

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Trigo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

DOCUMENTOS 201

Experimentação on-farm na agricultura de precisão

João Leonardo Fernandes Pires
Ziany Neiva Brandão

Editores Técnicos

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, Km 294
Caixa Postal 3081
Telefone: (54) 3316-5800
Fax: (54) 3316-5802
99050-970 Passo Fundo, RS
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Trigo

Presidente
Leila Maria Costamilan

Vice-Presidente
Ana Lídia Variani Bonato

Secretária
Marialba Osorski dos Santos

Membros
Elene Yamazaki Lau, Fabiano Daniel De Bona, João Leodato Nunes Maciel, Luiz Eichelberger, Maria Imaculada Pontes Moreira Lima, Martha Zavariz de Miranda, Sirio Wiethölter

Normalização bibliográfica
Graciela Olivella Oliveira (CRB 10/1434)

Tratamento das ilustrações e editoração eletrônica
Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Capa
Adaptação de Aldemir Pasinato e João Leonardo Fernandes Pires sobre imagem Google Earth (2021)

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Trigo

Experimentação on-farm na agricultura de precisão / editores técnicos, João Leonardo Fernandes Pires, Ziany Neiva Brandão; autores, Aldemir Pasinato ... [et al.]. — Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2022.
PDF (154 p.) : il. color. — (Documentos / Embrapa Trigo, ISSN 1518-6512 ; 201)

1. Agricultura. 2. Agricultura de precisão. 3. Sensoriamento remoto. I. Pires, João Leonardo Fernandes. II. Brandão, Ziany Neiva. III. Pasinato, Aldemir. IV. Embrapa Trigo. V. Série.

CDD 681.763

Estudo de Caso 4 - Resposta de Milho à Adubação Nitrogenada em Zonas de Matéria Orgânica Delineadas por Clusterização na Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS

Edison Ulisses Ramos Junior

Ziany Neiva Brandão

Álvaro Vilela de Resende

Introdução

A produção de grãos no País, estimada em 271,7 milhões de toneladas na safra 2020/2021, foi 5,7% ou 14,7 milhões de toneladas superior à produzida em 2019/2020. Destaques para a soja, com aumento de 4,2%, e para o milho segunda safra, com ganho de 8,8%, correspondendo a um acréscimo de 1,2 milhão de hectares (Conab, 2022). O milho é o grão mais cultivado no mundo, com produção estimada em 1.163,21 milhões de toneladas em 2021 (Estados Unidos, 2021). A produção brasileira de milho é a terceira maior do mundo, com incrementos de rendimento de grãos, nas últimas 10 safras, de 5,7% ao ano. A área de milho cultivada na 2ª safra representa 75% da área e 74% da produção nacional.

No Brasil, o cultivo do milho vem ganhando espaço e apresenta-se como um dos principais segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, ajudado pelo aumento da demanda mundial, e, principalmente, pelo avanço nas tecnologias como a Agricultura de Precisão (AP), que tem permitido aumentos significativos de rendimento de grãos.

Esta tecnologia, que está em constante aperfeiçoamento, vem possibilitando a automatização de diversos processos, reduzindo o trabalho manual, além de aumentar a eficiência operacional dos equipamentos. O GPS (*Global Positioning System*) associado a piloto automático, por exemplo, já é utilizado por grande parte dos produtores por ter custo relativamente baixo, em função do maior rendimento operacional, melhor qualidade de semeadura, além de evitar sobreposições de produtos aplicados na lavoura. Outra ferramenta bastante utilizada é a de monitoramento de manchas de fertilidade, visando a maior eficiência de adubação, diminuindo-se o desperdício.

O sensoriamento remoto, utilizando sensores instalados em drones ou satélites, permite monitorar as áreas produtivas de forma intensa, sem a necessidade de entrada frequente de pessoas na lavoura. Nesse sentido, podem-se observar as limitações à produção de forma mais nítida, facilitando a tomada de decisão. A AP é um avanço de gerenciamento do sistema solo-planta-atmosfera, baseada nos princípios da caracterização da variabilidade espacial e da gestão de informações, que englobam fatores de produção e produtividade das culturas (Montanari et al., 2012). Entre as ferramentas da AP, a amostragem georreferenciada de solo por meio de malhas regulares, para caracterizar a variabilidade dos atributos químicos do solo, é uma das mais importantes e tradicionalmente utilizadas na agricultura brasileira. Entretanto, há necessidade de apresentação de um processo de avaliação da variação espacial de atributos do solo, correlacionando-o com a variação no rendimento das culturas, sendo os mapas de solo e de rendimento de grãos uma extraordinária estratégia de visualização e gerenciamento desses efeitos (Amirinejad et al., 2011). Os manejos do solo e da cultura fazem parte da AP, que envolve informações da variabilidade da planta e do solo visando ao aumento do rendimento de grãos, otimização no uso dos recursos, fertilizantes e redução no impacto ambiental (Dalchiavon et al., 2011). Pesquisas têm demonstrado a importância da modelagem da variação espacial de atributos do solo que afetam o rendimento de grãos da cultura, com o objetivo de aperfeiçoar o aproveitamento de recursos, diminuir custos e auxiliar na gestão ambiental (Dalchiavon et al., 2011; Souza et al., 2014).

De acordo com Molin (2017), a agricultura mudou muito, especialmente nos últimos 10 a 15 anos. Apesar da ideia de rentabilidade estar presente desde os primórdios da produção agrícola, atualmente os agricultores possuem uma vasta gama de ferramentas modernas para monitorar os fatores que possam afetar os níveis de fertilidade, como, por exemplo, a porcentagem de matéria orgânica do solo e a capacidade de troca catiônica, dentre outras variáveis importantes. Além disso, os equipamentos e sistemas utilizados para apoio à tomada de decisões permitem trabalhar com maior nível de complexidade de variáveis do que há alguns anos atrás.

Utilizando uma abordagem de pesquisa em fazendas (on-farm), empresas de consultorias estão utilizando mapas de prescrição e montando experimentos grandes com delineamentos da estatística clássica ou estatística espacial em talhões inteiros para geração de parâmetros agronômicos mais eficientes para a tomada de decisão. Este tipo de abordagem de pesquisa em fazendas, e não em parcelas pequenas dentro de estações experimentais, tem sido utilizado por instituições em áreas de produtores no Brasil e no exterior (Bullock et al., 2019).

O objetivo deste trabalho foi o de utilizar técnicas de AP em experimentação on-farm no acompanhamento do efeito de dose na resposta do milho à aplicação de N, em função de zonas de manejo (ZM) definidas por diferentes níveis de matéria orgânica (M.O.) no solo.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no estado de Mato Grosso do Sul (MS), na Fazenda BrPec Agropecuária, de coordenadas geográficas 19°31'54" S e 56°53'37" W, e 140 m de altitude. O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura média. A classificação climática do Município de Miranda, MS, segundo critério de Köppen (1948), é Aw, ou seja, clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro. A temperatura média do ar do mês mais frio é superior a 18 °C. As precipitações pluviárias são superiores a 750 mm anuais, por vezes atingindo 1.800 mm. Apresenta estação seca que varia de três a quatro meses, que se estende entre os meses de maio a setembro. A área em estudo é utilizada para o cultivo de culturas anuais (soja, milho) e pecuária em sucessão.

O experimento foi realizado utilizando-se um talhão comercial de 156 ha. Inicialmente, realizou-se o georreferenciamento (vetorização) da área experimental a partir da demarcação do seu perímetro, tendo-se utilizado aparelho de GPS de navegação portátil Garmim Etrex®. Posteriormente, em uma imagem georreferenciada obtida no Google Earth®, criou-se uma malha amostral regular com quadrículas de 200 m x 200 m sobre a área. No centro de cada quadrícula, foram alocados os pontos georreferenciados de coleta de solo. As amostras de solo foram retiradas por meio de um amostrador hidráulico com trado tipo rosca, acoplado a um quadriciclo, amostrando-se a uma profundidade de 0 – 20 cm, em fevereiro de 2019. As amostragens foram compostas por dez subamostras, retiradas em um raio de 10 m, totalizando 390 subamostras. Estas subamostras foram homogeneizadas, gerando uma amostra para cada ponto em cada quadrícula. Posteriormente, as amostras foram enviadas ao laboratório para as análises da porcentagem de M.O., obtendo-se assim um valor médio por ponto.

Após a semeadura da cultura do milho segunda safra, a mesma malha utilizada para a amostragem de solo foi dividida em faixas de 25 m de largura, constituindo parcelas que foram casualizadas e onde se aplicaram diferentes doses de nitrogênio - N (0; 47,25 kg; 94,50 kg e 189 kg de N ha⁻¹), equivalentes a 0, 225 kg, 450 kg e 900 kg de sulfato de amônio (SA) ha⁻¹, respectivamente, por meio de aplicação a lanço, em taxa variável, de acordo com o esquema apresentado na Figura 1, no es-

tádio fenológico V3 do milho (terceira folha, segundo Ritchie et al., 1993). Na semeadura, haviam sido aplicados 200 kg ha^{-1} do fertilizante 4-30-10 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) + 0,2% Zn, correspondendo a um aporte inicial de $8 \text{ kg de N ha}^{-1}$.



Figura 1. Esquema representativo da aplicação de nitrogênio (N) em quatro doses, na área experimental na Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019.

Fonte: Google Earth (2019).

O rendimento de grãos de milho foi obtido extraído-se os dados dos mapas de colheita composto por três passadas da colhedora por parcela, sendo que todos os equipamentos e sensores foram previamente calibrados.

Utilizando-se o delineamento em quadrado latino e a *krigagem* (método utilizado na geoestatística para interpolação de dados) de dados, foi possível obter cenários relativos aos teores de matéria orgânica no solo e ao rendimento de grãos em função das doses de N.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para exploração inicial. Para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar os mapas, foi empregada a análise geoestatística (Vieira, 2000). Para cada atributo, foi analisada a sua dependência espacial com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância. O semivariograma (representação gráfica da variação de um conjunto de dados em relação à distância indicando ou não a existência de variabilidade espacial, segundo Grego et al., 2014) foi ajustado com o modelo matemático de melhor correspondência. Após as coletas para a quantificação dos teores de M.O., que serviu de base à criação das zonas de manejo (ZMs), procedeu-se à clusterização dos dados por meio do algoritmo K-means (Nunes, 2016), buscando agrupamentos semelhantes em M.O., como mostrado na Figura 2, assim como se procedeu à alocação dos pontos onde foram coletadas as amostras para rendimento de grãos em função das doses de N, dentro de cada ZM.

Resultados e Discussão

Utilizou-se o mapa de colheita para a avaliação do rendimento de grãos de milho dentro de cada dose de N e em cada zona de M.O.. Para facilitar a visualização, foram utilizadas cinco classes de rendimento de grãos, representadas com diferentes cores. A Figura 3 apresenta a variabilidade

especial do rendimento de grãos de milho, em $t\ ha^{-1}$, em função de doses de N em cobertura, sob influência das zonas de M.O. no solo. Observou-se que houve diferentes níveis de rendimento de grãos ao longo da área, variando desde menos de $3\ t\ ha^{-1}$ até cerca de $15\ t\ ha^{-1}$, ou seja, com variações de até cinco vezes. Barbosa et al. (2019), trabalhando com variabilidade espacial do solo e rendimento de grãos do milho, encontraram grau de dependência moderado ($25\% < GDE < 75\%$), indicando que o rendimento de grãos pode ser controlado pela variação intrínseca das características do solo. Iqbal et al. (2005) observaram resultados que indicaram dependência espacial moderada a forte para todas as propriedades físicas do solo.

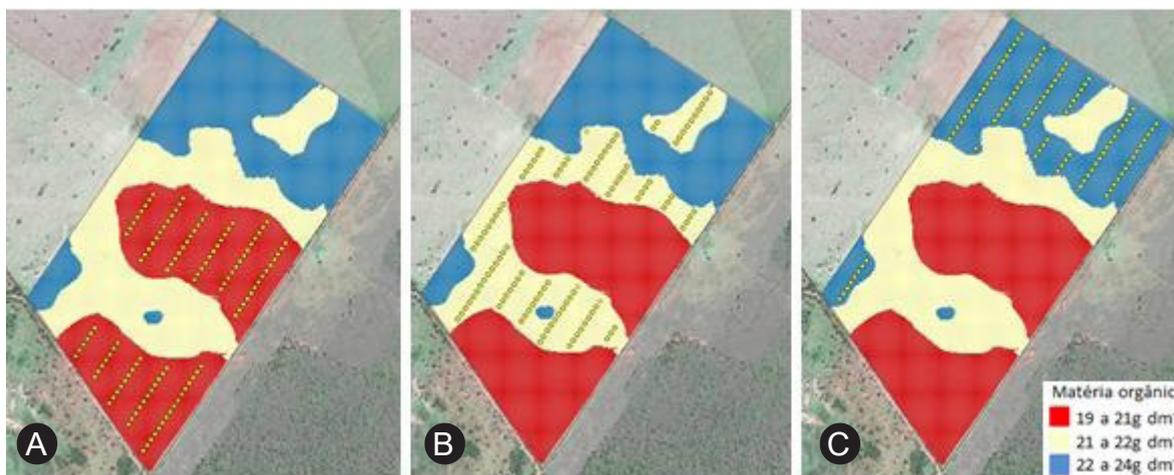


Figura 2. Zonas de manejo em função dos teores de matéria orgânica (M.O.) do solo na Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019. (A) Baixa M.O.; (B) Média M.O.; (C) Alta M.O.

Fonte: Google Earth (2019).

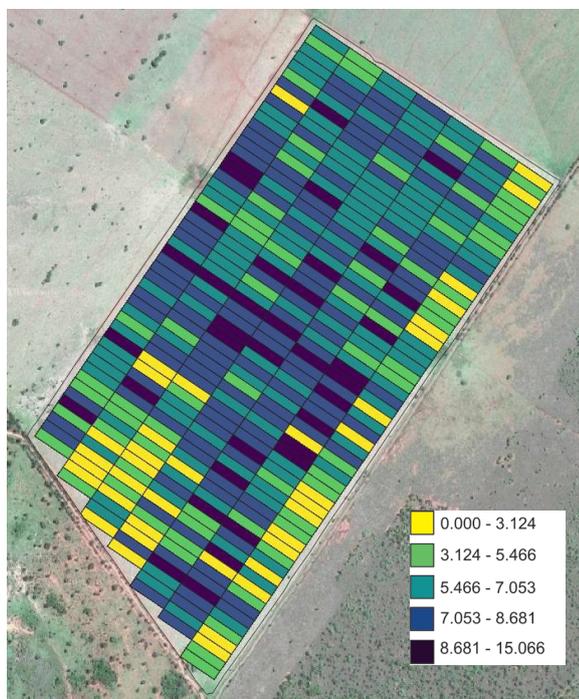


Figura 3. Rendimento de grãos de milho ($kg\ ha^{-1}$) em função de doses de nitrogênio em cobertura. Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019.

Fonte: Google Earth (2019).

A Figura 4 apresenta a variabilidade espacial do rendimento de grãos de milho. Nas ZM com menor teor de M.O. houve resposta mais expressiva ao N aplicado, enquanto que nas áreas com maiores teores de M.O., a resposta foi menos acentuada. Resultado que corrobora com os de Sangoi et al. (2016), quanto à resposta produtiva do milho em relação aos níveis de M.O. do solo. Tanto os teores de M.O. do solo quanto a palhada da cultura antecessora têm influência sobre o rendimento de grãos do milho segunda safra e, sendo ela uma leguminosa, pode haver menor necessidade

de aplicação de fertilizantes minerais, reduzindo o custo de produção da lavoura (Vernetti Júnior et al., 2009). Na cultura antecessora, sendo de baixa relação C:N na matéria seca, a decomposição é rápida e a ciclagem de nutrientes ocorre em curto espaço de tempo (Pavinato et al., 2008).

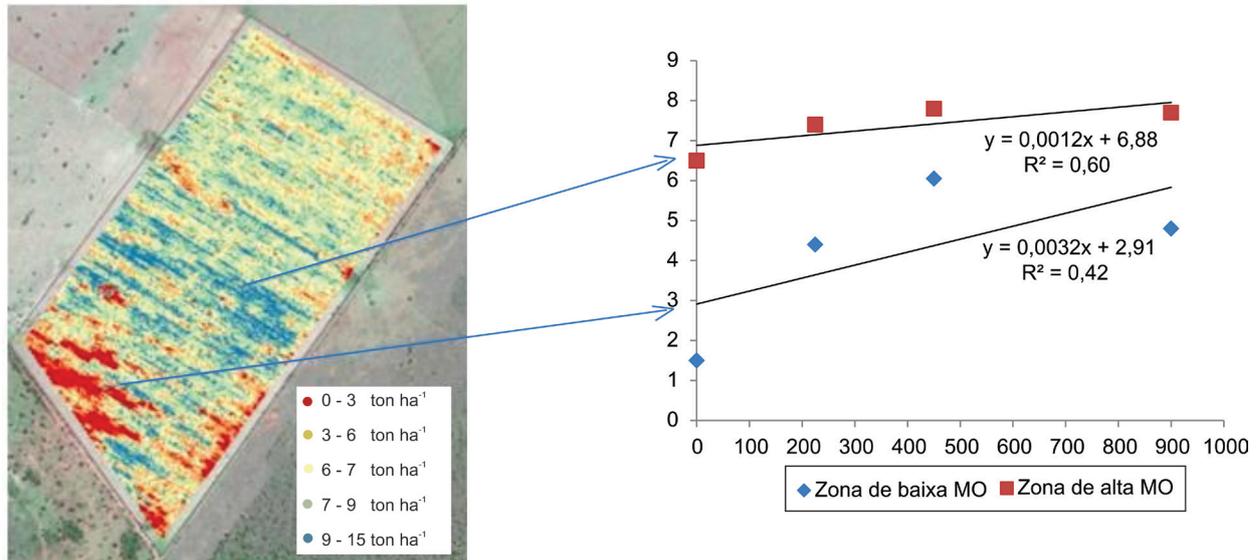


Figura 4. Variabilidade espacial do rendimento de grãos de milho (ton ha⁻¹) em função de doses de nitrogênio (fonte sulfato de amônio) em cobertura. MO: matéria orgânica. Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019.

Fonte: Google Earth (2019).

A Figura 5 apresenta uma visão conjunta do rendimento de grãos em função das doses de N, para as três zonas de M.O. Observou-se que as doses de N apresentaram a mesma tendência, porém, não se observaram diferenças entre as zonas de M.O. do solo. Bernardes et al. (2020), trabalhando com estratégias de aplicação e doses de N, observaram tendência linear no rendimento de grãos em função de doses de N, independente da estratégia de aplicação, para até 200 kg de N ha⁻¹, diferentemente das observadas no presente estudo, onde a maior dose excedeu a capacidade da planta em transformar o aporte de nitrogênio em grãos. Tal resposta pode ser explicada pelas características distintas de solo e clima presentes na região de estudo, onde os teores de argila e matéria orgânica são diferentes entre si, bem como o regime hídrico e as épocas de semeadura.

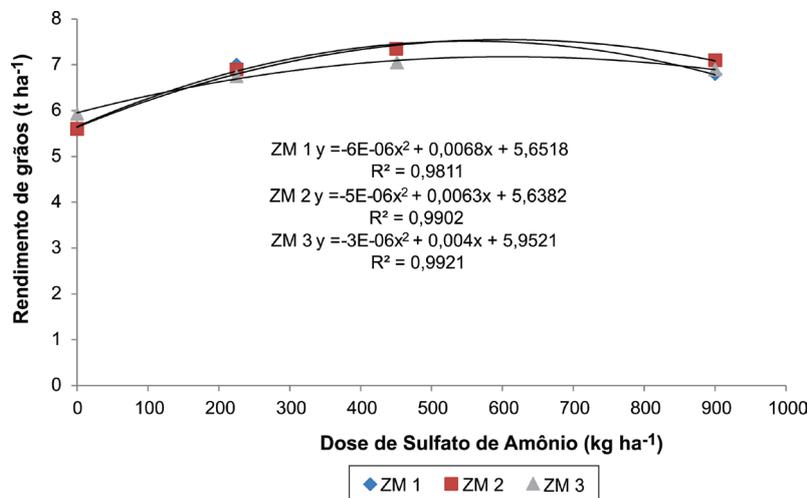


Figura 5. Rendimento de grãos de milho em função de doses de nitrogênio (fonte sulfato de amônio), para três zonas (ZM1, ZM2 e ZM3) de matéria orgânica no solo. ZM: Zona de Manejo. Fazenda BrPec AGropecuária, Miranda, MS, 2019.

A amplitude do teor de M.O. observada entre as três ZM caracterizadas no talhão foi relativamente pequena, da ordem de 5 g dm^{-3} (Figura 2), o que explicaria a similaridade de resposta às doses de N nessas ZM. Além do mais, outros fatores que não a M.O. e o N podem interferir no desempenho produtivo do milho, contribuindo para a variação de rendimento de grãos dentro do talhão. Devido aos seus efeitos diretos e indiretos sobre as propriedades do solo, a M.O. exerce forte influência sobre a capacidade produtiva do solo. No entanto, é difícil quantificar o carbono orgânico do solo (COS) relacionado à estabilidade e rendimento de grãos dos sistemas agrícolas (Lal, 2004). Sabe-se, porém, que os aumentos nos seus níveis conduzem, geralmente, a um maior rendimento de grãos das culturas, e ao aumento na eficiência de utilização dos nutrientes (Lal, 2004; Malhi et al., 2011; Paul et al., 2013).

Na ZM 1, com menor nível de M.O., observou-se um comportamento quadrático na resposta produtiva do milho a doses de N, no qual a testemunha sem aplicação de N apresentou menor rendimento de grãos. O rendimento de grãos máximo, de acordo com a equação, foi obtido com $567 \text{ kg de SA ha}^{-1}$, ou $119 \text{ kg de N ha}^{-1}$, correspondendo a um rendimento de grãos estimado em $7,58 \text{ t ha}^{-1}$ ou $126 \text{ sacas ha}^{-1}$. O rendimento médio de grãos de milho nessa ZM foi de $6,69 \text{ t ha}^{-1}$. Já a ZM 2, com nível intermediário de M.O. (21 g dm^{-3} a 22 g dm^{-3}), apresentou um comportamento quadrático para o rendimento de grãos em resposta à adubação nitrogenada. O ponto de máximo rendimento de grãos foi estimado em $630 \text{ kg de SA ha}^{-1}$, equivalente a $132,3 \text{ kg de N ha}^{-1}$. O rendimento de grãos máximo alcançado, com essa adubação, foi de $7,62 \text{ t ha}^{-1}$ ou $127 \text{ sacas ha}^{-1}$. Essa ZM de matéria orgânica teve um rendimento médio de grãos de milho de $6,74 \text{ t ha}^{-1}$.

Para a ZM com maior nível de M.O. (ZM 3), ou seja, de 22 g dm^{-3} a 24 g dm^{-3} , foi observada uma tendência quadrática, em que o ponto de máximo rendimento de grãos foi alcançado na dose de $667 \text{ kg de SA ha}^{-1}$, ou $140 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Para esta dose, o rendimento de grãos esperado seria de $7,28 \text{ t ha}^{-1}$ ou $121 \text{ sacas ha}^{-1}$, o que é maior que a média observada para essa ZM, em que o rendimento médio de grãos do milho obtido foi de $6,66 \text{ t ha}^{-1}$. Fernandes et al. (2017) observaram o mesmo comportamento quadrático em relação às doses de N, de 48 kg ha^{-1} a 240 kg ha^{-1} . Entretanto, os autores obtiveram rendimento de grãos inferior ao observado neste trabalho, no qual o máximo rendimento de grãos obtido foi de 3.467 kg ha^{-1} para uma dose de $196 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Já Ferreira et al. (2010) reportaram rendimento de grãos de 7.320 kg ha^{-1} com dose de $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$, valores semelhantes aos obtidos no estudo.

Observou-se, na Figura 6, a curva de resposta média de rendimento de grãos de milho ao sulfato de amônio. Pela equação, o ponto de máximo rendimento de grãos ocorreu com $165 \text{ kg de N ha}^{-1}$, obtendo rendimento de grãos de $6,66 \text{ t ha}^{-1}$. Broch e Fernandes (2000) também verificaram aumento do rendimento de grãos do milho safrinha com o fornecimento de N e S via sulfato de amônio. Soratto et al. (2010), trabalhando com fontes alternativas e doses de N, observaram incremento linear do rendimento de grãos do milho safrinha com a aplicação de N, cujo aumento foi de 7,6% em relação ao tratamento sem aplicação de N em cobertura, independentemente da fonte utilizada. Bastos et al. (2008) obtiveram aumento do rendimento de grãos do milho até a dose de $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Resultados semelhantes foram obtidos por Mar et al. (2003) e Souza e Soratto (2006), que observaram aumento do rendimento de grãos do milho safrinha com a aplicação de até $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Kappes et al. (2009) observaram incremento significativo no rendimento de grãos do milho com aplicação de $70 \text{ kg de N ha}^{-1}$, independentemente da fonte utilizada.

A partir das respostas às doses de N ao longo do talhão, utilizando-se análise geoestatística e mapas interpolados, foram obtidos cenários de variabilidade espacial do rendimento de grãos em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura (Figura 7). Observou-se que quanto maior

a dose aplicada, menor a variabilidade de rendimento de grãos do milho, mostrando que é possível, por meio do emprego de técnicas de AP, melhorar a homogeneidade das lavouras. Deve-se atentar, porém, que nem sempre é viável economicamente o emprego de grandes quantidades de fertilizante, tendo que se ponderar e analisar tais procedimentos.

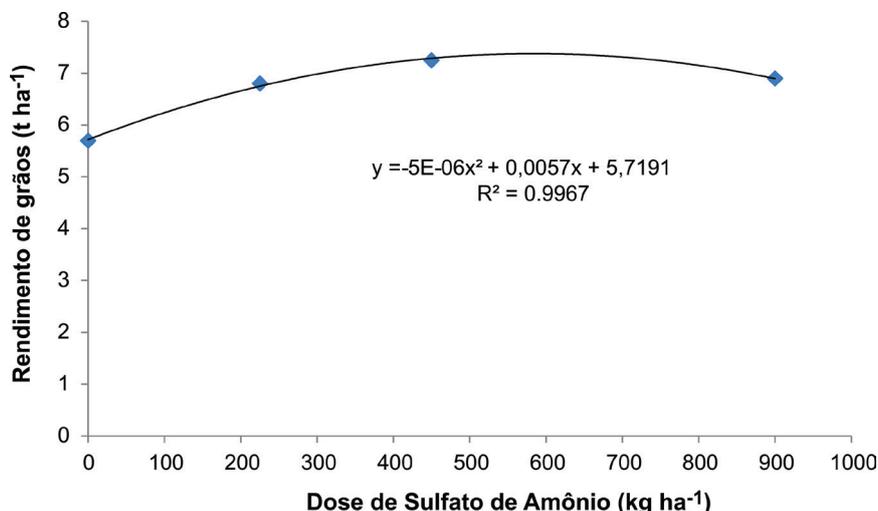


Figura 6. Curva de resposta média do milho (rendimento de grãos) ao nitrogênio (fonte sulfato de amônio). Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019.

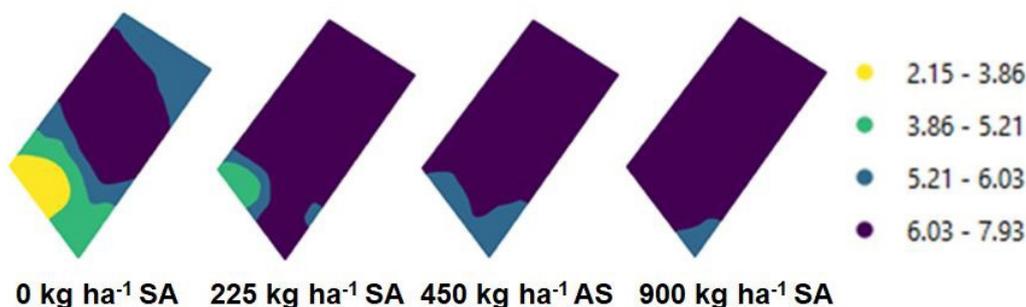


Figura 7. Cenários de variabilidade espacial relativos ao rendimento de grãos de milho (t ha⁻¹), em função de níveis de adubação nitrogenada (sulfato de amônio – SA) em cobertura. Fazenda BrPec Agropecuária, Miranda, MS, 2019.

Considerações Finais

As doses de N proporcionam aumento quadrático no rendimento de grãos de milho e, em média, a taxa ótima para maximizar o rendimento de grãos é de 165 kg de N ha⁻¹.

Os efeitos das doses de N não são afetados pelas zonas de matéria orgânica do solo, visto que nas regiões em que os teores de matéria orgânica são menores, o rendimento de grãos é maior.

Agradecimentos

A Adriano Saraceno e a Vagner Silveira, da BrPec Agropecuária S.A., pela operacionalização do trabalho. À Embrapa (projeto AP) e aos projetos: “On-farm precision agriculture research to drive variable rate of inputs” (USDA - NIFA - Award number LAB94427); e “Using precision technology in on-farm field”.

Referências

- AMIRINEJAD, A. A.; KAMBLE, K.; AGGARWAL, P.; CHAKRABORTY, D.; PRADHAN, S.; MITTAL, R. B. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. **Geoderma**, v. 160, n. 3-4, p. 292-303, 2011.
- BARBOSA, M. L. P.; LIMA, W. R.; SENA, L. V. G.; PORTELA, S. B.; MACEDO, V. R. A. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho em um Latossolo amarelo distrocoeso. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 4., 2019, Recife. **Anais...** Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2019. p.1-7.
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 275-280, 2008. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/60>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- BERNARDES, J. V. S.; ORIOLI JÚNIOR, V. Estratégias de aplicação e doses de nitrogênio para o milho cultivado em solo argiloso. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 63, p. 1-8, 2020.
- BROCH, D. L.; FERNANDES, C. H. Efeito da adubação de plantio e de cobertura na produtividade do milho safrinha. **Informações Agronômicas**, n. 89, p. 1-3, 2000.
- BULLOCK, D. S.; BOERNGEN, M.; TAO, H.; MAXWELL, B.; LUCK, J. D.; SHIRATSUCHI, L. S.; PUNTEL, L.; MARTIN, N. F. The data intensive farm management project: changing agronomic research through on-farm precision experimentation. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2736-2746, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0165>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: 11 out. 2022.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Cotton: world markets and trade**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/cotton.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 8-19, jan./mar. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/8351>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MONTEIRO FILHO, A. F.; VASCONCELLOS, A.; SILVA, J. R. P. da. Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. **Espacios**, v. 38, n. 8, p. 27, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n08/a17v38n08p29.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- FERREIRA, H. A.; SOUSA, D. A.; SOUZA, A. S.; SOUZA, A. S.; MARACAJA, P. B. Componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, p. 90-96, 2010. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/617>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. de C. Agricultura. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (ed.). **Geotecnologias e geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 135-148. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103408/1/Cap.-9.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- IQBAL, J.; THOMASSON, J. A.; JENKINS, J. N.; OWENS, P. R.; WHISLER, F. D. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 4, p. 1338-1350, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0154>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C. de; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. da. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/5756>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623, 2004. DOI: 10.1126/science.1097396.
- MALHI, S. S.; NYBORG, M.; SOLBERG, E. D.; DYCK, M. F.; PUURVEEN, D. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types. **Field Crops Research**, v. 124, p. 378-391, 2011. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.07.009.

MAR, G. D. do; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F. de; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000200012>. Acesso em: 3 jan. 2022.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**: números do mercado brasileiro. Piracicaba: USP/Esalq, 2017. 7 p. (Agricultura de Precisão. Boletim técnico, 3). Disponível em: https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2019/08/BT_3.pdf. Acesso em: 14 set. 2022.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 542-552, 2012. DOI: 10.1007/s11119-012-9265-6.

NUNES, D. H. F. **Um breve estudo sobre o algoritmo K-means**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

PAUL, B. K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T. T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, p. 14-22, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.003>. Acesso em: 20 jul. 2022.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000200010.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 21 p. (Special report, 48). Disponível em: <http://publications.iowa.gov/18027/1/How%20a%20corn%20plant%20develops001.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da; PAGLIARINI, N. H. F. **Estratégias de manejo da adubação nitrogenada em milho na região sul do Brasil**. Lages: Graphel, 2016. 119 p.

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/845>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SOUZA, E. de F. C. de; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 387-397, 2006. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/201>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 261-268, fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000200011>. Acesso em: 20 jul. 2022.

VERNETTI JÚNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 15, n. 1-4, p. 37-42, 2009.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 3-87.