo mineral; MN2 = adubo mineral (redução de 50% da dose MN1); OM1 = adubo organomineral; OM2 = adubo organomineral (redução de 10% da dose OM1); OM3 = adubo organomineral (redução cumulativa de 5% da dose OM1); OM4 = adubo organomineral (redução cumulativa de 10% da dose OM1); e OM5 = adubo organomineral (redução cumulativa de 15% da dose OM1).

efeito residual do referido adubo aplicado (Figuras 8 e 9).

A manutenção ou incremento da fertilidade do solo, representados aqui pelos teores disponíveis de P e K (Figuras 8 e 9), associados a altos índices de produtividade de culturas agrícolas exigentes em nutrição mineral (trigo, soja, milho e aveia-branca) (Figuras 10 e 11) quando se fez uso de adubação organomineral com apenas 50% da dose recomendada de manutenção das culturas, trata-se de um resultado intrigante e que permite a formulação de algumas hipóteses: a) os solos da maioria das áreas agrícolas cultivadas a longo tempo estão adubados em excesso, o que diminui os efeitos positivos da adição de nutrientes na produção das plantas; b) a dose recomendada de adubação de manutenção das culturas agrícolas está superestimada para a nova realidade de sistema

plântio direto de médio e longo prazos; e c) a matriz orgânica do fertilizante organomineral melhora o aproveitamento do nutriente pelas plantas e/ou auxilia nos processos de disponibilização de nutrientes que estavam pouco disponíveis às plantas na matriz do solo.

## Conclusões

Nos ensaios em condições controladas, embora o fertilizante organomineral não tenha sido mais eficiente do que o fertilizante mineral em termos de produção do trigo e da soja, deve-se destacar que o mesmo se mostrou uma adequada fonte de nutrientes (adubo) em todos os solos estudados, independentemente do teor de argila dos mesmos.

Nas condições de solo e clima dos ensaios em campo, o fertilizante organomineral de matriz

orgânica de linhito demonstrou valor agrônomo similar ao fertilizante mineral, assegurando altas produtividades das culturas do ciclo soja - trigo - milho - aveia-branca - soja - trigo e incrementando a fertilidade do solo em termos de P e de K disponíveis. Atestada a sua eficiência como fonte de nutrientes de P e K para estas culturas agrícolas comerciais, os fertilizantes organominerais de matriz orgânica de linhito são mais uma opção de fertilizante ao agricultor. A escolha pelo emprego deste fertilizante organomineral deve levar em consideração a dose a ser aplicada, a condição de fertilidade do solo da lavoura e a relação custo-benefício dessa adubação.

## Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, Dec. 2013.
- ANTILLE, D. L.; GODWIN, J.; SAKRABANI, R.; SENEWEERA, S.; TYRREL, S. F.; JOHNSTRON, A. E. Field-scale evaluation of biosolids-derived organomineral fertilizers applied to winter wheat in England. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 2, p. 654-674, Mar./Apr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0495>.
- BORGES, B. M. M. N.; ABDALA, D. B.; SOUSA, M. F.; VIGLIO, L. M.; COELHO, M. J. A.; PAVINATO, P. S.; FRANCO, H. H. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane by product and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, v. 339, p. 20-30, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>.
- BOUHIA, Y.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; BOUKHARI, M. E. M. E.; MPHATSO, C.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 425-446, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>.
- BRASIL. Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022. **Institui o Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050 e o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10991.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10991.htm). Acesso em: 2 set. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, 2017. 240 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Serviço Geológico do Brasil. **Carvão mineral**. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- CONAB. **Planilhas de custo de produção**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao>. Acesso em: 16 fev. 2024a.
- CONAB. **Portal de informações agropecuárias: produção agrícola: safra: série histórica dos grãos**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 10 abr. 2024b.
- COOK, R. L.; TRILICA, A. Tillage and fertilizer effects on crop yield and soil properties over 45 years in Southern Illinois. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 415-426, Jan. 2016. DOI: [10.2134/agronj2015.0397](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0397).
- CORRÊA, J. C.; REBELLATTO, A.; GROHSKOPF, M. A.; CASSOL, P. C.; HENTZ, P.; RIGO, A. Z. Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 633-640, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000500012>.
- DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; MAZUCO, A. C. B.; PICCIN, M. Mitigation of the gradient of chemical properties in the rooting zone of dystrophic oxisols by gypsum and lime inputs under a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0150541, 2017. DOI: [10.1590/18069657rbcs20150541](https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150541).
- DE BONA, F. D. **Gradiente de concentração de nutrientes no perfil e acidez em subsuperfície do solo sob sistema plantio direto consolidado: o que fazer?** Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2022. 34 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 101).
- DEEKS, L.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. A new sludge derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 539-549, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0135-z>.
- EMBRAPA TRIGO. Laboratório de Agrometeorologia. **Normais climatológicas (1991 - 2020) - Passo Fundo, RS**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/trigo/infraestrutura/agrometeorologia/normais-climatologicas>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. M.; RIBEIRO, J. V. S.; PIEROBON, V. M.; LAVRES, J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: soil phosphorus fractionation and plant responses. **Geoderma**, v. 337, p. 582-593, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.003>.

GROHSKOPF, M. A.; CORRÊA, J. C.; FERNANDES, D. M.; BENITES, V. M.; TEIXEIRA, P. C.; CRUZ, C. V. Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00434, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00434>.

HUE, N. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v. 152, n. 6, p. 463-471, Dec. 1991. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-199112000-00009>.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 2. ed. Piracicaba: Degaspari, 2008. 160 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MANUAL de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

MUMBACH, G. L.; GATIBONI, L. C.; DE BONA, F. D.; SCHMITT, D. E.; CORRÊA, J. C.; GABRIEL, C. A.; DALL'ORSOLETTA, D. J.; IOCHIMS, D. A. Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 4, p. 3037-3049, July/Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20238>.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e

manejo. **Informações Agrônomicas**, n. 156, p. 1-17, dez. 2016.

SAKRABANI, R. Opportunities and challenges organo-mineral fertiliser can play in enabling food security. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, p. 1-6, 2024. Art. 1296351. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1296351>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355 p.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000. DOI: 10.1590/S0103-84782000000400009.

SILVA NETA, E. M. (coord.). **Produção nacional de fertilizantes: estudo estratégico**. Brasília, DF: SEAE, 2020. 23 p. Disponível em: [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf). Acesso em: 16 fev. 2024.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. London: Academic Press, 2003. 368 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: cálculo de fórmulas comerciais**. Campinas: Instituto Agrônomico, 2011. 29 p. (Boletim técnico IAC, 208).