

Indicações metodológicas para a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão

Methodological indications for carrying out on-farm trials within the scope of Precision Agriculture

João Leonardo Fernandes Pires¹, Ziany Neiva Brandão², Álvaro Vilela de Resende³, Célia Regina Grego⁴, Edison Ulisses Ramos Junior⁵, Carlos Manoel Pedro Vaz⁶, Julio Cezar Franchini dos Santos⁷, Ronaldo Pereira de Oliveira⁸, Christian Bredemeier⁹, André Luis Vian¹⁰, Carolina Trentin¹¹

¹ Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo (RS), Brasil, joao.pires@embrapa.br

² Analista, Embrapa Algodão, Campina Grande (PB), Brasil, ziany.brandao@embrapa.br

³ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas (MG), Brasil, alvaro.resende@embrapa.br

⁴ Pesquisadora, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, celia.grego@embrapa.br

⁵ Pesquisador, Embrapa Soja/Agrosilvipastoril, Sinop (MT), Brasil, edison.ramos@embrapa.br

⁶ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, carlos.vaz@embrapa.br

⁷ Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina (PR), Brasil, julio.franchini@embrapa.br

⁸ Pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, ronaldo.oliveira@embrapa.br

⁹ Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil, cbredemeier@gmail.com

¹⁰ Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil, vian.agronomo@gmail.com

¹¹ Doutoranda da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo (RS), Brasil, carolinatrentin@live.com

RESUMO

A realização de ensaios na fazenda (on-farm) é uma oportunidade importante para a identificação de produtos e processos, bem como doses e interações, específicos para uso nas áreas comerciais, considerando a variabilidade das mesmas. No contexto da Agricultura de Precisão (AP), esses ensaios são fundamentais para o uso de insumos em taxa variável e podem ser facilitados pela disponibilidade de ferramental já utilizado na rotina de muitas fazendas. O objetivo deste trabalho foi apresentar algumas indicações metodológicas para a realização de ensaios on-farm com foco na AP, advindas da experiência acumulada na Rede AP da Embrapa. Por meio de estudos de caso realizados em fazendas em diferentes regiões do Brasil, envolvendo as culturas de algodão, cana-de-açúcar, soja, milho e trigo, foi possível exercitar a realização de experimentos on-farm, com suas potencialidades e dificuldades. Foi possível identificar e/ou validar questões metodológicas importantes para a realização adequada de ensaios on-farm, que podem se somar ao conhecimento disponível sobre o assunto.

Palavras-chave: agricultura de precisão; rede; Embrapa.

ABSTRACT

On-farm trials are an important opportunity to identify products and processes, as well as doses and interactions, specific for use in commercial areas, considering their variability. In the context of Precision Agriculture (PA), it is fundamental for the use of inputs at a variable rate and can be facilitated by the availability of tools already used in many farms. The main goal of this work is to present some methodological indications to carry out on-farm trials with a focus on PA, resulting from the experience accumulated in Embrapa's PA Network. Through case studies on farms in different regions of Brazil, involving cotton, sugarcane, soybean, corn, and wheat, it was possible to carry out on-farm trials, with their potentiality and difficulties. It was possible to identify and/or validate important methodological issues for the proper usage of on-farm trials, which can be added to the available knowledge on the subject.

Keywords: precision agriculture; network; Embrapa.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000019>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

1 INTRODUÇÃO

A realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão (AP) deve basear-se em princípios e metodologias adequadas para que se possa obter o máximo retorno dessa abordagem. No Brasil, várias instituições, empresas e agricultores utilizam ensaios on-farm como parte do ciclo da AP. Portanto, existe acúmulo considerável de experiências sobre o tema, mas que estão fragmentadas em diversas regiões, sistemas de cultivo e níveis de evolução. A Rede Embrapa, por meio de experiências realizadas no tema, busca contribuir com algumas indicações técnicas sobre a realização de ensaios on-farm. Algumas delas são princípios que podem ser aplicados de forma generalizada, enquanto outras requerem contextualização e adaptação para as diferentes realidades.

Os objetivos principais da realização de ensaios on-farm podem ser sintetizados em: identificação de tecnologias – envolvendo produtos e processos – mais apropriadas para uso específico (em escala de talhão para cada propriedade) e, no conjunto de ensaios avaliados, a identificação de tecnologias com melhor desempenho para uso geral (indicação generalizada).

No contexto da AP, parece mais relevante, para os interesses dos agricultores, o objetivo de gerar informações para auxílio nas decisões de manejo específicas para cada talhão, pois estão associadas ao conceito de existência de variabilidade nos condicionantes do rendimento de grãos. Assim, na medida em que esta variabilidade é exclusiva de cada talhão, há necessidade de ser tratada com manejo específico. Embora redes de ensaios com desenhos similares possam ser úteis, sua relevância para o agricultor individual é secundária, sendo estas mais direcionadas para atender às demandas dos desenvolvedores das tecnologias e considerações comerciais. No entanto, isso não deve impedir o compartilhamento de resultados e o aprendizado colaborativo, especialmente no que diz respeito a questões, situações e desafios comuns enfrentados pelos agricultores.

Após estabelecer o objetivo da pesquisa, o próximo passo é a realização propriamente dita de cada ensaio específico. Ketterings et al. (2012) delineiam sete etapas – não exclusivas para AP – para a realização de ensaios on-farm: (1) identificação do problema de pesquisa; (2) definição do desenho e formato das parcelas; (3) seleção da área ou talhão apropriado; (4) execução do ensaio; (5) coleta de dados; (6) análise de dados, e (7) extração de aprendizados a partir dos dados obtidos e repetição do processo, se necessário.

A condução de experimentos on-farm com o objetivo de gerar informações para uma propriedade específica pode ser realizada por meio da utilização de equipa-

mentos disponíveis ao agricultor. Indica-se que esses equipamentos estejam equipados com tecnologias, como GPS, sensores e dispositivos de distribuição à taxa variável, as quais possibilitam a automação dos processos de aplicação da tecnologia sob avaliação. Além disso, esses recursos também permitem o monitoramento da colheita, viabilizando a análise dos efeitos dos tratamentos sobre o rendimento de grãos e outras variáveis de interesse. Normalmente, as áreas de estudo são digitalmente demarcadas em parcelas grandes ou faixas, distinguindo os diferentes tratamentos das variáveis de interesse. Por exemplo, uma parcela pode conter a cultivar utilizada pelo produtor, enquanto outra parcela, a nova cultivar a ser avaliada. Além disso, os tratamentos devem conter pelo menos duas repetições na mesma área e safra. As parcelas podem ser demarcadas em áreas homogêneas previamente identificadas, como talhões com comportamento conhecido, ou cruzando regiões com potenciais produtivos distintos, como as zonas de manejo estabelecidas por meio de técnicas de agricultura de precisão. O importante é que todos os tratamentos estejam presentes em todas as regiões. Podem ser utilizados sensores, como os sensores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), para monitorar o desenvolvimento da cultura e das parcelas durante o ciclo. Faz-se essencial a colheita com o uso de um monitor de produtividade, possibilitando assim a obtenção de mapas de rendimento que englobam as parcelas previamente delimitadas. Isso permite a análise do desempenho produtivo de cada tecnologia (insumo, cultivar, etc.) avaliada. Podem ainda ser feitas avaliações de solo ou das plantas nas parcelas durante e no final do ciclo, com o intuito de obter mais informações sobre os efeitos das tecnologias.

A Figura 1 ilustra o ciclo de realização de ensaios on-farm no contexto da AP, destacando as principais etapas e decisões que podem levar para caminhos diferentes em termos metodológicos e de obtenção dos resultados.

A Figura 1 também evidencia que a realização ou não do ensaio, o nível de complexidade, a resposta à pergunta formulada e a repetição do ensaio dependem do propósito e de fatores relacionados à disponibilidade de equipamentos e de informações, assim como da qualidade requerida na condução do ensaio. Por exemplo: caso haja disponibilidade de equipamentos bem calibrados para automatizar a condução, torna-se viável realizar ensaios mais complexos com maior facilidade e precisão. No entanto, mesmo com diferentes níveis dos recursos disponíveis nas propriedades, normalmente é possível utilizar repe-

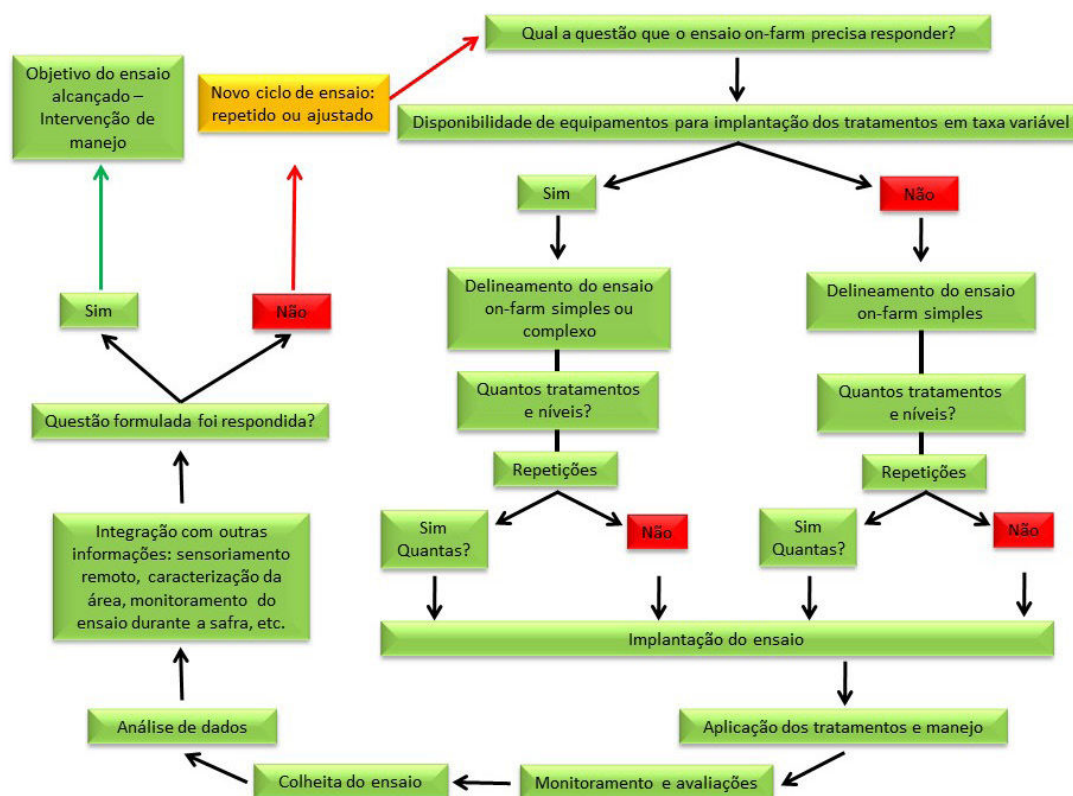


Figura 1. Ciclo de realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.
Fonte: adaptado de Bramley et al. (2006).

tições e realizar todas as etapas necessárias, incluindo a análise de dados, para alcançar os objetivos propostos no ensaio. Caso os objetivos do ensaio não sejam alcançados, é possível repeti-lo no mesmo formato ou com ajustes metodológicos para corrigir eventuais deficiências identificadas. Quando o ensaio atinge os objetivos com nível adequado de confiabilidade, as informações obtidas são utilizadas para auxiliar na tomada de decisões relativas ao manejo a ser implementado no talhão ou em toda a fazenda.

A seguir, são apresentadas e discutidas algumas sugestões metodológicas para as principais etapas na realização de ensaios on-farm no âmbito da AP, as quais devem ser adaptadas de acordo com a experiência dos usuários e as condições ambientais e de manejo específicas de cada sistema de produção.

2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA OU TECNOLOGIA A SER RESOLVIDA OU AVALIADA NOS ENSAIOS ON-FARM E FORMULAÇÃO DAS QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS

O primeiro passo na realização de um ensaio on-farm é a definição do problema específico ou da decisão de manejo/tecnologia a ser avaliada. Diversos fatores influenciam essa escolha, incluindo o nível de maturidade na adoção da AP na propriedade, a dispo-

nibilidade de equipamentos e a identificação dos fatores de manejo que limitam o rendimento de grãos ou a rentabilidade em cada situação específica, entre outros. Para Nielsen (2008), ao formular uma questão a ser respondida ou uma hipótese, esta deve ser simples, como, por exemplo, a comparação de herbicida A com B, e o milho tratado com fungicida *versus* o milho não tratado. Isso se deve ao fato de que ensaios demandam tempo, energia e recursos financeiros, e quanto mais complexos forem, maior será a exigência desses recursos. No entanto, quando se trata da necessidade de identificar a dose ideal de um insumo, como quantidade de semente ou fertilizante, é importante incluir uma faixa mais ampla de tratamentos. Isso possibilita a obtenção de dados suficientes para ajustar uma curva de regressão, permitindo a estimativa da máxima resposta econômica.

Na formulação da questão a ser respondida, também é importante considerar a magnitude da diferença esperada entre os tratamentos. Embora isso possa conter um elevado grau de incerteza, é um aspecto que deve ser ponderado na avaliação da efetividade do ensaio e dos ajustes metodológicos necessários. De acordo com Kindred et al. (2018), ensaios on-farm geralmente conseguem detectar diferenças no rendimento de grãos entre 0,3 e 0,5 tonelada por hectare, sendo que apenas aqueles muito precisos

conseguem evidenciar diferenças tão sutis quanto 0,1 tonelada por hectare. Assim, ensaios com fatores dos quais são esperadas pequenas diferenças entre tratamentos exigem uma maior precisão experimental ou da expectativa de resultados com menor grau de confiabilidade. Nesses casos, a conveniência de conduzir tais ensaios deve ser cuidadosamente avaliada, especialmente em culturas graníferas, cujos produtos comerciais têm baixo valor agregado.

Outro princípio fundamental da AP, que deve ser considerado ao se decidir sobre a realização de ensaios on-farm e orientar o desenho experimental, é o nível de variabilidade presente na área específica (talhão) objeto de estudo. Algumas áreas são tão homogêneas que possibilitam a realização de ensaios on-farm capazes de representar a totalidade da área, fornecendo informações sobre as tecnologias, doses ou taxas para uso que podem ser aplicadas em toda a área (taxa fixa). Em outro extremo, a variabilidade pode ser tão grande que impede a realização de ensaios on-farm com nível adequado de precisão, requerendo ações anteriores para minimizar a variabilidade existente. Para que seja possível escolher um caminho a seguir, é fundamental a caracterização prévia da área do estudo, por meio de diferentes “camadas de informações”, que vão desde mapa de classificação do solo presente na área (estudos de pedologia) até mapas de colheita (rendimento de grãos) de várias safras/culturas, que auxiliem na localização de regiões com diferenças no potencial de rendimento.

O entendimento, por parte do agricultor, sobre o objetivo e o potencial de uso dos resultados de experimentos on-farm é fundamental para o sucesso desse tipo de estratégia de pesquisa em AP. Muitas vezes, o agricultor não tem a dimensão real da oportunidade de aplicação dos dados gerados para sua lavoura (custo × benefício) e da necessidade de respeitar a metodologia proposta. É comum, no cotidiano da propriedade, ocorrerem dificuldades de implementação e condução dos ensaios on-farm, pois o agricultor prioriza os processos de manejo da lavoura, por exemplo, não respeitando os tratamentos (variações de manejo) propostos, não utilizando o monitor de colheita para quantificar os resultados das parcelas, entre outros. É fundamental que se entenda a necessidade de respeitar a metodologia proposta e pactuada no início do trabalho, com o contraste sugerido entre os tratamentos em estudo. Por outro lado, é importante que aqueles que propõem o ensaio (pesquisador, consultor, assistente técnico) compreendam que a área do agricultor não é análoga a uma estação experimental, onde se fazem estudos com grande número de parcelas e tratamentos, utilizando os princí-

pios da experimentação tradicional e do controle ambiental rigoroso. Sempre que possível, é essencial que o produtor se veja como um dos principais beneficiários do trabalho. Portanto, as metodologias empregadas devem ser as mais simples, permitindo a coleta dos dados necessários para a interpretação dos resultados, ao mesmo tempo em que facilitam o manejo operacional.

Na Tabela 1, são sumarizadas algumas sugestões de etapas ou procedimentos a serem considerados na definição do problema e nas possíveis respostas a serem buscadas por meio da realização de ensaios on-farm.

3 PLANEJAMENTO DE ENSAIOS ON-FARM

No processo de planejamento de experimentos on-farm, é geralmente previsto que a fazenda seja responsável por implementar e conduzir o ensaio, além de fornecer acesso aos dados espaciais e de manejo cultural. Por outro lado, ao(s) coordenador(es) dos ensaios, cabe: realizar o planejamento; realizar o acompanhamento das áreas (por meio de vistorias) durante o desenvolvimento da cultura e nas avaliações críticas, e processar os dados provenientes dos ensaios e fornecê-los de volta ao produtor, além de sumarizar as informações de diversos ensaios on-farm, dependendo do objetivo.

Um planejamento adequado aumenta significativamente a probabilidade de se obterem resultados válidos, reduzindo os ruídos e os riscos inerentes aos trabalhos realizados em lavouras comerciais.

A seleção da área para a realização dos ensaios on-farm varia de acordo com os objetivos específicos do estudo. Por exemplo, para a identificação da população ideal de plantas, podem ser escolhidas áreas que já estejam bem caracterizadas, com zonas de manejo definidas, permitindo a avaliação da melhor população para cada uma dessas zonas. No caso da avaliação de adubação ou de produtos fitossanitários, é recomendável escolher áreas com deficiência nutricional conhecida ou com presença confirmada da praga, respectivamente.

Uma etapa crucial do planejamento é o desenho (delineamento) do ensaio, com diversas opções possíveis, cada uma com suas vantagens e desvantagens. A escolha deve ser fundamentada em considerações, como o nível de caracterização da área do estudo e os tratamentos a serem utilizados.

A escolha do desenho experimental (faixas, blocos, delineamentos complexos, entre outros) também depende de fatores, como a disponibilidade de tecnologia para aplicação em taxa variável, o tipo de sensores e suas resoluções para monitoramento, o tempo

Tabela 1. Resumo dos principais passos na etapa de análise do problema/pergunta a ser respondido com a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos na análise do problema/pergunta a ser respondido com a realização de ensaios on-farm
Estabelecimento claro da(s) pergunta(s) a ser(em) respondida(s) e hipótese(s).
Busca prévia, se disponíveis, de resultados de pesquisa on-farm ou em estações experimentais (que representem a região do estudo) sobre o tema a ser abordado no ensaio on-farm em planejamento.
Verificação se as respostas encontradas em outros ensaios (on-farm ou nas estações experimentais) são suficientes para o balizamento de ações de manejo na área do estudo.
Definição se um ou mais ensaios on-farm, na mesma área, são necessários para responder à(s) pergunta(s) formulada(s).
Avaliação se o tema abordado no ensaio on-farm sofre grande influência das variações interanuais (clima, interação genótipo x ambiente, solo, etc.), necessitando a previsão de repetição por vários anos na mesma área.
Compartilhamento das informações sobre a filosofia de trabalho e cuidados necessários para realização de ensaios on-farm com toda a equipe de gestão e operacional da propriedade rural.
Identificação e estabelecimento, em conjunto com a equipe, de medidas mitigadoras para problemas que possam ocorrer no curso da realização dos ensaios on-farm.

disponível para conduzir o ensaio e a sua complexidade (Bramley et al., 2006).

A área selecionada pode exibir diferentes níveis de variabilidade e de detalhamento na caracterização. Para lidar com essa variabilidade, é possível utilizar o histórico da área e as ferramentas de AP. Sem a definição de Zonas de Manejo (ZMs), é possível alocar o ensaio sempre buscando dar as mesmas condições para os tratamentos, posicionando as parcelas ou faixas (tratamentos) perpendicularmente à direção da variabilidade. Assim, mesmo que afetados pela variabilidade, os efeitos seriam teoricamente equivalentes para todos os tratamentos. Por outro lado, caso a área apresente ZMs definidas, tanto os ensaios instalados em cada ZM quanto os que atravessam múltiplas ZMs tendem a produzir resultados mais uniformes quando avaliados separadamente em cada ZM.

Há outras questões fundamentais a serem consideradas no planejamento do ensaio e seus níveis são: (1) qual a distância do valor médio que um nível de tratamento deve ser posicionado para que haja diferenças significativas em rendimento e qualidade, e (2) até que ponto o produtor está disposto a aceitar uma possível perda de rendimento em tratamentos que, provavelmente, terão uma produção inferior à média da propriedade (Bramley et al., 2006).

Uma possibilidade utilizada por muitos produtores é dividir o talhão em dois ou mais tratamentos, sem repetição. Segundo Piepho et al. (2011), do ponto de vista estatístico, essa divisão do talhão consiste em uma única repetição. Isso implica que, para uma análise clássica válida, são necessários vários talhões divididos para estabelecer a significância do efeito dos tratamentos.

O tamanho das parcelas ou faixas deve ser compatível com os equipamentos utilizados em cada propriedade, considerando as variações regionais, o sistema de produção e os níveis tecnológicos adotados pelos produtores. Em geral, é indicado que a largura da parcela seja pelo menos duas vezes maior que a largura do equipamento de aplicação (Kindred et al., 2018), por exemplo, quando os tratamentos envolverem distribuição de fertilizantes a lanço com discos rotativos centrífugos. Da mesma forma, é importante que a colheita possa envolver duas ou mais passagens da colhedora por parcela. O comprimento da parcela dependerá da disponibilidade da área. Embora Kindred et al. (2018) sugiram um comprimento ideal maior que 200 m, essa dimensão muitas vezes não é viável devido às dimensões e formatos das áreas que utilizam AP em algumas regiões brasileiras.

Também é importante considerar as avaliações planejadas ao definir o tamanho das parcelas ou faixas. Por exemplo, se forem utilizadas imagens de satélite para a caracterização dos ensaios, o tamanho da parcela ou faixa deve ser compatível com o pixel da imagem utilizada, entre outros fatores relevantes. Se estiverem previstos processos de interpolação para geração de mapas de resposta, é indicado que as parcelas tenham dimensões iguais de largura e comprimento (em forma de um quadrado), com equidistância entre os pontos de amostragem no campo.

A utilização de repetições é sempre indicada em qualquer ensaio e isso não seria diferente no caso de ensaios on-farm no âmbito da AP. Quanto maior o número de repetições, maior será a confiabilidade nos resultados obtidos. Assim, não há um número definido para repetições, pois este depende de diversos fatores, como a área disponível, o desenho do ensaio

e as características dos tratamentos. Por exemplo, se a decisão for realizar ensaios em cada ZM e algumas delas tiverem dimensões reduzidas ou formato que dificulte a realização de várias repetições, isso pode se tornar uma limitação. Mesmo que se disponha de área ampla em cada ZM, é prudente evitar transformar toda a área do talhão em ensaio. Ou seja, utilizar um número tão grande de tratamentos e repetições que ocupe a área toda e que possa até mesmo aumentar a variabilidade antrópica do talhão (manchar), dependendo dos tratamentos que serão utilizados (ex.: nutrição de plantas, preparo do solo, culturas antecessoras), pode não se mostrar produtora.

Na Figura 2, apresenta-se uma árvore de decisão para orientar a realização ou não de ensaios de AP on-farm. Em situações de baixa variabilidade – ou quando esta não estiver suficientemente caracterizada ou compreendida –, a indicação é a realização de um único ensaio com a identificação de um manejo ou tecnologia a ser aplicado em toda a área. Os resultados esperados desse procedimento podem ser altamente eficazes, quando a área não apresenta variabilidade significativa nos fatores condicionantes da produtividade, exceto pelas variações na resposta ao fator em estudo. Entretanto, quando a variabilidade é relevante, considerar o talhão como um todo pode resultar em erros ou, no mínimo, subaproveitamento do manejo ou tecnologia definida para aplicação. Por outro lado, se a área já foi devidamente caracterizada e as ZMs foram definidas, é possível realizar inferências específicas para cada uma delas. Isso pode ser feito por meio da realização de ensaios em cada ZM ou por meio de faixas alocadas estrategicamente para atravessar as diferentes ZMs.

As Figuras 3 e 4 exemplificam o formato de realização de ensaios on-farm para as diversas situações descritas na Figura 2. Na prática, cada estratégia apresenta benefícios e limitações, necessitando de escolha correta e ajustes para o melhor desempenho na obtenção do resultado pretendido.

A Figura 3 representa a realização de ensaios on-farm em áreas que não dispõem de caracterização suficiente e/ou as ZM não foram previamente definidas. Uma das principais dificuldades é a falta de controle sobre a variabilidade existente, refletida na variação observada no rendimento de grãos. Nesse caso, as faixas com os tratamentos devem ser suficientemente longas, para acomodar repetições, ou devem ser inseridas faixas menores de cada tratamento em vários pontos do talhão.

Uma das formas de reduzir o problema da falta de áreas homogêneas identificadas é a alocação de faixas com tratamentos distintos acompanhando toda a área do talhão.

No caso de existir a caracterização da área com ZMs definidas, o planejamento dos ensaios on-farm pode ser melhor direcionado. Conforme ilustrado na Figura 4, as ZMs bem definidas e com certo nível de estabilidade possibilitam a alocação dos ensaios em parcelas ou faixas específicas dentro de cada ZM ou atravessando as diferentes ZMs. Se forem considerados a disponibilidade de equipamentos para a implementação, juntamente com o monitoramento e a colheita automatizados, esses ensaios tornam-se de execução relativamente simples. Além disso, proporcionam uma ampla gama de informações em resposta às perguntas formuladas, subsidiando as decisões práticas para aplicação de manejo sítio-específico na fazenda.

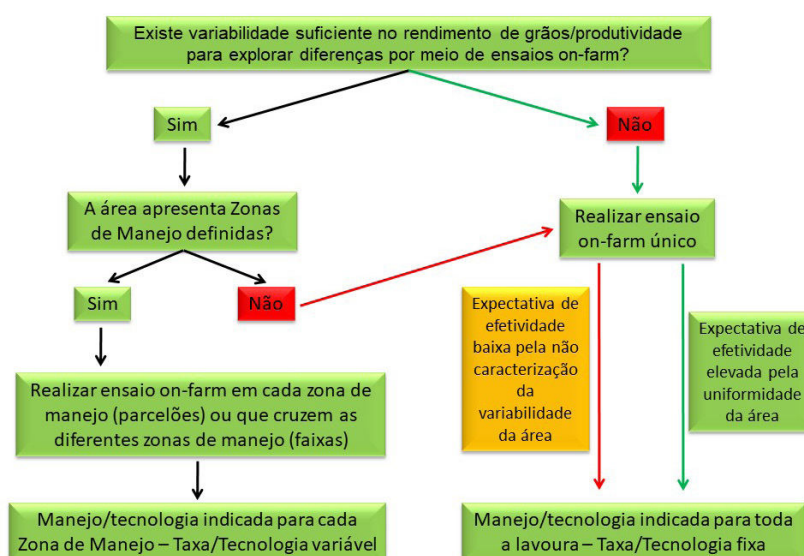


Figura 2. Árvore de decisão para realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

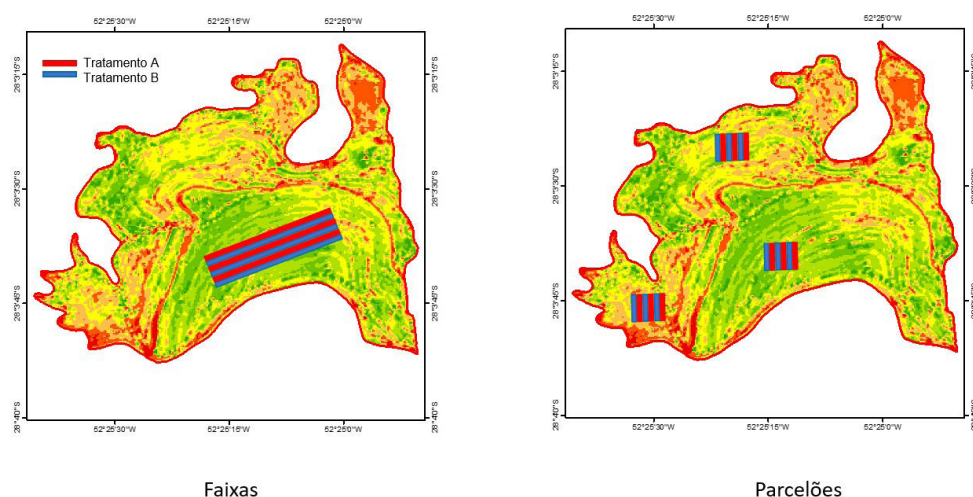


Figura 3. Exemplos de alocação de parcelas ou faixas a partir de um mapa de rendimento de grãos, para avaliação de tratamentos em talhões que não dispõem de caracterização e identificação de Zonas de Manejo.

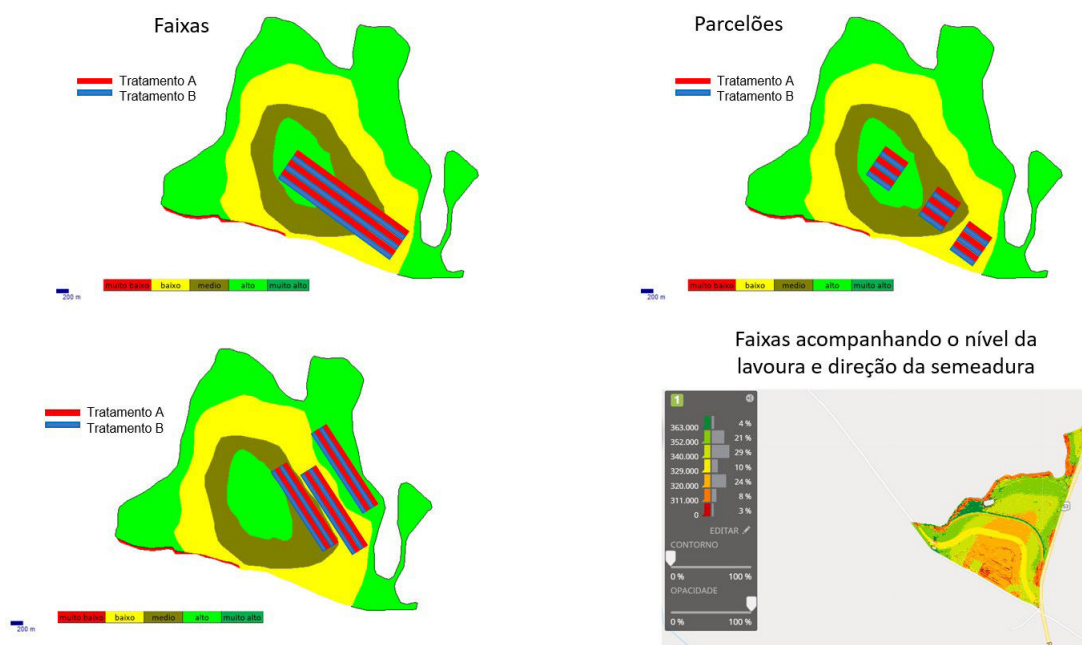


Figura 4. Exemplos de alocação de parcelas/faixas para avaliação de tratamentos em talhões que dispõem de melhor caracterização e de Zonas de Manejo identificadas.

Na Tabela 2, são sumarizadas algumas sugestões de etapas/procedimentos a serem considerados no planejamento dos ensaios on-farm.

4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DE ENSAIOS ON-FARM

Os ensaios on-farm, utilizados como ferramentas dos ciclos de AP, devem ser implantados e conduzidos pelos produtores rurais com o suporte da assistência técnica, representada por agrônomos, técnicos agrícolas, consultores especializados da área, pesquisadores, entre outros profissionais capacitados. Essa abor-

dagem não é conflitante com a utilização de ensaios on-farm com propósitos de apoio à pesquisa realizada nas estações experimentais, muitas vezes utilizados para representar as condições “reais” de cultivo comercial empregadas pelos produtores. Nesse contexto, as pesquisas podem aproximar pesquisadores, professores e estudantes (tanto de graduação e como de pós-graduação) das equipes das fazendas, trazendo benefícios tanto para as pesquisas (com ou sem foco em AP) quanto para os produtores, com resultados que podem ser aplicados na prática.

Tabela 2. Resumo dos principais passos na fase de planejamento de ensaios on-farm no contexto da Agricultura de Precisão.

Procedimentos no planejamento de ensaios on-farm
Definição clara do objetivo do ensaio.
Definição dos tratamentos necessários (que devem ser os mais simples possíveis), preferencialmente, enfocando somente um fator (densidade de semeadura, cultivares, adubação, manejo fitossanitário, entre outros).
Os níveis dos tratamentos quantitativos não devem ser muitos (de três a quatro, preferencialmente). Se forem três, utilizar o nível de tecnologia já utilizado na área, com variação de um tratamento abaixo e outro acima desse nível. No caso de quatro tratamentos, dar preferência para o uso de dois acima e dois abaixo da média empregada na lavoura.
Inclusão de um tratamento controle (testemunha), geralmente representando o padrão do agricultor.
Escolha de área (talhão) apropriada, conforme o objetivo do ensaio e os tratamentos.
Obtenção e organização de informações sobre o histórico e a caracterização da área.
Caracterização atual do solo (amostragem em grade para análise de fertilidade e mapeamento de condutividade elétrica) e de outros fatores que, porventura, variem na área, a fim de alocar o ensaio considerando as variabilidades mais relevantes.
Confirmação se a variabilidade existente na área justifica a realização de ensaio on-farm para o tema em pauta.
Identificação de possíveis Zonas de Manejo (ZMs), a fim de definir desenho de ensaio mais apropriado e a necessidade de replicação ou não do mesmo nas diferentes ZMs.
Desenho espacial do ensaio, preferencialmente, com repetições e aleatorização.
Definição do desenho e do tamanho de parcelas/faixas a serem utilizadas para alocação dos tratamentos, de acordo com as necessidades de resposta e a disponibilidade de infraestrutura da propriedade rural.
Largura das parcelas/faixas do ensaio com dimensão compatível, normalmente múltipla combinada das larguras de trabalho dos principais equipamentos que serão utilizados (semeadora, distribuidor de fertilizantes, pulverizador, colhedora).
Prospecção de suporte/parceria de outros agricultores, revendas, prestadores de serviço de AP, consultores, instituições de pesquisa e extensão rural e universidades.

É necessário que o produtor forneça dados sobre a(s) área(s) a ser(em) utilizada(s), como histórico de cultivo, mapeamento de características de solo (preferencialmente de vários anos), mapas de colheita de várias safras, zonas de manejo (se já caracterizadas), manejo realizado, entre outros. Além disso, espera-se que realize a implementação e condução do ensaio on-farm. O técnico pode auxiliar no acompanhamento das áreas, na tabulação dos dados, na realização das interpretações necessárias e, em conjunto com o produtor, na definição das intervenções de manejo mais apropriadas.

Na implementação do ensaio, é importante o alinhamento de toda a equipe da fazenda, com conhecimento dos objetivos, métodos e cuidados na condução e nas avaliações. Idealmente, os equipamentos necessários, como semeadoras, pulverizadores e colhedoras, devem estar disponíveis na propriedade. É indicado que esses equipamentos sejam dotados com sistemas de orientação por satélite para garantir o controle preciso das aplicações dos tratamentos. Além disso, é importante contar com colhedoras equipadas com sensores de produtividade para a geração de mapas de colheita. As máquinas e os equipamentos necessários devem estar disponíveis durante o período planejado, com todas as regulagens necessárias

e ajustes de sensores feitos previamente. Deve-se ter muita atenção para evitar a introdução de outras variáveis além dos tratamentos a serem implementados, a fim de evitar confundimento nos resultados. Existem situações que devem ser previstas e evitadas por meio de uma programação cuidadosa das operações. Por exemplo, é importante evitar semear parte dos tratamentos em um dia e a outra parte no dia seguinte. Outro cenário a ser considerado é o início da semeadura do ensaio com uma determinada fórmula ou fonte de nutrientes, que pode se esgotar, resultando na necessidade de se utilizar outra fórmula ou fonte para os tratamentos restantes.

Outros fatores que podem interferir na experimentação on-farm são mais difíceis de prever e controlar, incluindo-se desde o risco de deriva de adubo durante a distribuição a lanço, devido à presença e ao sentido do vento durante a aplicação de tratamentos de adubação, até mudanças repentinas nas condições meteorológicas durante operações críticas, como chuva constante após o início da semeadura, o que pode atrasar a conclusão dos experimentos em áreas extensas. Os problemas de deriva e de condições meteorológicas adversas também podem afetar a eficácia dos tratamentos fitossanitários (pulverizações de defensivos) e influenciar na produtividade em deter-

minadas partes do experimento. Para amenizar essas interferências no planejamento experimental, é indicado considerar um tamanho de parcela adequado, com bordaduras amplas e, sempre que possível, um maior número de repetições. Além disso, aumentar o número de pontos de mensuração de variáveis dentro de cada parcela no campo pode ajudar a melhorar a representatividade nas avaliações dos tratamentos.

Na Tabela 3, são sumarizadas algumas sugestões de etapas/procedimentos a serem levados em consideração na implantação e condução dos ensaios on-farm.

5 AVALIAÇÕES, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS ON-FARM

Quanto mais informações forem coletadas em um ensaio on-farm, mais completa será a caracterização e mais útil será para a interpretação dos resultados e a tomada de decisão de manejo. No entanto, é fundamental que as avaliações sejam coerentes com o objeto do ensaio e que haja relevância da avaliação

para as respostas desejadas e viabilidade de realizá-las. Atualmente, pode-se pensar também na divisão das avaliações, sendo parte realizada pela própria fazenda e parte fornecida por prestadores de serviço em AP, como já se faz em algumas regiões do País. Entretanto, a orientação e o acompanhamento por pessoas com qualificação técnica e científica não podem ser dispensados.

A maioria das avaliações agronômicas realizadas na experimentação tradicional pode ser feita também nos ensaios on-farm, inclusive manualmente, com auxílio de GPS para capturar as coordenadas geográficas dos locais amostrados no campo. Todavia, esse processo é mais trabalhoso e deve ser compatível com o quadro de pessoal de apoio disponível. As informações coletadas dessa forma podem ser processadas na abordagem da AP, utilizando-se sistemas de geoprocessamento e até aplicando-se análises geostatísticas.

Os mapas de colheita gerados devem ser avaliados e processados com critério, especialmente em áreas

Tabela 3. Resumo das principais indicações nas fases de implantação e condução de ensaio on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos na implantação e condução de ensaios on-farm
Mesmo dispondo de sistemas de orientação por satélite (GPS e sistemas de guia), é conveniente instalar marcações físicas permanentes (estacas, postes, bandeiras, etc.) nas extremidades do ensaio on-farm, indicando os alinhamentos de início e de fim. Esse cuidado é especialmente relevante quando o ensaio se repete por mais de um cultivo, ou quando as parcelas não têm dimensões folgadas em largura e comprimento, ou em situações com menor precisão nos equipamentos/sinais de satélite, podendo ocasionar erros de posicionamento maiores que 1 m.
Utilização da mesma máquina/equipamento para a implantação de todo o ensaio, especialmente quando os tratamentos são implementados no momento da semeadura.
Ajuste/calibração prévia dos sistemas/sensores utilizados para a aplicação e registro dos tratamentos.
Evitar início do ensaio nas bordas da lavoura, nas quais ocorre maior tráfego de máquinas, eventuais problemas de compactação e maior incidência de pragas.
Semeadura do ensaio de acordo com o planejamento realizado, respeitando o tamanho e a posição de parcelas/faixas.
Checação dos tratamentos, por exemplo, fazendo contagem de sementes depositadas no sulco de semeadura, especialmente quando o trabalho envolver variação na densidade de plantas.
Obtenção, se possível, do mapa de aplicação dos tratamentos por meio do equipamento utilizado, para certificar que foram implementados de acordo com o planejado ou quais variações ocorreram em relação ao planejado.
Uniformização de todas as outras práticas utilizadas na condução do ensaio (data de semeadura, adubações foliares, controle fitossanitário, etc.), para não causar confundimento entre tratamentos e manejo utilizados.
Registro dos estádios fenológicos e respectivas operações de manejo e avaliações realizadas ao longo do ciclo da cultura.
Monitoramento direto ou por sensoriamento remoto (imagens aéreas/satélites/avaliação de sensores proximais, entre outros) durante a safra, a fim de coletar dados que auxiliem no entendimento das respostas aos tratamentos e na identificação de fatores que possam influenciá-las.
Colheita do ensaio com monitor de produtividade, respeitando os tratamentos, utilizando a mesma colhedora, de preferência num único dia, e no sentido das linhas de semeadura (evitar colheita no sentido transversal ao da parcela/faixa).
Registro e arquivo dos dados meteorológicos, a partir de estação situada o mais próximo possível da área do ensaio, para posterior análise e associação aos resultados experimentais.
Repetição dos tratamentos no tempo, se possível ao longo de várias safras e em cultivos diversificados. Esse procedimento dilui o efeito de fatores não controlados, além de conferir maior consistência e confiabilidade às conclusões do estudo.

nas quais a colheita não foi realizada em toda a largura da plataforma de corte, bem como no início e no final das faixas de corte (Kindred et al., 2018).

A análise de resultados pode ser feita de forma simples, comparando as médias dos tratamentos e avaliando se as diferenças observadas são reais ou não. No entanto, uma abordagem estatística pode tornar a interpretação mais robusta (Nielsen, 2008). A escolha entre esses métodos depende de vários fatores, incluindo a estrutura da variabilidade da área, o delineamento do ensaio, os tratamentos aplicados e as condições durante a condução do ensaio, entre outros.

Na Tabela 4, são sumarizadas algumas sugestões de etapas/procedimentos nas avaliações, na análise e na interpretação dos resultados de ensaios on-farm.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de ensaios on-farm, no contexto da AP, pode fornecer informações valiosas para orientar as de-

cisões sobre as intervenções necessárias para aumentar a competitividade e sustentabilidade das culturas produzidas em larga escala no Brasil. Para tanto, é essencial definir claramente o problema e as hipóteses técnicas a serem testadas, observando determinados princípios e adotando metodologias adequadas para cada realidade de produção. O ensaio deve ser simplificado e automatizado sempre que possível. Além disso, é fundamental que seja conduzido de forma eficiente para que os resultados estejam disponíveis para uso o mais rapidamente possível. Deve-se ter cuidado com possíveis confundimentos e observar a abrangência da aplicação dos resultados obtidos. Evidenciou-se, no trabalho realizado na Rede AP da Embrapa, pelas diferentes equipes e locais do País, que existe grande variabilidade no grau de evolução da AP e no uso de ferramentas, como as dos ensaios on-farm, no manejo das culturas. Enquanto alguns produtores estão dando os primeiros passos em AP, conduzindo experimentos preliminares com ensaios on-farm, outros já

Tabela 4. Resumo das principais indicações na fase de avaliações de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos nas avaliações, análise e interpretação de ensaios on-farm
Foco nas avaliações necessárias para responder à(s) pergunta(s) formulada(s) na definição do ensaio.
Automatização das avaliações sempre que possível, para reduzir custos e aumentar a eficiência operacional.
Registro de possíveis ocorrências (de manejo, de clima ou de pragas/doenças/plantas daninhas) que confundam ou até inviabilizem o aproveitamento do ensaio. Ferramentas tecnológicas disponíveis podem facilitar esse registro (imagens de satélite, imagens de drones, mapas gerados por sensores embarcados em tratores e pulverizadores, vistorias presenciais com registros de ocorrências por meio de aplicativos que permitam georreferenciamento, entre outros).
Calibração de sensores dos equipamentos utilizados para avaliações.
Cheragem e calibração prévias, para que todos os equipamentos estejam funcionando corretamente na colheita, evitando perda de sinal de GPS (por exemplo) e de dados.
Amostragens (manuais ou monitoramento de colheita) direcionadas especialmente à área útil central das parcelas. Registros nas bordas são mais sujeitos a erros e interferências de tratamentos vizinhos.
Colheita no sentido das linhas de semeadura. A colheita transversal às parcelas pode provocar erros no mapa de rendimento, especialmente quando as parcelas são de largura reduzida.
Colheita de todo o ensaio no mesmo dia e com a mesma máquina, para obtenção de mapa de rendimento de melhor fidedignidade.
Colheita de cada parcela/faixa do ensaio com um número pré-determinado de passadas do equipamento, colhendo com a largura total da plataforma.
Geração do mapa de colheita após eliminação de valores atípicos e erros conhecidos, aplicando-se procedimentos matemáticos adequados e filtros para cada situação.
Parceria com consultores, instituições de pesquisa e extensão rural, universidades e outros, para suporte na integração, análise e interpretação de resultados.
Análise dos resultados o mais breve depois da colheita, para que seja possível realizar intervenções/modificações de manejo na safra seguinte, quando for o caso.
Repetição do ensaio com os mesmos tratamentos por mais anos, a fim de representar a variação interanual no ambiente de produção e suas interações com os tratamentos.
Se necessário, repetir o ensaio por mais anos, observar os cuidados dependendo do fator em estudo (ex: níveis de adubação N-P ₂ O ₅ -K ₂ O), para não realizar no mesmo local, com aumento do risco de confundimento dos resultados pelo possível resíduo do ensaio anterior, a não ser que o objetivo seja avaliar justamente o efeito residual de adubações, de culturas e práticas anteriores, entre outros.

acumulam uma quantidade considerável de dados e dispõem de sistemas de suporte para tomada de decisão altamente assertivos. Essa disparidade de acesso e adoção de novas tecnologias é uma realidade comum em um cenário diversificado como é o setor agrícola. Considera-se esse um processo natural, que tem ocorrido em outras regiões agrícolas no mundo e que apresenta grande potencial de crescimento no Brasil. Isso é particularmente verdadeiro, se houver uma maior coordenação entre as ações de diferentes segmentos e entidades, tanto públicas quanto privadas, que atuam na área de Agricultura de Precisão.

REFERÊNCIAS

- BRAMLEY, R.; COOK, S.; ADAMS, M.; CORNER, R. **Designing your own on-farm experiments**: how PA can help. Canberra: Grains Research & Development Corporation (GRDC), CSIRO Land and Water, 2006. 36 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237129977_Designing_your_own_on-farm_experiments_How_precision_agriculture_can_help. Acesso em: 10 dez. 2021.
- KETTERINGS, Q.; CZYMMEK, K.; GABRIEL, A. **On-farm research**. Ithaca: Cornell University Cooperative Extension, 2012. 2 p. (Agronomy Fact Sheet Series, 68). Disponível em: <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet68.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- KINDRED, D.; CLARKE, S.; ROQUES, S.; HATLEY, D.; BERRY, P.; SYLVESTER-BRADLEY, R. **Guide to farmers' crop trials**. London: ADAS Agronomics, 2018. 12 p. Disponível em: <https://www.yen.adas.co.uk/sites/default/files/2019-10/ADAS%20Guide%20to%20Farm%20Trials.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- NIELSEN, R. L. **A practical guide to on-farm research**. West Lafayette: Purdue University, 2008. Disponível em: <https://www.agry.purdue.edu/CCA/2008/Proceedings/NielsenResearch.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- PIEPHO, H. P.; RICHTER, C.; SPILKE, J.; HARTUNG, K.; KUNICK, A.; THÖLE, H. Statistical aspects of on-farm experimentation. **Crop & Pasture Science**, v. 62, p. 721-735, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1071/CP11175>.