

*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 8 - Nitrogênio, Regulador de Crescimento e População de Plantas em Área de Produção de Algodão nas Fazendas Três Lagoas e Tucunaré, Sapezal, MT

Carlos Manoel Pedro Vaz
Julio Cezar Franchini dos Santos
Eduardo Antonio Speranza
Ricardo Yassushi Inamasu
Lúcio André de Castro Jorge
Ladislau Marcelino Rabello
Ivani de Oliveira Negrão Lopes
Sergio das Chagas
Juliana Reis Carlini Scariote
Marcio de Souza
Rafael Galbieri
Amandio Pires Junior

Introdução

O algodão é uma cultura de grande importância econômica e social para o Brasil, que é o quarto produtor e o segundo maior exportador mundial (Estados Unidos, 2020). Na safra 2019/2020 foram cultivados 1,67 milhão de hectares, com produção de 3 milhões de toneladas de pluma de algodão (Associação..., 2021). O Mato Grosso (MT) é o estado com a maior produção nacional (1,13 milhão de hectares em 2020), sendo responsável por dois terços da produção do País, com cerca de 2 milhões de toneladas de pluma (Instituto..., 2021). Juntamente com a Bahia, os dois estados são responsáveis por quase 90% da produção nacional de algodão. O sistema de produção predominante no MT é de algodão de segunda safra (87% do total), segundo Instituto... (2021), com semeadura a partir de janeiro, após a colheita da soja, sem irrigação (sequeiro) na grande maioria das áreas.

Apesar dos ganhos de produtividade alcançados com a introdução de cultivares melhoradas e uso intensivo de tecnologia, os investimentos são altos, havendo necessidade da constante busca pela redução dos custos de produção. A contribuição dos insumos, sementes, fertilizantes e agroquímicos no custo final de produção do algodão é de cerca de 65% (Figura 1A) na média dos principais estados produtores (MT, BA, GO, MS e MG) (Conab, 2021). Os insumos com maior influência nesse custo são os agroquímicos (37% do total), seguidos dos fertilizantes (19%) e sementes (9%). No caso das sementes, apesar de não estar entre os insumos de maior custo, tem-se observado um aumento considerável dos preços nos últimos anos (Figura 1B).

A agricultura de precisão (AP) tem grande potencial para contribuir com a racionalização do uso de insumos nos sistemas, proporcionando ganhos econômicos e ambientais. As ferramentas da AP possibilitam o mapeamento das variabilidades naturais (solo, topografia, clima), antrópicas (insumos) e da produtividade, permitindo aplicações dos insumos à taxa variável (ATV) e o manejo sítio-específico por zonas homogêneas nos talhões. Assim, benefícios econômicos e ambientais podem ser alcançados pela redução do custo, devido à otimização do uso dos insumos, e aumentos de produtividade por meio de um manejo mais preciso no talhão.

A aplicação de insumos a taxa variável tem se tornado cada vez mais acessível aos produtores. Entretanto, o processo de tomada de decisão deve basear-se no conhecimento da resposta da cultura às doses variáveis dos insumos por meio de experimentação agrônômica, em função da variabilidade espacial da área (Trevisan et al., 2021). Nesse sentido, a experimentação de precisão on-farm (*On-Farm Precision Experiments* - OFPE) tem ganhado destaque nos últimos anos, pois permite a obtenção de curvas de resposta da produtividade para diversos insumos como nitrogênio,

calcário e sementes, dentre outros, considerando a variabilidade espacial de um determinado talhão, ou seja, para diferentes zonas de manejo (ZM) com distintos potenciais produtivos. Dessa forma, pode-se considerar que o objetivo final da OFPE é de estabelecer procedimentos para a aplicação de insumos a taxa variável. A principal vantagem da OFPE é a possibilidade da aplicação direta dos resultados no ambiente da fazenda (Cho et al., 2021). Entretanto, uma limitação é a necessidade da geração e processamento de grande volume de dados, considerando-se solo, clima e manejo (Bullock et al., 2019), em especial nos ambientes de produção.

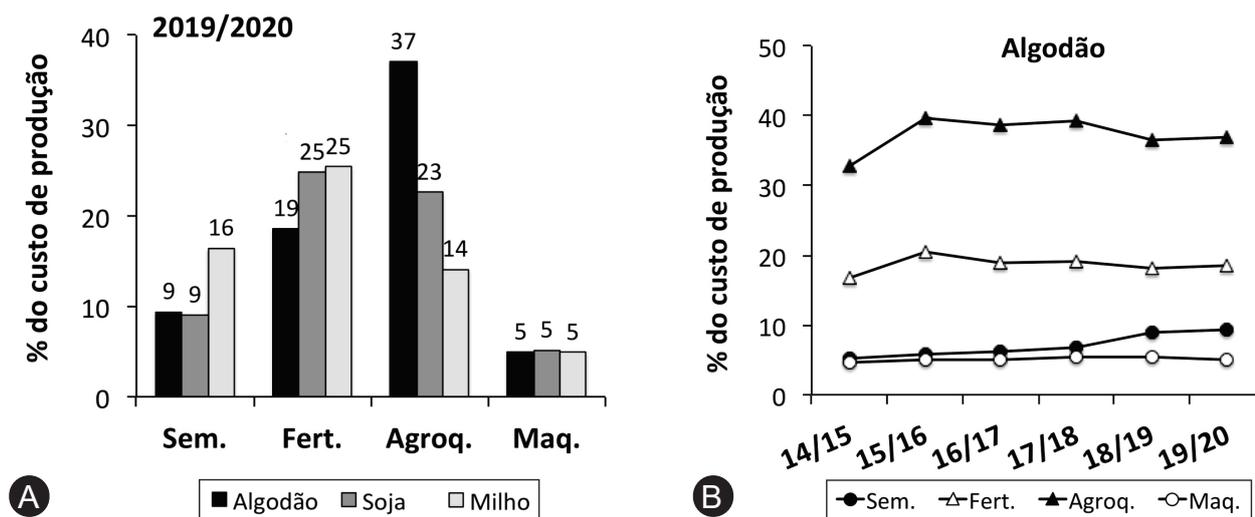


Figura 1. Contribuição dos insumos semente (Sem.), fertilizante (Fert.), agroquímico (Agroq.) e maquinário (Maq.) no custo total de produção para o algodão, soja e milho (A) na safra 2019/2020 para os estados de MT, BA, GO, MS e MG e a evolução nas últimas seis safras para o algodão (B) (Conab, 2021).

Apesar de não ser um tema novo na área de agricultura de precisão, a OFPE tem ganhado relevância nos últimos anos. As pesquisas têm focado principalmente na definição de procedimentos para o delineamento experimental (em faixas ou blocos), em técnicas de análise estatística dos dados e na formação de redes para a geração e análise intensiva dos dados (Lawes; Bramley, 2012; Thöle et al., 2013; Richter et al., 2015; Alesso et al., 2019, 2020; Vargas Hernández et al., 2019; Kyveryga, 2019; Laurent et al., 2019; Rakshit et al., 2020; Evans et al., 2020; Bullock et al., 2020; Trevisan et al., 2021; Cho et al., 2021).

Este trabalho apresenta estudos de caso da experimentação on-farm na cultura do algodão em talhões de produção comercial no Mato Grosso, com avaliação da resposta da produtividade para diferentes doses de nitrogênio em cobertura e diferentes populações de plantas (sementes por metro) em três áreas, e avaliação de regulador de crescimento em duas áreas. Em dois talhões, os experimentos consistiram em parcelas virtuais casualizadas utilizando mais de metade das áreas dos talhões, os quais foram considerados como unidades homogêneas, enquanto que, em um terceiro, os tratamentos foram aplicados em três zonas de manejo (ZM) com diferentes potenciais produtivos, previamente mapeadas por técnicas de agrupamento de variáveis.

Material e Métodos

Os estudos foram conduzidos em três talhões experimentais selecionados em parceria com o Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt) e produtores parceiros, no município de Sapezal, com cultivo de algodão de segunda safra. Os talhões A (204 ha) e B (191 ha) estão localizados na Fazenda Três Lagoas, pertencente ao grupo Scheffer, e o talhão C (174 ha) na Fazenda Tucunaré,

do grupo Amaggi. Informações dos cultivos e da localização dos talhões são apresentadas na Tabela 1 e na Figura 2. O espaçamento de semeadura entre linhas foi de 0,9 m nos três talhões.

Tabela 1. Informações dos talhões e de alguns aspectos de manejo utilizados nos experimentos on-farm com algodão na safra 2019/2020. Fazenda Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Fazenda Tucunaré (Grupo Amaggi), Sapezal, MT.

Talhão	Grupo	Área ha	Coordenadas		Data		Cultivar	Produtividade kg ha ⁻¹
			Lat	Long	Semeadura	Colheita		
A	Scheffer	191	-13,243	-58,809	02/02/20	13/08/20	FM 954 GLT	3.876
B	Scheffer	204	-13,258	-58,704	30/01/20	08/08/20	FM 944 GL	4.551
C	Amaggi	174	-13,584	-58,884	27/12/19	13/07/20	TMG 81WS	4.239



Figura 2. Localização dos três talhões (A, B e C) onde foram realizados experimentos on-farm com a cultura do algodão. Fazenda Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Fazenda Tucunaré (Grupo Amaggi), Sapezal, MT.

Fonte: Google Earth Pro (2022).

A Figura 3 apresenta os contornos dos talhões e as parcelas virtuais dos tratamentos, cujas doses e taxas aplicadas estão descritas na Tabela 2.

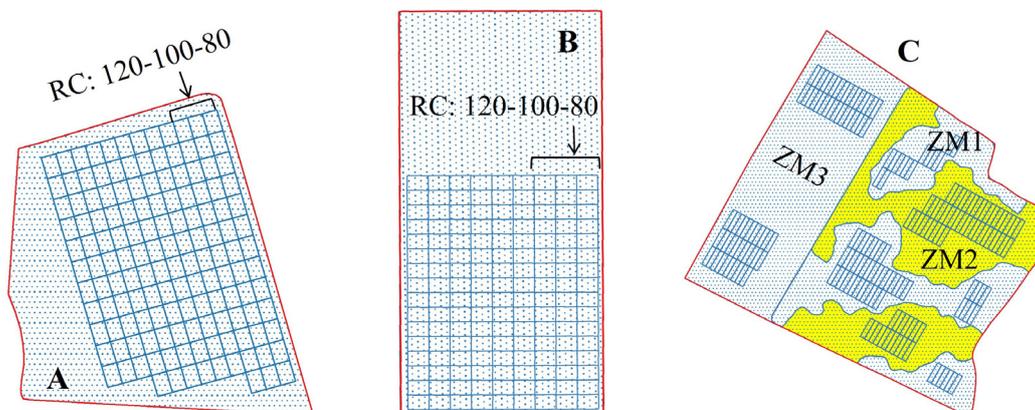


Figura 3. Delineamento das parcelas virtuais (retângulos em azul) nos talhões A, B e C de cultivo de algodão. Experimentos on-farm instalados nas Fazendas Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Tucunaré (Grupo Amaggi), Sapezal, MT. (RC: regulador de crescimento; ZM: zona de manejo).

Tabela 2. Informações das parcelas virtuais e tratamentos dos experimentos on-farm com algodão nos talhões A, B e C, durante a safra 2019/2020. Fazenda Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Fazenda Tucunaré (Grupo Amaggi), Sapezal, MT.

Talhão	Parcelas on-farm		Tratamento			
	nº	área (ha)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	População (semente m ⁻¹)	RC	Rep.
A	144	0,8	53-102-148-192	6-9,5-13	80-100-120 ^(a)	4
B	144	0,8	45-99-158-196	6-9,5-13	80-100-120 ^(a)	4
C	ZM1	64	140-200-250-300	7,7-9,9-12-14,2	160 ^(b)	4
	ZM2	64		7,7-8,8-9,9-12	220 ^(b)	4
	ZM3	64		7,7-8,8-9,9-11	130 ^(b)	4

RC: regulador de crescimento; Rep.: número de repetições por tratamento.

^(a)percentual em relação à dose de referência da fazenda (100%).

^(b)dose total aplicada (mL ha⁻¹) nas zonas de manejo ZM1, ZM2 e ZM3.

Os tratamentos on-farm nos talhões A e B consistiram em quatro doses de nitrogênio em cobertura, três densidades de sementes (sementes aptas m⁻¹), três doses de regulador de crescimento, com quatro repetições (Tabela 2), totalizando 144 parcelas virtuais de, aproximadamente, 0,8 hectare (74 m x 106 m) cada. A largura da parcela foi definida em função da largura da barra dos implementos. O regulador de crescimento foi aplicado em faixas, conforme ilustrado na Figura 3, para facilitar a operacionalização do pulverizador, enquanto que as parcelas com diferentes densidades de sementes e doses de nitrogênio foram distribuídas aleatoriamente e os respectivos mapas foram baixados na plantadeira John Deere modelo DB74, e pulverizador autopropelido John Deere modelo Pv 4730, para o estabelecimento dos experimentos on-farm nos dois talhões. As doses de nitrogênio em cobertura foram fracionadas em três aplicações, sendo uma a taxa fixa e duas a taxa variável. A dose 100% de RC aplicada às faixas designadas foi de 705 mL ha⁻¹ para o talhão B (cinco aplicações de cloreto de mepiquat, sendo três a taxa variável) e de 403 mL ha⁻¹ para o talhão A (três aplicações, sendo duas a taxa variável). Os mapas de produtividade foram obtidos com colhedoras John Deere modelo CP690, equipadas com monitores de colheita devidamente calibrados e posteriormente aferidos pelos valores reais das produções nos dois talhões.

No talhão C, os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio, quatro densidades de sementes e quatro repetições, sendo replicados em três ZMs, definidas conforme procedimento descrito posteriormente, totalizando 192 parcelas virtuais de 0,2 ha (22 m x 100 m) cada. Nesse caso, foi necessária a redução da dimensão da parcela, comparativamente às parcelas dos talhões A e B (0,8 ha) para viabilizar a replicação do experimento nas três zonas com diferentes potenciais produtivos.

O delineamento das parcelas com diferentes populações e doses de N foram inteiramente casualizados e os respectivos mapas, aplicados por uma plantadeira DB74 da John Deere e distribuidor Hercules 10000 da Stara (N fracionado em sete aplicações). Quanto ao regulador de crescimento, foram realizadas aplicações a taxa variável, por zona (Tabela 2), utilizando o pulverizador Uniport 3030 da Jacto, visando a compensar o efeito dos diferentes potenciais produtivos de cada zona no crescimento do algodão, de forma que o efeito do nitrogênio e da população pudessem ser avaliados e comparados entre as ZM. O mapa de produtividade foi obtido com a colhedora CP690 da John Deere, com posterior aferição pela produção total quantificada no talhão.

As variabilidades espaciais dos talhões foram caracterizadas por meio do mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo (CEa), do teor de argila, da topografia (altitude e declividade) e de índices de vegetação obtidos por drones e imagens de satélites. Os mapas de CEa foram adquiri-

dos nas camadas de 0-30 cm (CEa_{0-30}) e 0-90 cm (CEa_{0-90}), pelo sistema Veris3100, com linhas de amostragem distanciadas de 15 m, coletados antes do plantio das safras de algodão. Os mapas de altitude foram obtidos a partir dos dados do GPS (resolução RTK) durante a colheita. Os índices de vegetação (índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI e índice de vegetação por diferença normalizada Red Edge - NDRE) foram calculados a partir de bandas espectrais obtidas pelo sensor RedEdge-M (Micasense) embarcado em um drone Matrice 200 (DJI), e pelo sensor MSI embarcado no Satélite Sentinel-2. Para o mapeamento dos teores de argila, foram coletadas 20 amostras no talhão A, 135 no B e 170 no C, em grade regular e analisadas de acordo com a metodologia descrita por Donagemma et al. (2017), e os dados foram submetidos à análise de semivariância e *krigagem* (método utilizado em geoestatística para interpolar dados) para a geração dos mapas interpolados de argila. As zonas de manejo do talhão C foram definidas utilizando sete camadas de informações (CEa_{0-30} , CEa_{0-90} , NDVI e NDRE obtidos por drone em maio e junho de 2019 e a produtividade na safra 2019, pelo método de Ward (Ward Junior, 1963). O software QGIS foi utilizado para a confecção e exibição dos mapas, bem como para cálculos, reamostragens, recortes e análises estatísticas. As curvas de resposta das doses dos tratamentos com a produtividade foram estabelecidas pela correlação direta entre essas variáveis.

Resultados e Discussão

Os mapas de variabilidade espacial dos teores de argila, da condutividade elétrica aparente (CE_{0-30cm}) e da altitude são apresentados na Figura 4 (utilizando a mesma escala de cores, para facilitar a comparação, nos três talhões para cada atributo). Na Tabela 3 são apresentados os valores médios, desvios padrão (DP) e coeficientes de variação dos atributos em cada talhão.

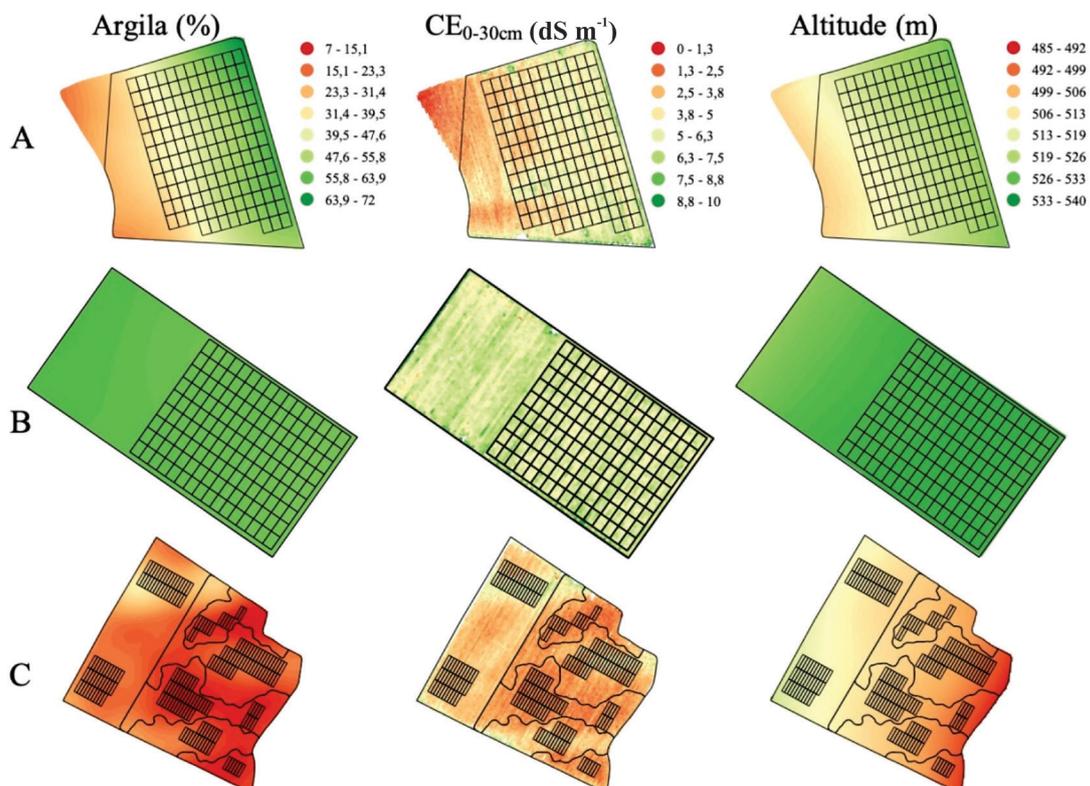


Figura 4. Mapas dos teores de argila, condutividade elétrica aparente do solo (CE_{0-30cm}) e altitude dos talhões A, B e C onde foram instalados os ensaios on-farm na safra 2019/2020. Fazenda Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Fazenda Tucunaré (Grupo Amaggi), Sapezal, MT.

Tabela 3. Valores médios (M), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos atributos do solo (argila e condutividade elétrica - CE), altitude e produtividade nos três talhões onde foram instalados os ensaios on-farm com algodão na safra 2019/2020. Para o talhão C os dados são também apresentados para as três zonas de manejo (ZM). Fazenda Três Lagoas (Grupo Scheffer) e Fazenda Tucunará (Grupo Amaggi), Sapezal, MT.

Talhão	Argila			CE _{0-30cm}			Altitude			Produtividade		
	M	DP	CV	M	DP	CV	M	DP	CV	M	DP	CV
	%			mS m ⁻¹			m			kg ha ⁻¹		
A	43,9	13,3	30,3	4,5	1,4	32,2	518,1	6,8	1,3	3.876	824	21,2
B	62,0	0,8	1,3	6,1	0,9	14,1	533,7	2,0	0,4	4.551	777	17,2
C	16,6	5,7	34,3	3,1	1,1	33,9	504,1	7,0	1,4	4.239	1.035	24,4
C-ZM1	11,8	2,1	18,1	2,2	0,3	14,1	500,7	5,8	1,2	3.950	650	16,8
C-ZM2	16,2	3,9	24,2	3,2	0,8	26,3	499,7	4,7	1,0	4.541	459	10,1
C-ZM3	20,9	5,3	25,5	3,7	0,7	19,8	511,0	2,6	0,5	4.280	291	6,8

O talhão A mostrou gradiente bastante acentuado nos teores de argila, CE_{0-30cm} e altitude (aumentando da esquerda para a direita), com nítida correlação entre essas três variáveis. Já o talhão B apresentou distribuições mais homogêneas nas características do solo (argila e condutividade elétrica), bem como na topografia (altitude). No caso do talhão C, verificou-se variabilidade espacial no solo e na altitude, porém a correlação foi alta entre argila e CE_{0-30cm}, mas baixa entre altitude e as características do solo (argila e CE_{0-30cm}). Além de bastante homogêneo, o talhão B mostrou os maiores valores de argila, condutividade elétrica e altitude, enquanto o talhão C encontrou-se em uma região com menor altitude e, como consequência da sua posição na toposequência e dos processos geomorfológicos, apresentou os menores teores de argila e CE_{0-30cm}.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os mapas de produtividade do algodoeiro e de aplicação de sementes e nitrogênio nas parcelas on-farm dos três talhões. Nos talhões A e B foi possível observar parcelas on-farm com altas e baixas produtividades (tonalidades mais verdes ou vermelhas, respectivamente), como resultado da combinação das doses nos tratamentos (sementes, nitrogênio e regulador de crescimento). Já no talhão C essa visualização foi mais difícil, devido ao tamanho muito menor das parcelas (0,2 ha).

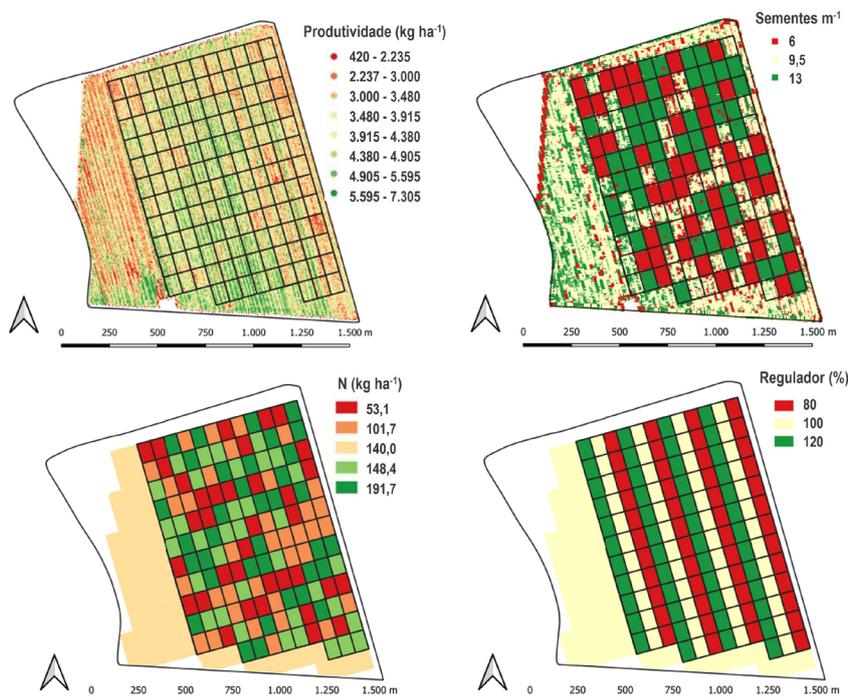


Figura 5. Mapa de produtividade do algodoeiro no talhão A, safra 2019/2020, densidade de semeadura (sementes m⁻¹), doses de nitrogênio (N) e regulador de crescimento aplicados nas parcelas on-farm. Sapezal, MT.

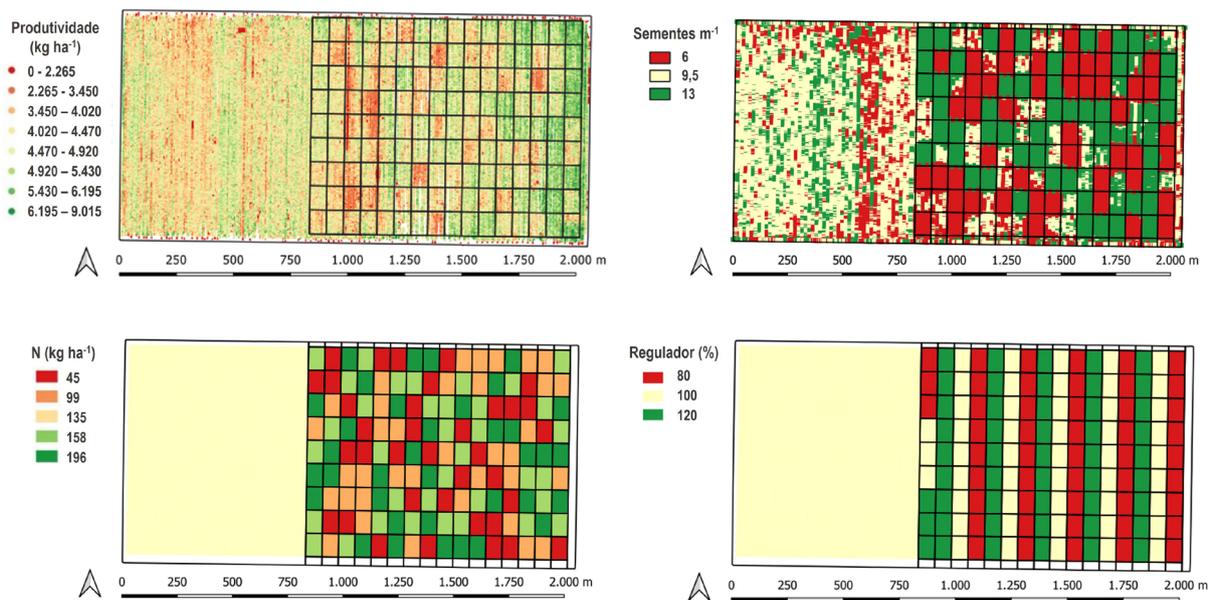


Figura 6. Mapa de produtividade do algodoeiro no talhão B, safra 2019/2020, densidade de semeadura (sementes m⁻¹), doses de nitrogênio (N) e regulador de crescimento aplicados nas parcelas on-farm. Sapezal, MT.

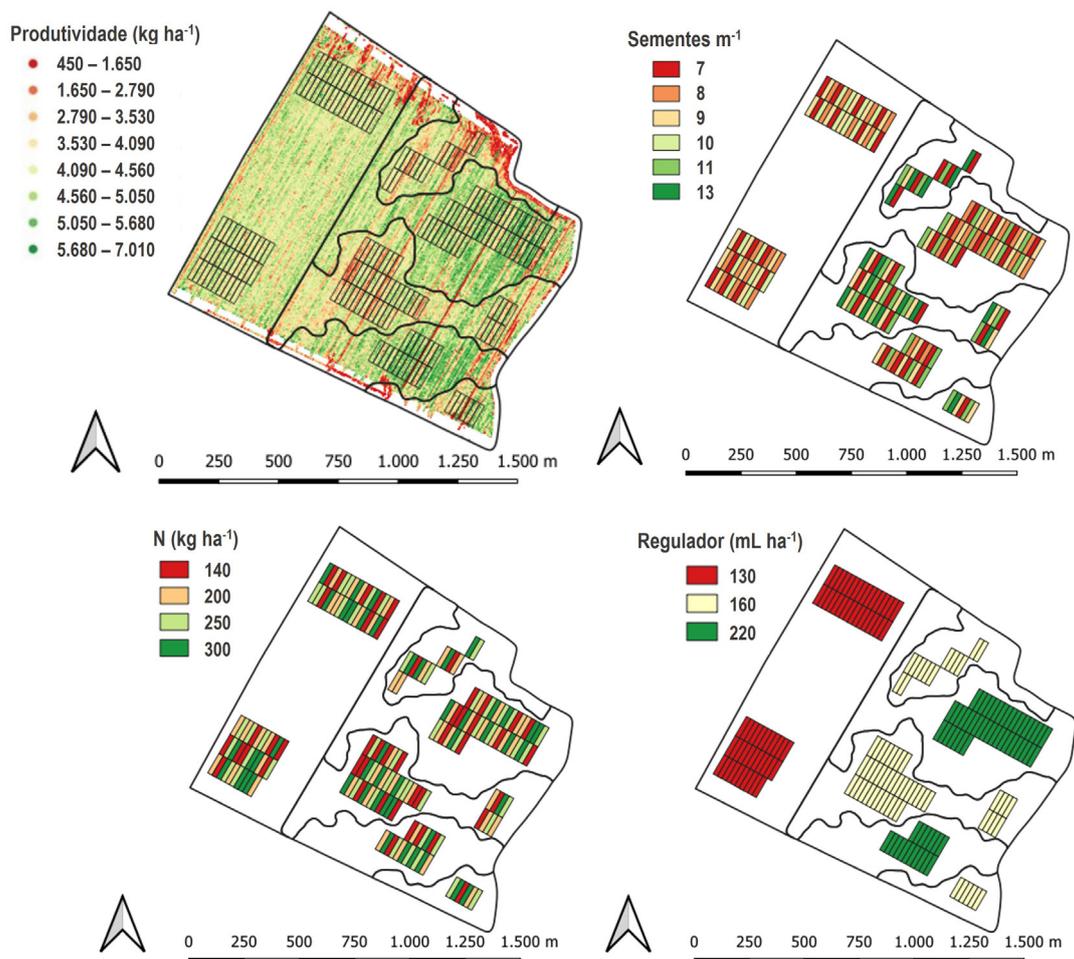


Figura 7. Mapa de produtividade do algodoeiro no talhão C, safra 2019/2020, densidade de semeadura (sementes m⁻¹), doses de nitrogênio (N) e regulador de crescimento aplicados nas parcelas on-farm. Sapezal, MT.

Para a construção das curvas de resposta da produtividade com as doses dos insumos, foram feitas médias desses atributos para todas as parcelas individualmente. As correlações da produtividade com as doses dos insumos são apresentadas para os talhões A e B de forma integral, sem discriminação por zonas (Figura 8 e 9) e, para o talhão C, nas três zonas de manejo com diferentes potenciais produtivos (Figura 10).

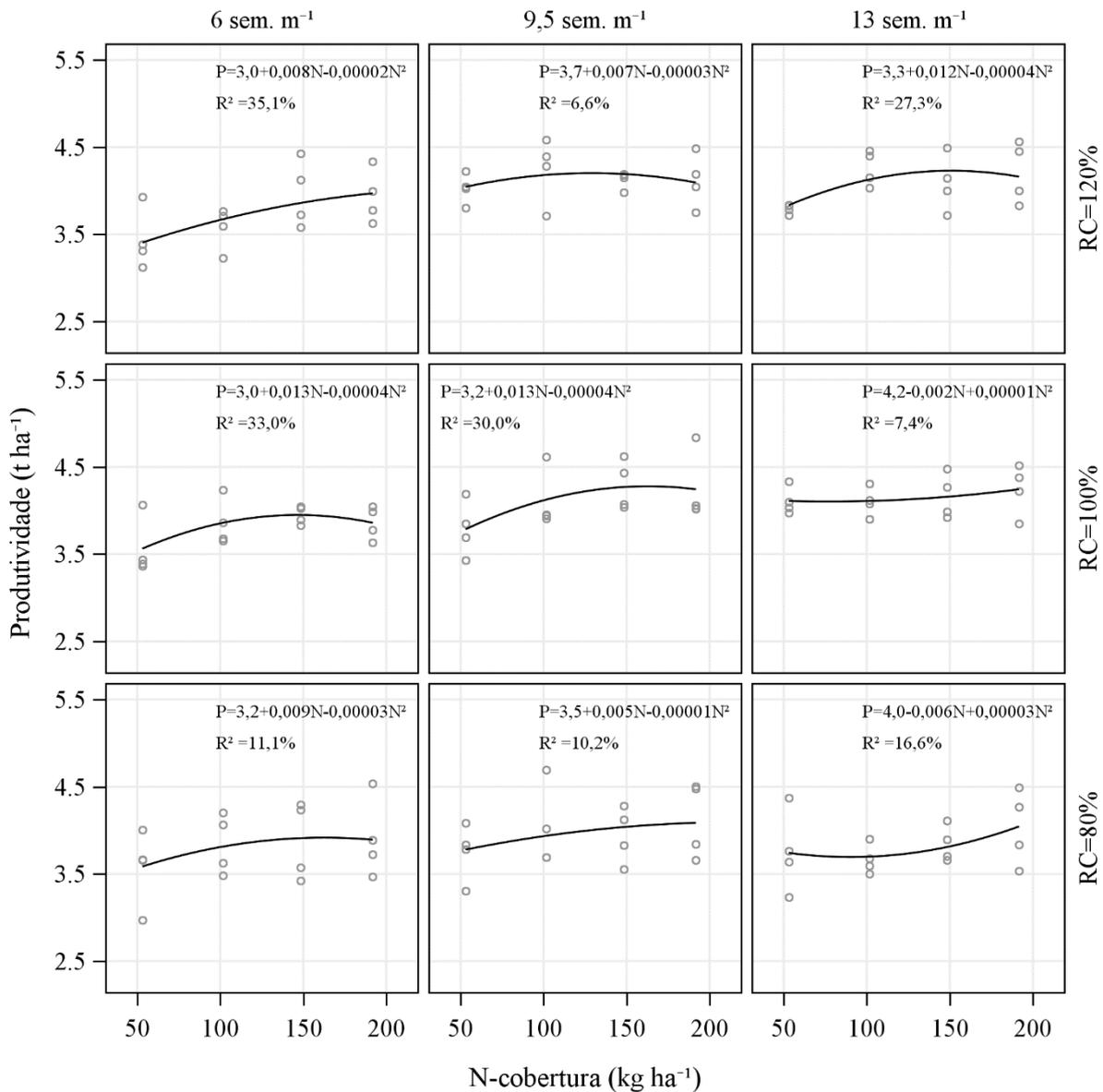


Figura 8. Curvas de resposta da produtividade do algodoeiro (t ha⁻¹) para diferentes doses de nitrogênio (N) em cobertura, densidade de semeadura (Pop) e regulador de crescimento (RC) para o talhão A. Sapezal, MT.

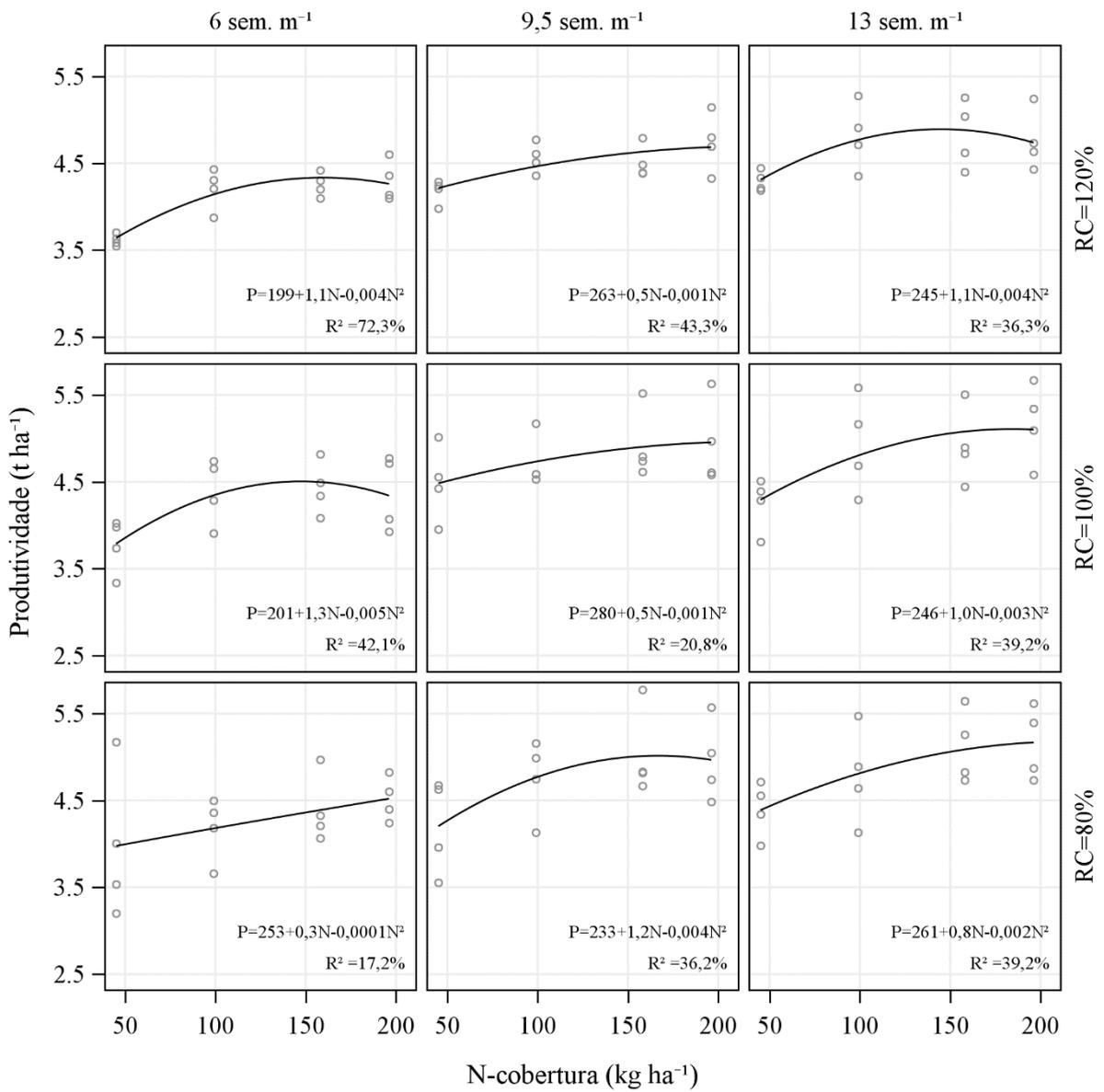


Figura 9. Curvas de resposta da produtividade do algodoeiro (t ha⁻¹) para diferentes doses de nitrogênio (N) em cobertura, densidade de sementeira (Pop) e regulador de crescimento (RC) para o talhão B. Sapezal, MT.

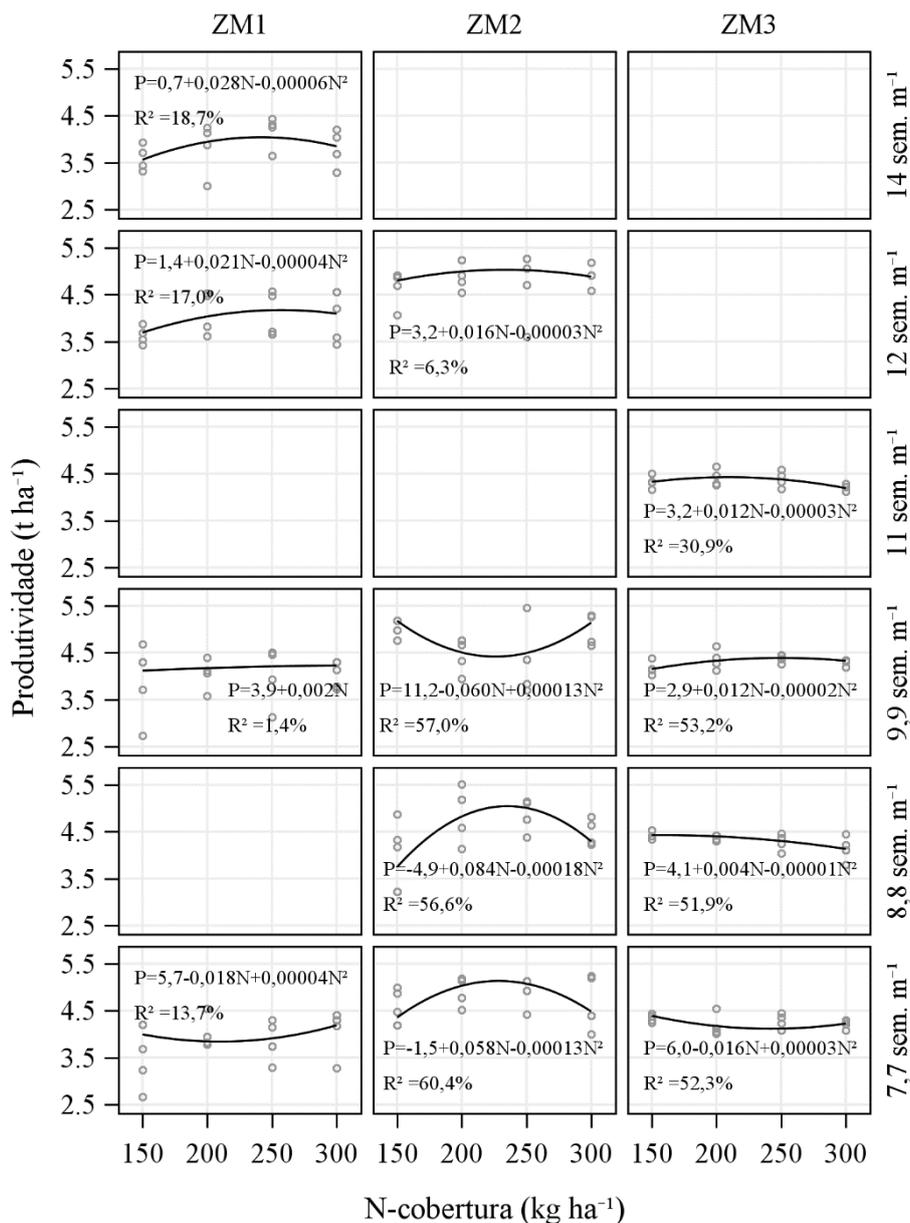


Figura 10. Curvas de resposta da produtividade do algodoeiro (t ha⁻¹) para diferentes doses de nitrogênio (N) em cobertura, densidade de semeadura (sem m⁻¹) por zona de manejo (ZM) para o talhão C. Sapezal, MT.

No talhão B (média de argila de 62% e homogêneo) a melhor combinação de tratamentos foi para 13 sementes m⁻¹, RC 80 % do valor de referência da fazenda para o talhão e 158 kg de nitrogênio ha⁻¹, uma vez que a dose maior de 196 kg ha⁻¹ não proporcionou aumento significativo na produtividade (Figura 9), para a cultivar utilizada (FM 944GL). Ou seja, a taxa máxima de sementes, a dose mínima de RC e a terceira maior dose de N testada. Nesse caso, a produtividade média das quatro repetições foi de 5.115 kg ha⁻¹, ou seja, 12% acima da média da produtividade do talhão (4.551 kg ha⁻¹). Já no talhão A (média de argila de 43%, com gradiente textural elevado), as doses com os maiores rendimentos foram as de 150 kg de N ha⁻¹, 9,5 sementes m⁻¹ e RC 100%, com média de 4.292 kg ha⁻¹, ou seja, 11% acima da média no talhão (3.876 kg ha⁻¹), para a cultivar FM 954 GLT (Figura 8).

O experimento on-farm realizado em ZMs no talhão C mostrou que, em média, a produtividade foi mais alta na ZM2 (4.541 kg ha⁻¹), mais baixa na ZM1 (3.950 kg ha⁻¹) e intermediária na ZM3 (4.280 kg ha⁻¹), considerando as diferentes combinações de tratamentos (Tabela 3). De modo geral, verificou-se uma grande dispersão dos dados, principalmente para as ZM2 e ZM3, não havendo uma tendência clara de aumento de produtividade para as diferentes doses de N e população (Figura 10). Isso ocorreu provavelmente pelo tamanho muito reduzido das parcelas utilizadas no experimento on-farm deste talhão (0,2 ha).

Considerações Finais

A maioria dos estudos com experimentação on-farm tem avaliado a resposta da produtividade em função de doses de um único insumo, como nitrogênio, por exemplo (Rakshit et al., 2020) ou até dois insumos, como nitrogênio e sementes (Trevisan et al., 2021). Neste trabalho, foram avaliados os efeitos combinados de três insumos (sementes, nitrogênio de cobertura e regulador de crescimento) em dois talhões com cultivo de algodão (A e B) no estado do Mato Grosso. Isso foi possível devido às grandes dimensões desses talhões, que em geral podem variar entre 100 ha e 400 ha. Em um terceiro talhão (C), foram avaliadas as respostas de sementes e nitrogênio em três zonas com diferentes potenciais produtivos dentro do talhão, com o objetivo de obterem-se subsídios para o manejo à taxa variável por zona nessa área, visando à otimização no uso dos insumos e ao aumento da produtividade.

Os resultados obtidos para os talhões A e B mostraram efeitos consistentes dos insumos avaliados na produtividade, possibilitando a otimização das doses para as condições avaliadas. Entretanto, para o talhão C, houve pouco efeito das doses de nitrogênio e populações nas três ZMs. Isso pode ter sido ocasionado pelo tamanho da parcela virtual (0,2 ha), que foi reduzida para conter os tratamentos e repetições planejadas, nas três ZMs. Como há erros envolvidos em todas as operações (plantio, aplicações de N e regulador de crescimento, e colheita), parcelas maiores tendem a melhorar a estatística dos tratamentos, enquanto que parcelas pequenas podem fornecer dados pouco representativos para os tratamentos devido aos erros inerentes às operações de campo. Para a execução adequada de experimentos on-farm é fundamental que sejam obtidos mapas de produtividade (variável alvo) com qualidade adequada, bem como devem ser minimizados os erros operacionais das aplicações dos insumos nas parcelas virtuais. Além disso, deve-se evitar o uso de parcelas virtuais muito reduzidas. No caso do estudo apresentado, as parcelas de 0,8 ha foram as mais adequadas.

A experiência no processo de condução de estudos on-farm demonstrou que é fundamental conhecer a variabilidade espacial dos parâmetros de solo e da cultura para identificar a necessidade ou não de definir zonas de manejo para a condução de experimentação on-farm. Isso ficou evidente nos casos apresentados. No talhão A, o experimento on-farm foi implantado sem considerar a variabilidade espacial dos parâmetros de solo e da cultura. A análise dos atributos do solo e da topografia, realizada posteriormente, demonstrou que a melhor estratégia seria definir duas ou três zonas de manejo e estabelecer os experimentos nestas zonas. No caso do talhão B, a variabilidade foi mínima, sendo, portanto, adequado o delineamento utilizado e as recomendações válidas para aplicações a taxa fixa. O caso mais complexo foi o do talhão C, onde a experiência prévia da fazenda, já havia demonstrado a necessidade de trabalhar com o conceito de zonas de manejo, principalmente em relação ao regulador de crescimento. As experiências apresentadas demonstraram que as ferramentas utilizadas foram extremamente úteis para o desenvolvimento de processos produtivos (tomadas de decisão) mais assertivos e que exigem maior qualidade das informações coletadas.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. Área, produção e produtividade Brasil. Disponível em: www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Área, Produção e Produtividade Brasil.aspx. Acesso em: 20 dez. 2021.
- ALESSO, C. A.; CIPRIOTTI, P. A.; BOLLERO, G. A.; MARTIN, N. F. Experimental designs and estimation methods for on-farm research: a simulation study of corn yields at field scale. **Agronomy Journal**, v. 111 n. 6, p. 2724-2735, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0142>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- ALESSO, C. A.; CIPRIOTTI, P. A.; BOLLERO, G. A.; MARTIN, N. F. Design of on-farm precision experiments to estimate site-specific crop responses. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1366-1380, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20572>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- BULLOCK, D. S.; BOERNGEN, M.; TAO, H.; MAXWELL, B.; LUCK, J. D.; SHIRATSUCHI, L.; 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.
- BULLOCK, D. S.; MIENO, T.; HWANG, J. The value of conducting on-farm field trials using precision agriculture technology: a theory and simulations. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 1027-1044, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09706-1>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- CHO, J. B.; GUINNESS, J.; KHAREL, T.; MAREMA, A.; CZYMMEK, K. J.; AARDT, J.; KETTERINGS, Q. M. Proposed method for statistical analysis of on-farm single strip treatment trials. **Agronomy**, v. 11, n. 10, 2042, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102042>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- CONAB. **Custos de produção**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95-116.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Cotton: world markets and trade**. June 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/cotton.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- EVANS, F. H.; SALAS, A. R.; RAKSHIT, S.; SCANLAN, C. A.; COOK, S. E. Assessment of the use of geographically weighted regression for analysis of large on-farm experiments and implications for practical application. **Agronomy**, v. 10, n. 1720, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111720>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- INSTITUTO MATO GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Relatórios de mercado**. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- KYVERYGA, P. M. On-farm research: experimental approaches, analytical frameworks, case studies, and impact. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2633-2635, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.11.0001>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- LAURENT, A.; KYVERYGA, P.; MAKOWSKI, D.; MIGUEZ, F. A Framework for visualization and analysis of agronomic field trials from on-farm research networks. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2712-2723, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.02.0135>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- LAWES, R. A.; BRAMLEY, R. G. V. A simple method for the analysis of on-farm strip trials. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 2, p. 371-377, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0155>. Acesso em: 9 ago. 2022.
- RAKSHIT, S.; BADDELEY, A.; STEFANOVA, K.; REEVES, K.; CHEN, K.; CAO, Z.; EVANS, F.; GIBBERD, M. Novel approach to the analysis of spatially-varying treatment effects in on-farm experiments. **Field Crops Research**, v. 255, 107783, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107783>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- RICHTER, C.; KROSCHEWSKI, B.; PIEPHO, H. P.; SPILKE, J. Treatment comparisons in agricultural field trials accounting for spatial correlation. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 7, p. 1187-1207, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859614000823>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- THÖLE, H.; RICHTER, C.; EHLERT, D. Strategy of statistical model selection for precision farming on-farm experiments. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 4, p. 434-449, 2013. DOI: 10.1007/s11119-013-9306-9.
- TREVISAN, R. G.; BULLOCK, D. S.; MARTIN, N. F. Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 342-363, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09720-8.

VARGAS HERNÁNDEZ, M.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; MONTESINOS-LÓPEZ, O. A.; MONTESINOS-LÓPEZ, A.; BURGUEÑO, J.; CROSSA, J. Modeling genotype x environment interaction using a factor analytic model of on-farm wheat trials in the Yaqui Valley of Mexico. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2647-2657, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0361>. Acesso em: 20 jul. 2022.

WARD JUNIOR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, Mar. 1963. Disponível em: <http://iv.cns.iu.edu/sw/data/ward.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.