



AGRICULTURA DE PRECISÃO
Resultados de um Novo Olhar

Alberto Carlos de Campos Bernardi
João de Mendonça Naime
Álvaro Vilela de Resende
Luís Henrique Bassoi
Ricardo Yassushi Inamasu
(editores)

Embrapa

AGRICULTURA DE PRECISÃO

Resultados de um Novo Olhar

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

AGRICULTURA DE PRECISÃO
Resultados de um Novo Olhar

**Alberto Carlos de Campos Bernardi
João de Mendonça Naime
Álvaro Vilela de Resende
Luís Henrique Bassoi
Ricardo Yassushi Inamasu
(editores técnicos)**

Embrapa
Brasília, DF
2014

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação

Rua XV de Novembro, 1452 – Caixa Postal 741

CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Fone: (16) 2107-2800 – Fax: (16) 2107-2902

www.embrapa.br

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente

João de Mendonça Naime

Membros

Cinthia Cabral da Costa

Elaine Cristina Paris

Maria Alice Martins

Cristiane Sanchez Farinas

Valéria de Fátima Cardoso

Membro suplente

Paulo Renato Orlandi Lasso

**Normalização bibliográfica, Projeto gráfico,
Capa, Editoração eletrônica, Tratamento das ilustrações**
Editora Cubo

Foto da Capa

Ricardo Yassushi Inamasu

Impressão e Acabamento

RB Gráfica Digital Eirelli

1ª edição

1ª impressão (2014): 1.000 exemplares

2ª impressão (2014): 1.000 exemplares

As opiniões, conceitos, afirmações e conteúdo desta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

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 Instrumentação

A278 Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. / Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014.
596 p. ; II. color. ; 21 cm x 29,7 cm.

ISBN 978-85-7035-352-8

1. Agricultura de precisão. 2. Instrumentação. 3. Automação Agropecuária.
4. Inovação. 5. Culturas. 6. Agricultura. I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos.
II. Naime, João de Mendonça. III. Resende, Álvaro Vilela de. IV. Bassoi, Luis
Henrique. V. Inamasu, Ricardo Yassushi. VI. Embrapa Instrumentação.

CDD 21 ED 681.763

©Embrapa 2014

Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil

Álvaro Vilela de Resende¹, Sandro Manuel Carmelino Hurtado²,
Marina de Fátima Vilela³, Edemar Joaquim Corazza⁴, Luciano Shozo Shiratsuchi⁵

¹Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, CP 285, CEP 35.701-970, Sete Lagoas-MG

²Eng. Agrônomo, Pós-Doutorando IAC, Bolsista FAPESP, Av. Barão de Itapura, 1481, CP 28, CEP 13.012-970, Campinas-SP

³Pesquisadora, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73.310-970, Planaltina-DF

⁴Pesquisador, Embrapa Informação Tecnológica, Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte, CP 040315, CEP 70770-901, Brasília-DF

⁵Pesquisador, Embrapa Agrossilvipastoril, Rodovia MT 222, km 2, CEP 78550-970, Sinop, MT

*E-mails: alvaro.resende@embrapa.br, sandroelbat@gmail.com, marina.vilela@embrapa.br, edemar.corazza@embrapa.br, luciano.shiratsuchi@embrapa.br

Resumo: Os esforços em se adotar técnicas de Agricultura de Precisão (AP) para aprimorar o gerenciamento das propriedades brasileiras produtoras de grãos vêm evoluindo significativamente nos últimos anos. A principal frente de utilização da AP permanece vinculada ao manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo, mediante amostragens georreferenciadas e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável. Todavia, a prática tem mostrado que essa abordagem precisa ser aperfeiçoada e adotada corretamente. Nesse sentido, procedimentos complementares que utilizem outras interfaces da AP podem aumentar a segurança na tomada de decisão de manejo da adubação. A perspectiva ideal aponta para uma adoção mais ampla do ferramental disponível buscando agregar informações acerca do sistema de produção como um todo, de modo a se trabalhar no planejamento para maior sustentabilidade em longo prazo. Nessa perspectiva, há que se integrar cada vez mais as tecnologias de automação agrícola, eletrônica embarcada, sensores e sensoriamento remoto, monitoramento espacializado de colheita e de rentabilidade, amostragens direcionadas, além do treinamento de pessoal das fazendas, da assistência técnica compromissada e da formação de massa crítica em pesquisa e educação em AP.

Palavras-chave: variabilidade espacial, manejo sítio-específico, avanço tecnológico, geoprocessamento, tecnologia agrícola, amostragem de solo

Precision agriculture applications for grain crops production systems in Brazil

Abstract: Adoption efforts of Precision Agriculture (PA) techniques to improve the management of grain-based farms in Brazil have increased significantly in recent years. The main approach of the PA usage remains linked to the management of spatial variability of soil fertility through georeferenced sampling and variable rate application of limestone and fertilizers. However experience has shown that this approach needs to be improved and correctly used. In this sense, complementary procedures using other PA interfaces can increase certainty in decision making for nutrient management. The ideal perspective includes a broader adoption of the available tools, seeking to add information about the production system as a whole, aiming long-term sustainability. In this perspective, it is necessary to increase the integration of agricultural automation technologies, embedded electronics, sensors and remote sensing, spatial yield monitoring and profitability, directed sampling, as well as the training of farm staff, a committed technical assistance, and the formation of critical mass in PA research and education.

Keywords: spatial variability, site-specific management, technology advances, geoprocessing, agricultural technology, soil sampling

1. Introdução

Diversas aplicações relativas ao uso de GPS, equipamentos, dispositivos e programas computacionais voltados à obtenção e processamento de dados georreferenciados têm sido associadas à prática da Agricultura de Precisão (AP) em lavouras de grãos no Brasil. Grande parte do interesse do agricultor nesse tema está vinculada à ideia de que as máquinas agrícolas dotadas de acessórios modernos têm mais autonomia e melhor desempenho operacional no campo, aumentando o rendimento do trabalho na propriedade. Assim, a disseminação de práticas agrícolas baseadas em georreferenciamento tem ocorrido principalmente entre os agricultores que cultivam grãos em larga escala, enquanto a maioria dos produtores de pequeno porte ainda não vislumbra possibilidades de usufruir benefícios com a AP.

De qualquer modo, têm se tornado mais comum, no meio produtivo, as referências ao uso de informações espacializadas para melhorar o manejo das plantações. Na prática, os agricultores passaram a atentar para as variações de produtividade nas áreas de cultivo e buscam meios para melhorar o seu desempenho, visando maior rentabilidade.

Dentre as tecnologias ou operações agrícolas referidas como agricultura de precisão, destacam-se a utilização de sistemas de guia do maquinário por satélite e de implementos dotados de monitores e controladores automáticos de fluxo nos aplicadores. Esses dispositivos facilitam sobremaneira a operação e conferem maior eficiência de tráfego e de aplicação de insumos, embora não constituam, por si só, formas de manejo sítio-específico. A principal abordagem sítio-específica praticada no País é, sem dúvida, a tentativa de se definir unidades de manejo para tratamento diferenciado da fertilidade do solo. Um grande número de empresas fabricantes de equipamentos, prestadores de serviços e de consultoria agrônômica tem seu foco de atuação voltado para a realização de amostragens georreferenciadas de solo, mapeamento da fertilidade e geração de mapas para aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variável. Contudo, essa estratégia ainda apresenta limitações técnicas que motivam preocupações acerca de sua eficácia

agronômica, sendo necessários esforços no sentido de se definir procedimentos de campo e de escritório para integração de informações que possam garantir maior confiabilidade.

Outras formas de obtenção de informações espacializadas para o manejo sítio-específico das lavouras ainda não expressam ampla aceitação e adoção pelos agricultores, seja por serem de implementação mais laboriosa, ou pela maior exigência em processamento de dados, ou mesmo pela falta de atratividade comercial, o que restringe o interesse por parte dos prestadores de serviço em AP. É o caso do sensoriamento remoto, do monitoramento espacializado da produtividade e do registro georreferenciado do histórico dos talhões.

Neste capítulo são apresentadas as principais possibilidades atuais de aplicação da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. Enfatizam-se uma análise crítica da prática de amostragem georreferenciada de solo e aplicação de nutrientes em taxa variável, bem como, alguns meios para torná-la mais criteriosa. São também comentados os avanços da pesquisa brasileira e os gargalos a serem superados para que se ampliem os benefícios da AP no País, incluindo a qualificação de pessoal e valorização do trabalho no campo, além da maior sustentabilidade econômica e ambiental da atividade agrícola.

2. Sistemas de guia e automação agrícola

Algumas aplicações do ferramental de AP têm resultado em benefícios ao agricultor, ao solo e ao ambiente em geral. Algumas dessas aplicações são úteis e atrativas aos agricultores e, por vezes, são utilizadas de forma isolada, sem o propósito claro de estabelecimento da AP no gerenciamento da propriedade. Sistemas de automação de máquinas e equipamentos (ex: sistemas de guia por satélite, piloto automático, mecanismos de regulação e controladores de fluxo de sementes, fertilizantes e defensivos) e de coleta de dados (ex: sensores de desempenho de aplicadores de insumos, sensores de medição e registro das variáveis meteorológicas) não são propriamente dispositivos de agricultura de precisão, pois, por si só não permitem o manejo sítio-específico das

lavouras. Mas fornecem informações importantes para o diagnóstico de fatores condicionantes de variabilidade nos campos de produção e auxiliam na tomada de decisão visando melhoria do manejo das culturas, facilitam a rotina de trabalho e aumentam a eficiência operacional nas fazendas.

Sistemas de posicionamento por satélite, como dispositivos de guia (barra de luz) e piloto automático permitem o deslocamento preciso de máquinas como semeadoras, pulverizadores e colhedoras, contribuindo para maior rendimento operacional e eficiência nas operações mecanizadas de semeadura, tratos culturais e colheita. Como resultado, criam-se oportunidades para otimização da frota agrícola, economia de tempo, combustível, redução do desperdício de defensivos e controle de tráfego nas lavouras, amenizando os problemas de compactação do solo e de contaminação ambiental.

O advento das inovações relacionadas à automação agrícola se tornou um diferencial de eficiência na rotina das fazendas, incrementando marcadamente o rendimento operacional, ao viabilizar inclusive operações noturnas, com melhor utilização da mão-de-obra disponível e eliminação de alguns processos sujeitos a falhas decorrentes de fadiga física dos funcionários, como por exemplo o monitoramento visual de semeadoras-adubadoras. Por outro lado, essa nova realidade evidenciou a carência de mão-de-obra qualificada para operar o maquinário de última geração com todos os seus dispositivos eletrônicos e a falta de orientação dos fornecedores dos equipamentos na pós-venda.

3. Manejo fitossanitário

Os maiores avanços da AP no manejo de plantas daninhas, pragas e doenças em sistemas de produção de grãos estão ligados à melhoria no controle e na qualidade das aplicações de defensivos, com benefícios ambientais evidentes. Basicamente, a evolução dos equipamentos com a inclusão de dispositivos de posicionamento por satélite e dosadores eletrônicos permite um controle mais efetivo do fluxo de calda nos bicos de pulverização, mantém taxa de deposição constante independente de variações na velocidade de deslocamento, além de eliminar

os riscos de sobreposição e de aplicação em áreas não-alvo. Evita-se assim o desperdício de produtos fitossanitários e minimiza-se a contaminação ambiental.

O sistema de piloto automático permite deslocamento preciso do pulverizador em passadas paralelas. Associando-se a delimitação prévia dos contornos do talhão com a utilização de controlador automático dos segmentos da barra de pulverização, os bicos são desligados quando parte da barra passa sobre áreas fora da zona de cultivo ou quando há sobreposição de faixas de aplicação. Outros avanços em eletrônica e equipamentos acopláveis permitem obter dados de condições climáticas (umidade, temperatura e velocidade do vento) em tempo real, de modo a alertar o operador sobre condições desfavoráveis para a aplicação ou da necessidade de ajustes operacionais para maior eficiência. É possível, ainda, gerar registros das pulverizações realizadas permitindo a avaliação de desempenho dessas operações. A racionalização do uso de defensivos pode ser um dos benefícios mais importantes da AP, visto que há uma tendência em se associar programas de qualidade ambiental no processo de agregação de valor aos produtos agrícolas. Esse enfoque poderá tornar-se mais relevante para o agricultor do que a possibilidade de retorno econômico imediato dos investimentos nas ferramentas de AP (ANTUNIASSI, 2012).

4. Aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variável

A prática de AP mais disseminada no Brasil atualmente consiste da amostragem de solo georreferenciada para o mapeamento da fertilidade dos talhões de cultivo, seguida da prescrição e aplicação de corretivos de acidez e de fertilizantes em quantidades que variam de acordo com a condição de fertilidade em cada local dentro da lavoura, tratando-se, portanto, de aplicações em taxa variável. Em princípio, espera-se que esses procedimentos resultem no uso mais eficiente de corretivos e fertilizantes, uma vez que o solo dentro da lavoura não é homogêneo e, conseqüentemente, os requerimentos de correção da acidez e de adubação variam de um local para outro.

A partir de amostragens georreferenciadas são gerados mapas diagnósticos dos diferentes atributos de solo. A obtenção desses mapas baseados num número limitado de pontos amostrais requer métodos de interpolação que assegurem uma informação mais próxima possível da realidade. Uma vez obtidos os produtos dessa interpolação, por exemplo, mapas de disponibilidade de potássio (K) e de saturação por bases (V%), é possível elaborar outros mapas que contenham a prescrição das quantidades de fertilizantes e corretivos necessários em diferentes partes do talhão, a fim de garantir melhor desempenho dos cultivos. Vários equipamentos disponíveis no mercado brasileiro já apresentam dispositivos eletrônicos que reconhecem os mapas de prescrição e mecanismos que ajustam automaticamente as dosagens de insumos à medida que se deslocam na área a ser manejada a taxa variável.

Áreas muito expressivas de culturas anuais nas principais regiões produtoras já receberam aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável. O impacto mais imediato desse tratamento diferenciado das lavouras tem sido a possibilidade de economia de insumos comparativamente ao manejo tradicional, no qual se utilizam dosagens uniformes em área total baseadas na condição média de fertilidade do talhão. Apesar de certa euforia observada entre os agricultores, impulsionada pelas vantagens econômicas imediatas e pela intensa propaganda difundida pelas empresas prestadoras de serviços de AP, nem sempre se comprovam os benefícios agrônômicos esperados.

5. Limitações do manejo da fertilidade do solo no modelo atual de AP

O manejo com base na amostragem do solo em grade (*grid*) e aplicações de corretivos e de fertilizantes em taxa variável, como praticado no Brasil, caracteriza um modelo que ainda precisa ser aprimorado. Após vultosa disseminação desses procedimentos nas regiões produtoras de grãos, se constatam indícios de frustração em parte dos agricultores usuários, que não se vêem estimulados à utilização continuada desse tipo de

serviço, normalmente prestado por terceiros. Tal situação denota que há imperfeições na forma de execução do serviço, que as particularidades de cada propriedade ou talhão são condicionantes da eficiência dessa abordagem, ou ainda, que as expectativas de benefícios criadas pelo marketing em AP estão além do que a realidade dos sistemas de produção permite auferir.

As pesquisas para definição do tamanho de célula da grade amostral têm indicado a necessidade de um grande número de pontos amostrais com o intuito de captar a variabilidade do solo nas lavouras (COELHO, 2003; MACHADO et al., 2004, RESENDE et al., 2006, GIMENEZ; ZANCANARO, 2012). No entanto, o elevado custo de amostragem e das análises de fertilidade do solo, tem demonstrado incompatibilidade do rigor científico com o trabalho em escala comercial. Comercialmente, tem-se buscado trabalhar com células de área entre 2 e 5 hectares. Mesmo respeitando os princípios da geoestatística, procurando-se trabalhar com um número superior a 50 pontos amostrais, nem sempre se consegue obter mapas que representem a variabilidade espacial de um talhão. Assim, talhões com dimensões superiores a 200 ha, comuns na região do Cerrado, poderão contar com um número razoável de pontos amostrais ao se empregar grades com células de área superior a 4 hectares, porém, sem garantia de confiabilidade para os fins agrônômicos pretendidos.

Num Latossolo Vermelho Amarelo em Planaltina de Goiás - GO, Resende et al. (2006) estudaram amostragens do solo numa lavoura de 97,5 ha considerando células variando de 0,25 a 9,0 ha. Os resultados mostraram viabilidade geoestatística para mapeamento dos principais atributos de fertilidade quando consideradas células com dimensões não maiores do que 2,25 ha (150m × 150m). Para grades amostrais com tamanhos de célula de até 4 ha foi possível detectar dependência espacial para os atributos matéria orgânica, K, Ca e Mg. No caso do P, obteve-se dependência espacial apenas quando se utilizou a amostragem mais densa (malha de 0,25ha). A literatura brasileira tem comprovado que, em geral, a textura, matéria orgânica, pH, K, Ca e Mg apresentam maior continuidade espacial do que o P e os micronutrientes (COUTO; KLAMT, 1999; SANTOS et al., 2001; MONTEZANO et al., 2006;

RESENDE et al., 2006; AMADO et al., 2009). Ou seja, para P e micronutrientes há maior probabilidade de não se encontrar dependência espacial em amostragens pouco densas. Desse modo, é importante salientar que, dependendo do atributo em estudo, um aumento na área da célula amostral pode inviabilizar ajustes geoestatísticos para a elaboração de mapas confiáveis.

Em princípio, a descrição do comportamento espacial por meio da geoestatística constitui uma abordagem eficiente para atributos cuja variabilidade depende essencialmente de processos naturais (ex: aqueles associados às características de formação do solo, como a textura e a mineralogia) e que tendem a permanecer estáveis ao longo do tempo. Existem complicadores que tornam mais complexa a caracterização da variabilidade espacial do solo em áreas agrícolas, especialmente no caso da fertilidade química do solo (ex: teores dos nutrientes). A distribuição espacial de locais que tiveram os teores de nutrientes alterados por falhas ou desuniformidade no manejo nutricional (calagem, adubação) das culturas é aleatória, implicando em descontinuidade no padrão de variabilidade dos nutrientes. Exemplos desse tipo de interferência ocorrem quando corretivos da acidez são distribuídos por mecanismos centrífugos em condições inadequadas de aplicação e quando os terraços das áreas de cultivo são desmanchados com remoção da camada superficial mais fértil (VILELA et al., 2006). Amostras coletadas em locais muito discrepantes da lavoura e sem expressão em termos de área (“outliers”) influenciam no procedimento de interpolação e podem distorcer os mapas de fertilidade. Com as adubações (e suas falhas) a cada cultivo, acumulam-se interferências que levam à modificação dos padrões de variabilidade numa mesma área ao longo do tempo. Assim, dificilmente os padrões espaciais encontrados para os atributos de fertilidade química do solo numa área são extrapoláveis para outras ou se mantêm inalterados com o passar do tempo. Decorre então que, o ponto chave para a AP no manejo de solo deve ser o monitoramento do talhão numa perspectiva de ajustes contínuos ao longo do tempo, utilizando-se não apenas de amostragens periódicas de solo, mas de toda ferramenta que agregue e permita detalhar informações sobre

a variabilidade espacial e temporal do talhão (RESENDE et al., 2010).

Via de regra, a quantidade de amostras que seria satisfatória geoestatisticamente costuma ser inviável nas condições de lavouras comerciais. A divisão do talhão em grade com células de tamanho variável vem sendo empregada para amostragens de solo pelas empresas prestadoras de serviços em AP no Brasil. Antes de uma definição baseada em alguma informação preliminar sobre o grau de homogeneidade das áreas a serem amostradas, a escolha do tamanho de célula ou malha amostral tem sido atrelada à negociação de preço a ser cobrado pelo serviço. Como forma de baixar custos, é frequente o uso de amostragem de baixa densidade.

Outro aspecto a destacar é que, na maioria das áreas em que o manejo da fertilidade se dá com fornecimento de insumos a taxa variável, tal operação é realizada com equipamentos que fazem distribuição dos produtos a lanço na superfície do solo (distribuidores centrífugos). Em geral, os sistemas de distribuição montados nos aplicadores disponíveis no mercado nacional apresentam deficiências quanto à uniformidade de aplicação, o que é agravado pela variação granulométrica presente nos corretivos e fertilizantes. Dessa maneira, o refinamento buscado com a tecnologia de AP acaba prejudicado também na etapa de aplicação dos insumos nas lavouras (GIMENEZ; ZANCANARO, 2012). Um exemplo claro dessa limitação é o caso da aplicação de fertilizantes constituídos de mistura de grânulos com diferentes características de forma e densidade. Partículas com variação em tais características, quando submetidas ao mecanismo de distribuição do implemento, são arremessadas a diferentes distâncias na faixa de aplicação, segregando em função do tamanho e da densidade, o que resulta numa operação de qualidade inferior ao que seria desejável no manejo eficiente da fertilidade do solo. Dificuldades adicionais estão relacionadas à ocorrência de variação na largura da faixa de aplicação conforme a dosagem do produto e à demora no tempo de resposta dos equipamentos durante o deslocamento quando ocorre a mudança na taxa de aplicação (GIMENEZ; ZANCANARO, 2012). Portanto, há que se considerar a necessidade de aperfeiçoamento, desde os critérios para a definição da estratégia de amostragem de solo,

até a tecnologia de distribuição de corretivos e fertilizantes em taxa variável.

O caso particular da aplicação de fósforo a taxa variável em superfície constitui uma prática temerária, pois, o comportamento típico deste nutriente em termos de dinâmica no solo cria uma problemática que acentua os desafios para seu manejo sítio-específico e aumenta os riscos ambientais dessa modalidade de adubação. As principais implicações da disposição do fósforo na superfície decorrem da sua baixa mobilidade no solo, que propicia forte efeito residual das adubações, alta variabilidade espacial induzida pelo manejo agrícola e consequente problema de amostragem, dificuldade de o nutriente chegar até as raízes das culturas e maior risco de carreamento para os cursos d'água e eutrofização dos mananciais (RESENDE, 2011).

Comparada ao sistema de manejo tradicional com correção e adubação realizadas de maneira uniforme nas lavouras, em que muitas vezes o produtor nem sequer faz uso de resultados de análise do solo para definir as quantidades a serem aplicadas, a agricultura de precisão já de início proporciona um maior detalhamento de informações pela amostragem georreferenciada. Nesse cenário, são previsíveis os benefícios das aplicações em taxa variável. Assim, tem sido frequentes ganhos imediatos devido à adoção da AP, traduzidos em economia de insumos e, em casos mais esporádicos, melhoria da produtividade. Ou seja, gasta-se menos calcário e fertilizantes a taxa variável do que numa dosagem média fixa (MENEGATTI et al., 2006; SOUZA et al., 2007; CAMPOS et al., 2008; COELHO, 2008; LUZ et al., 2010), na qual é maior o risco de se fornecer quantidades sub ou superestimadas em diferentes partes do talhão. Outra situação comum é a constatação, nos mapas de fertilidade, de que o solo apresenta disponibilidade considerada alta ou muito alta para P e K. Tal situação vem ocorrendo em áreas sob plantio direto e adubadas há vários anos nas regiões Centro-Sul do país. Também nesse caso, a vantagem mais óbvia da AP é a de indicar oportunidades para redução na adubação, sem perdas de produtividade (HURTADO et al., 2008).

Questionamentos que permanecem diante do modelo atual de AP em fertilidade do solo no Brasil são os seguintes: 1) Quais as implicações

do manejo de corretivos e fertilizantes a taxa variável em termos de homogeneização e estabilização dos teores de atributos do solo e da produtividade das culturas em médio e longo prazo? 2) Como é improvável a continuidade dos ganhos econômicos auferidos nas primeiras intervenções com AP nos talhões, qual deve ser a frequência ideal de amostragem de solo e do manejo sítio-específico da adubação, tendo em vista a economicidade? 3) Quais procedimentos devem constituir um protocolo aprimorado, que permita maior confiabilidade nos processos de amostragem de solo, de geração de mapas diagnósticos interpolados e de aplicação a taxa variável de insumos?

6. Perspectivas de aprimoramento no manejo da adubação em taxa variável

No que se refere à fertilidade do solo, a AP tem grande potencial de desenvolvimento, mas ainda envolve elevados custos com análises de solo. A variabilidade do solo detectada num talhão precisa ser agronomicamente relevante, a fim de que justifique o manejo localizado, evitando a realização de intervenções diferenciadas inócuas ou desnecessárias. Nesse quesito, técnicas que permitam otimizar o esforço amostral, mantendo a confiabilidade na recomendação do manejo sítio-específico vem sendo demandadas. Atualmente no Brasil, a identificação da variabilidade espacial das lavouras tem focado diretamente a realização de amostragens georreferenciadas de solo para mapeamento da sua fertilidade e posterior manejo diferenciado, sem integração com outros tipos de informação georreferenciada sobre o talhão. Embora o uso da AP possa resultar inicialmente em economia advinda das aplicações diferenciadas de corretivos e fertilizantes, salienta-se que, a sustentabilidade financeira no uso dessa ferramenta ao longo do tempo depende do constante aperfeiçoamento do seu ciclo como um todo (amostragem de solo, mapeamento, tomada de decisão de manejo, aplicações a taxa variável, monitoramento do solo e das culturas, aferição de desempenho e reorientação quando necessário) e não apenas da prática isolada de algumas das etapas constituintes.

É sabido que a produtividade em diferentes partes de uma lavoura depende de características do terreno (posição no relevo, tipo de solo, textura, capacidade de retenção de umidade, etc) que interagem ou influenciam na fertilidade química do solo. Portanto, um diagnóstico preliminar das causas de variação da produtividade possibilita direcionar a amostragem, reduzir o número de pontos de coleta e otimizar custos, além de melhorar a qualidade das informações expressas nos mapas de fertilidade e aumentar a confiabilidade na tomada de decisão quanto ao manejo localizado da adubação.

A identificação de zonas de manejo ou subáreas com uma combinação homogênea de fatores potencialmente limitantes da produtividade (MOLIN, 2002; SANTOS et al., 2003; LUCHIARI JUNIOR, 2004; MOLIN; CASTRO, 2008; CAMPOS et al., 2009; SANTI et al., 2012) pode ser considerada uma estratégia viável para o manejo localizado, em função do seu caráter permanente e possibilidade de manejo individualizado (MOLIN; CASTRO, 2008). Características topográficas, cor do solo, atributos físicos, drenagem, espessura do horizonte A, dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite e fotografias aéreas), mapas de produtividade e histórico da área, além de critérios conjugados, podem nortear de maneira mais consistente locais para amostragens de interesse e a delimitação das zonas de manejo.

Nesse sentido, o desenvolvimento de sensores para mapeamento de determinados atributos do solo mostra-se promissor na identificação de zonas de manejo, possibilitando num futuro próximo, simplificar as amostragens atualmente realizadas ou até mesmo dispensá-las. Entre os sensores que poderão vir a direcionar as amostragens tem-se o sensor de condutividade elétrica do solo. O fato de a condutividade elétrica apresentar alta correlação com a composição granulométrica (textura) poderá possibilitar, indiretamente, o estabelecimento de relações também com a capacidade de troca de cátions, o teor de matéria orgânica e a capacidade hídrica do solo. Outros sensores em desenvolvimento no exterior merecem destaque pelo fornecimento de leituras instantâneas de pH. Sensores baseados na resposta espectral do dossel de plantas numa lavoura já vêm sendo adotados no exterior e em fazendas pioneiras no Brasil e permitir

identificar zonas de vigor contrastante e direcionar amostragens de solo.

Um subsídio de grande relevância à delimitação de zonas homogêneas para amostragem direcionada do solo é a identificação de subáreas de produtividade diferenciada dentro dos talhões. Sobre esse aspecto, Amado et al. (2007) verificaram que a cultura do milho foi mais eficiente do que a soja em evidenciar as variações de produtividade existentes. Infelizmente, a maioria dos agricultores não atenta para detecção dessas variações de produtividade nas lavouras. Dada a quantidade de mensurações realizadas pelos sensores de produtividade das colhedoras, cerca de um registro a cada dois segundos, o mapa de produtividade devidamente gerado constitui informação extremamente detalhada e confiável.

Raramente se verifica alta correlação entre um fator de produção isolado, seja ele edáfico ou não, com a produtividade. Assim, os fatores de produção relacionados à fertilidade do solo e manejáveis com uso de corretivos e fertilizantes compõem apenas uma parcela dos condicionantes da produtividade final de uma lavoura. Em lavouras relativamente bem conduzidas, a limitada contribuição dos componentes da fertilidade química do solo se comprova nas baixas correlações observadas entre dados espacializados de análises de solo e foliares com a produtividade das culturas (RESENDE et al., 2005; MONTEZANO et al., 2006, 2008; VIEIRA JÚNIOR et al., 2006; DURIGON et al., 2009; SANTI et al., 2009; SOUZA et al., 2010). Por outro lado, atributos físicos do solo como textura, densidade, porosidade e capacidade de armazenamento de água (AMADO et al., 2007, 2009; SÁ et al., 2008; ROSA FILHO et al., 2009; SANTI et al., 2012) podem ter grande importância relativa na determinação da produtividade, mas nem sempre são considerados na AP. Esses fatos reforçam a necessidade de se trabalhar com uma abordagem interdisciplinar, tanto na pesquisa quanto na aplicação da AP, visando melhor aproveitar o seu potencial na busca de maior eficiência no gerenciamento da produção agrícola.

Num trabalho de mais longo prazo focando o mapeamento de colheitas, Santi (2007) relativizou as produtividades observadas com referência à média do talhão, durante seis safras envolvendo as culturas de soja, milho e trigo no

Rio Grande do Sul. Ao integrar os mapas das seis safras, o autor identificou zonas que na verdade representam ambientes de potencial produtivo diferenciado e estáveis temporalmente. Esse tipo de informação abre oportunidades concretas de se realizar o manejo sítio-específico não só da fertilidade do solo, mas também de outras práticas culturais importantes na formação da produtividade final das culturas, como o ajuste na taxa de semeadura visando uma população de plantas que proporcione maior rentabilidade em cada ambiente de produção. Outro exemplo de planejamento inteligente foi trabalhado por Campos et al. (2009), ao associarem o modelo digital de elevação do terreno com o mapeamento de atributos físicos e químicos do solo para separar ambientes de produção e, assim, definir o manejo diferenciado da adubação e a alocação de cultivares de cana-de-açúcar num talhão de 505 hectares. Com esse mesmo objetivo, a utilização de técnicas multivariadas, como a obtenção de agrupamentos ou *clusters*, poderá ser importante aliada no gerenciamento agrícola.

Uma desvantagem da delimitação espacial de ambientes de produção/zonas de manejo sem um critério técnico consistente é que, dependendo do tamanho da propriedade, aumenta-se a demanda gerencial para manejar talhões subdivididos, havendo necessidade de mais históricos detalhados. Por exemplo, é comum no estado do Mato Grosso produtores com mais de 50 talhões. Nesse caso, hipoteticamente, ao se criar três zonas de manejo em cada talhão, multiplica-se o esforço gerencial para acompanhamento do histórico, dificultando o trabalho com zonas de manejo. Neste sentido, quando se mapeia atributos temporalmente estáveis como textura, elevação do terreno, capacidade de retenção de água e até mesmo matéria orgânica, com utilização de sensores, fica mais fácil este gerenciamento e delineamento espacializado em sistemas de informação geográfica.

Em relação às alternativas de disposição de fertilizantes em taxa variável, espera-se que a indústria de máquinas e implementos prossiga na busca de melhorias constantes de eficiência de aplicação. Na agricultura de larga escala, em especial na região do Cerrado, a expectativa de maior rendimento operacional tem direcionado as escolhas do agricultor no momento de adquirir o

maquinário. Muitas vezes, a eficiência técnica das operações agrícolas tem sido posta de lado ao se optar por práticas que confirmam maior agilidade na condução de lavouras de grande extensão. Tendência recente é a compra de semeadoras de grande porte, sem distribuidores de adubo, que permitem alto rendimento na semeadura, mas implicam na aplicação antecipada do adubo de plantio. Assim, o uso de equipamentos para distribuição superficial de fertilizantes continuará atrelado ao manejo de grande parte das áreas destinadas aos sistemas de produção de grãos no Brasil. Contudo, também existem modelos de semeadora destinadas a realizar adubação em taxa variável incorporada no sulco de semeadura e a aferição de sua eficiência deve ser considerada nas ações de pesquisa.

7. Utilização de sensores

Uma solução alternativa às amostragens intensivas normalmente necessárias ao trabalho com informações espacializadas consiste na identificação de subáreas homogêneas ou zonas de manejo nos talhões, a partir de informações advindas do histórico de uso, da topografia local, da produtividade das culturas ou do uso de sensores. Nesse sentido, auxilia-se a obtenção direcionada de informações, com foco no manejo sítio-específico.

O uso de sensores diretos ou remotos, conforme haja ou não contato físico com o objeto alvo, tem denotado grande potencial de aplicação no manejo das lavouras. São exemplos de sensores os utilizados na determinação da produtividade das culturas, do pH do solo, dos teores de matéria orgânica, da condutividade elétrica, da umidade volumétrica do solo e do status de nitrogênio em plantas, assim como os sensores de múltiplos propósitos instalados em satélites orbitando a Terra.

No Brasil, parte expressiva dos estudos com sensores têm focado melhorias na definição da adubação nitrogenada (COELHO; INAMASU, 2008; POVH et al., 2008; GROHS et al., 2009; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009; FIORIN et al., 2010; SHIRATSUCHI et al., 2011). Entre os sensores de uso direto destaca-se a utilização de medidor do teor relativo de clorofila

ou clorofilômetro, visando à identificação de deficiências de N e sua possível correção durante o ciclo das culturas (HURTADO et al., 2011). O clorofilômetro é bastante confiável pela alta correlação entre as leituras da concentração relativa de clorofila e os teores foliares de N. Quando determinadas em grade amostral adequada, as leituras possibilitam a geração de informações espacializadas sobre o estado nutricional das lavouras (HURTADO et al., 2009). Contudo, o pós-processamento necessário à geração dos mapas de recomendação reduz a praticidade da ferramenta para utilização em larga escala, onde se prioriza a rapidez na identificação e correção de zonas deficientes em nitrogênio.

Nesse contexto, um avanço importante foi a disponibilização de sensores multiespectrais. Quando acoplados a veículos agrícolas, esses sensores podem viabilizar de maneira ágil a obtenção de informações espacializadas sobre o estado nutricional das lavouras em relação ao nitrogênio. Se associados a equipamentos dotados de controladores de aplicação em taxa variada de fertilizantes, possibilitam o redimensionamento de dosagens de N em tempo real, durante as adubações de cobertura. No Brasil, a utilização desse tipo de sensor encontra-se em fase de testes, com foco em culturas gramíneas, principalmente, a cana-de-açúcar (AMARAL; MOLIN, 2011), o milho (POVH et al., 2008; SHIRATSUCHI et al., 2011) e o trigo (POVH, et al., 2008; GROHS et al., 2011). O desempenho de sensores multiespectrais fundamenta-se na correlação entre nutrição nitrogenada e a intensidade da coloração verde das plantas, por meio do fornecimento do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Desse modo, pode-se relacionar as leituras com os níveis de adubação nitrogenada, conteúdo de N foliar e produtividade (MOLIN, 2010).

Sensores multiespectrais podem ser também embarcados em plataformas orbitais, permitindo a obtenção de imagens de alvos terrestres com diferentes graus de precisão ou resoluções espacial, espectral e temporal. As imagens obtidas são tratadas calculando-se o NDVI a partir de sensores com resolução espectral nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, contribuindo para a identificação de zonas de manejo nas lavouras. A partir dessas imagens, são possíveis inferências sobre atributos do solo, como a matéria orgânica.

O comportamento espectral da matéria orgânica em diferentes tipos de solo pode ser também avaliado com o uso do espectrorradiômetro, capaz de obter registros com uma alta resolução espectral (GENU; DEMATTÊ, 2012).

No mercado internacional são encontrados ainda sensores para a determinação do pH do solo de modo bem detalhado. Esse tipo de sensor pode ser associado a equipamentos coletores de dados de condutividade elétrica do solo, como por exemplo o Veris pH, que faz determinações georreferenciadas do pH a cada quatro segundos, adquirindo grande número de registros por unidade de área, o que permite gerar mapas confiáveis e muito detalhados do atributo.

8. Qualidade física do solo

A obtenção de informações sobre atributos químicos do solo deve ser, sempre que possível, complementada com dados de atributos físicos, por sua interação influenciar fortemente o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Entretanto as avaliações tradicionais de atributos físicos em alta densidade amostral no campo são geralmente trabalhosas e demoradas, o que desestimula sua adoção rotineira pelos técnicos e agricultores.

Diversas operações agrícolas são realizadas em dependência do estado hídrico do solo tais como, o controle de umidade para a realização de irrigações, a aferição de dados de resistência à penetração do solo ou a realização de trabalho com maquinário agrícola buscando minimizar a compactação. Nesse enfoque, podem ser empregados sensores que possibilitam estimar o conteúdo de umidade do solo, com base na reflectometria do domínio do tempo (TDR), e permitem a obtenção de leituras por meio de hastes de diferentes comprimentos instaladas em equipamentos portáteis. Se utilizados numa malha amostral, podem ser construídos mapas de estado hídrico do solo, subsidiando o gerenciamento agrícola na abordagem de AP.

A granulometria apresenta importância ao permitir explicar a relação existente entre a porosidade e a parte sólida do solo. Vinculado à porosidade, o conhecimento da estrutura do solo permite associar os impactos do comportamento

físico-hídrico e da fertilidade do solo na produtividade das culturas. O seu mapeamento, a partir da amostragem em malha, permite melhorar o gerenciamento por zonas. O estudo da estrutura do solo pode ser ampliado a partir da obtenção de amostras indeformadas, mediante a determinação da densidade do solo, da macroporosidade, microporosidade e porosidade total, além da determinação da curva característica de retenção de água no solo. Aqui, as leituras obtidas pelo uso de TDR são de grande valia, sobretudo, quando correlacionadas às informações de produtividade das culturas.

Informações sobre a estrutura do solo em diferentes profundidades podem ser obtidas, ainda, a partir das leituras da condutividade hidráulica e infiltração da água no solo. Esses dados podem ser gerados em laboratório, após a amostragem de solo indeformado, e a campo, por meio do uso de permeômetros, como o de carga constante modelo IAC (VIEIRA, 1998). Esses últimos possibilitam o mapeamento dos dados e a sua correlação com os demais atributos do solo, quando coletados em grade amostral.

Boas produtividades estão intimamente vinculadas ao estado hídrico do solo, com forte influência do tipo de estrutura e as suas possíveis alterações em função do manejo adotado em áreas agrícolas. Assim sendo, uma forma prática de mapear o potencial produtivo das lavouras é se conhecendo o estado de compactação do solo, a partir das leituras de resistência à penetração. O atributo apresenta relação inversa com a proporção do espaço poroso no solo, indicando para cada cultura, valores representativos da força de impedimento no qual o crescimento radicular pode ser limitado. A obtenção desses dados é simples e pode ser realizada a diferentes profundidades ou de forma contínua, por meio de penetrômetros de impacto ou hidráulicos, respectivamente, tendo como ressalva a necessidade de obtenção dos teores de umidade do solo *in loco*.

Os medidores da condutividade elétrica (CE) do solo por indução eletromagnética têm sua utilidade destacada pela rapidez na obtenção da informação, pela capacidade de detecção de CE em maior profundidade no perfil, assim como pela possibilidade de correlacionar os dados com outros obtidos para atributos granulométricos, de

umidade e de presença de sais no solo. Quando utilizados dispositivos portáteis, a informação pode ser registrada para cada um dos pontos constituintes das malhas amostrais, permitindo a geração de mapas por interpolação. Ainda, quando acoplados a tratores equipados com coletores de dados e de posicionamento geográfico, possibilitam o registro de forma contínua, aumentando muito a densidade de informação espacializada sobre a CE. Em princípio, ao se mapear indiretamente zonas de textura distinta a partir da CE, é possível estabelecer associações também com a capacidade de troca de cátions, teor de matéria orgânica e capacidade hídrica do solo. Tais informações têm valor na detecção de subáreas homogêneas nos talhões, visando reduzir o número de amostras de solo necessárias para caracterizar sua fertilidade. No Brasil, trabalhos de pesquisa vêm sendo conduzidos objetivando adaptar e validar a utilização de medidores de CE às características e propriedades dos solos tropicais (MACHADO et al., 2006; MOLIN; CASTRO, 2008). O uso desse tipo de sensor tende a tornar-se mais rotineiro na identificação de subáreas de atributos físicos contrastantes dentro dos talhões de cultivos.

9. Mapeamento de produtividade

No Brasil, a inserção da AP criou uma primeira expectativa a partir da geração de mapas de produtividade, possibilitado pelo uso do GPS e dos sensores de impacto e umidade acoplados às colhedoras. Embora apresente uma informação consistente sobre o potencial produtivo das lavouras, o uso dessa ferramenta ainda não foi amplamente disseminado no País, em parte, devido à falta de suporte das empresas fornecedoras desse tipo de equipamento, mas, também, por alguma dificuldade no processamento pós-coleta dos dados e mesmo pelo desconhecimento de sua relevância por consultores agrícolas e produtores. De fato, o trabalho com o monitor de produtividade requer atenção para uma adequada calibração dos sensores. Caso contrário, os mapas resultantes podem acusar situações que não condizem com a realidade produtiva dos talhões.

Um levantamento criterioso de tendências de zonas homogêneas de potencial produtivo,

a partir de mapas de produtividade de algumas safras, pode permitir o direcionamento inteligente da etapa de amostragem de solo num talhão. É preciso levar em consideração que os mapas de produtividade são o resultado da interação e atuação conjunta dos fatores de produção (ligados ao solo, planta e ambiente) nas lavouras. Mapas de produtividade de milho e soja para um mesmo talhão podem divergir quanto às suas tendências de variabilidade. Sobre esse aspecto, Amado et al. (2007) verificaram que a cultura do milho foi mais efetiva do que a soja em evidenciar variações de produtividade numa área de cultivo.

A efetiva funcionalidade dos sensores de produtividade acoplados às colhedoras possibilita a elaboração de mapas de colheita e a visualização do desempenho produtivo das culturas em diferentes locais dentro de cada talhão, representando informação de extrema relevância para o registro de histórico das áreas (SANTI et al., 2009) e o estabelecimento de zonas de manejo. Estimativas grosseiras do rendimento físico das culturas pouco contribuem para o aprimoramento do manejo, sobretudo porque a produtividade média de um talhão não expressa o grau de variabilidade espacial e temporal em diferentes partes da lavoura.

10. Semeadura em taxa variável

A agricultura de precisão evolui no sentido de maximizar a rentabilidade das áreas de cultivo conforme seu potencial de retorno aos investimentos em insumos e manejo. Nessa perspectiva, um procedimento importante é o ajuste da população de plantas que promova melhor desempenho da cultura, conforme características favoráveis ou limitantes dos diferentes ambientes de cultivo eventualmente presentes dentro de um mesmo talhão. A disponibilização de semeadoras aptas a operar com taxa variável de distribuição de sementes representa uma flexibilidade que pode ser conveniente ao agricultor, principalmente devido ao fato de o gasto com sementes apresentar participação expressiva no custo de produção das lavouras atualmente. Em princípio, para a cultura do milho, uma maior população de plantas pode ser vantajosa em ambientes de alta fertilidade e com boa disponibilidade hídrica, ao

passo que uma menor densidade de plantas seria recomendável em ambientes mais restritivos. Para a soja essa estratégia se inverte, pois uma alta densidade de plantas em área com elevada fertilidade induz ao acamamento da cultura em virtude do excessivo crescimento vegetativo e estiolamento, ao passo que, num ambiente menos favorável, uma maior população pode compensar a limitação de crescimento das plantas. Todavia, ainda são incipientes os trabalhos com semeadura em taxa variável no Brasil e a validação dessa técnica deverá ser realizada estabelecendo-se claramente as variáveis edafoclimáticas e de manejo que condicionam sua eficiência técnica para cada cultura.

11. Necessidade de qualificação de pessoal

A Embrapa considera estratégico o estudo integrado em AP e vem procurando fomentar um esforço nacional de pesquisa interdisciplinar em sistemas de culturas anuais e perenes de diferentes regiões do país, promovendo a interação entre unidades da Embrapa, universidades, empresas de máquinas e implementos, prestadoras de serviços, cooperativas agrícolas, técnicos e produtores.

Existem hoje equipamentos, softwares e empresas prestadoras de serviços que podem apoiar o produtor na coleta e processamento de dados sobre solo, clima e culturas. Esses registros podem ser armazenados e analisados ao longo do tempo, permitindo ajustes gradativos nas operações da fazenda e no manejo das lavouras.

Obstáculos ainda são impostos pela carência de pesquisas para adaptação e validação tecnológica considerando as características dos sistemas de produção, precariedade da assistência técnica por parte dos fornecedores de máquinas e equipamentos, escassez de pessoal especializado para consultoria agrônoma em AP e, especialmente, falta de mão-de-obra treinada nas fazendas brasileiras (PIRES et al., 2004; SILVA; MORAES; MOLIN, 2010). Como ações que têm contribuído para aumentar o nível de treinamento e o quantitativo de pessoas aptas a exercer atividades relacionadas ao desenvolvimento e aplicação da AP cabe destacar: 1) a oferta de disciplinas e mesmo cursos

de graduação e de pós-graduação em algumas universidades, voltados à formação de recursos humanos especializados em AP; 2) o surgimento de grupos de pesquisa em diferentes regiões produtoras do País; 3) iniciativas de organizações de produtores e cooperativas envolvendo validação e esclarecimento acerca de tecnologias disponíveis aos agricultores; 4) estímulo da Embrapa à integração e ampliação da competência científica mediante a formação de rede de pesquisa e difusão de tecnologias, incluindo o treinamento de pessoal externo via participação de bolsistas de diversas agências financiadoras; e 5) atuação do SENAR no desenvolvimento de cursos especificamente focados em tecnologias de AP e direcionados à capacitação de pessoal das fazendas em âmbito nacional.

12. Considerações finais

De modo geral, o produtor brasileiro está cada dia mais bem informado e busca inovações que possam facilitar a sua rotina de trabalho e aumentar a rentabilidade da sua atividade. Concomitantemente, existe oferta cada vez mais diversificada de equipamentos e tecnologias para os diversos setores da agropecuária. Ao experimentar inovações, os produtores naturalmente são induzidos a melhorar seu nível gerencial, tornando-se mais preparados e competitivos. Essa tendência deverá ser reforçada diante do papel destacado que o País terá no abastecimento mundial de alimentos nas próximas décadas.

A agricultura de precisão é uma abordagem que permite agregar informações para melhor (re) conhecimento e domínio das unidades produtivas, sendo adequada aos produtores que vislumbrem retornos de longo prazo, decorrentes da adoção continuada da AP. O acúmulo de informações sobre a evolução dos talhões numa perspectiva espacial e temporal constitui um subsídio essencial na busca de aprimoramento constante do gerenciamento da moderna propriedade agrícola. Informações georreferenciadas de qualidade, devidamente processadas, são a chave para o acompanhamento do desempenho da propriedade e para o diagnóstico que direciona o aprimoramento

gerencial. Logicamente que essa não é uma abordagem trivial. O produtor que deseja praticar a AP em sua plenitude precisa se cercar de profissionais capazes de prestar serviços técnicos e assessoramento agrônomo de qualidade.

A AP aplicada de forma correta deve permitir melhor gerenciamento dos processos de produção agrícola, de modo a torná-los mais eficientes. Essa eficiência envolve o uso mais racional dos insumos necessários, otimizando o potencial produtivo das culturas e a competitividade do produtor rural, além de proporcionar melhor qualidade ambiental. Maior eficiência significa produção com menor custo na fazenda, o que tem reflexos positivos em termos de oferta e preço final dos produtos ao consumidor.

Agradecimentos

Aos parceiros da Rede AP, agricultores, cooperativas, universidades, prestadores de serviço e indústria de máquinas e equipamentos, que vêm contribuindo de forma decisiva para que as pesquisas desenvolvidas tenham o crivo da realidade do campo e uma abrangência geográfica nacional. Às agências de fomento à pesquisa, CNPq e CAPES, pelo suporte financeiro e bolsas.

Referências

- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800006>
- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.
- AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 12, p. 1633-1642, 2011.
- ANTUNIASSI, U. R. A tecnologia agrícola a serviço do manejo fitossanitário. In: MACHADO, A. K. F. M.; OGOSHI, C.; PERINA, F. J. et al. (Ed.). *Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário*. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora: NEFIT: UFLA, 2012. p. 19-36.

- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. *Ciência Rural*, v. 38, n. 4, p. 974-980, 2008.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 297-304, 2009.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 3, p. 249-290, 2003.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão em sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 1062-1080.
- COELHO, A. M.; INAMASU, R. Y. Uso de sensores para o conhecimento de padrões do estado nutricional do milho para o manejo localizado de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., Londrina, 2008. Anais... Londrina: IAPAR; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. CD-ROM.
- COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do estado de Mato Grosso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200019>
- DURIGON, R.; SCHLOSSER, J. F.; RUSSINI, A.; DORNELLES, M. E. C.; PINHEIRO, E. D. Correlações entre atributos químicos do solo e atributos da cultura e da produtividade de arroz irrigado determinadas com técnicas de manejo localizado. *Ciência Rural*, v. 39, n. 9, p. 2629-2633, 2009.
- FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C.; SHNELL, A.; ALBA, P. J.; WYZYKOWSKI, T. Projeto APcoop nas cooperativas agrícolas do Rio Grande do Sul. *Revista Plantio Direto*, n. 115, 2010. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=971>. Acesso em: 27 jun. 2010.
- GENU, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M. Espectrorradiometria de solos e comparação com sensores orbitais. *Bragantia*, v. 71, n. 1, p. 82-89, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012005000005>
- GIMENEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade. *Informações Agronômicas*, n. 138, p. 19-25, 2012.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTI, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; POLETTI, N.; MUNDSTOCK, C. M. Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 4, p. 446-449, 2011.
- HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S.; HIGASHIKAWA, F. S. Otimização da adubação em lavoura com altos teores de potássio no solo: uso de agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE CERRADO, 9., 2008, Brasília. Anais... Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. CD-ROM.
- HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 3, p. 300-309, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300012>
- HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. *Ciência Rural*, v. 41, n. 6, p. 1011-1017, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000074>
- LUCHIARI JUNIOR, A.; SILVA, A. D.; BUSCHINELLI, C. C. A.; HERMES, L. C.; CARVALHO, J. R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 19-35.
- LUZ, P. H. C.; OTTO, R.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A.; ALTRAN, W. S.; IKEDA, R. Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. *Informações Agronômicas*, n. 129, p. 1-13, 2010.
- MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; MOLIN, J. P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L. M. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 115-129.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>
- MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GÓES, S. L.; KORNDORFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; LIMA, E. A. Benefícios econômicos e agronômicos da adoção de agricultura de precisão em usinas de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais... Piracicaba: ESALQ, 2006. CD-ROM.
- MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Engenharia Agrícola*, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

- MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 6, p. 567-573, 2008.
- MOLIN, J. P. Use of active optical sensors for crops in Brazil. *Better Crops With Plant Food*, v. 94, n. 3, p. 18-20, 2010.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 5, p. 839- 847, 2006.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. *Bragantia*, v. 67, n. 4, p. 969-976, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400020>
- MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200005>
- PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; FRANCA, S.; RAMBO, L. Discutindo agricultura de precisão: aspectos gerais. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*, 2004. 18 p. (Documentos Online, 42). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>. Acesso em: 17 jun. 2010.
- POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 1075-1083, 2008.
- RESENDE, A. V.; KRAHL, L. L.; SHIRATSUCHI, L. S.; GOEDERT, W. J.; DÖWICH, I. Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas. *Planaltina: Embrapa Cerrados*, 2005. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 145).
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais... Piracicaba: ESALQ, 2006. CD-ROM.
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. Anais... Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010. CD-ROM.
- RESENDE, A. V. Agricultura de precisão: reflexões sobre a adubação fosfatada a taxa variável. *Revista Plantio Direto*, v. 20, n. 123, p. 15-18, 2011. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1047>. Acesso em: 27 maio 2013.
- ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 283-293, 2009.
- SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. F.; SHIRATSUCHI, L. S. Variabilidade espacial da massa seca da parte aérea de soja relacionada com atributos do solo no Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE CERRADO, 9., 2008, Brasília. Anais... Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. CD-ROM.
- SANTI, A. L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. 2007. 175 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- Santi, A. L.; Amado, T. J. C.; Cherubin, M. R.; Martin, T. N.; Pires, J. L.; Flora, L. P. D.; Basso, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900020>
- SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. *Revista Plantio Direto*, n. 109, 2009. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=907>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- SANTOS, A. O.; MAZIERO J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.
- SANTOS, A. O.; PALLONE FILHO, W. J.; UNGARO, M. R. G.; LINO, A. C. L.; RADIN, B. Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 463-468, 2003.
- SHIRATSUCHI, L. S.; VILELA, M. F.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; RESENDE, A. V.; HURTADO, S. C.; CORAZZA, E. J. Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 184-188.
- SILVA, C. B.; MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo State, Brazil. *Precision Agriculture*, v. 12, n. 1, p. 67-81, 2011.
- SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. D. C.; DETOMINI, E. R. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 4, p. 483-492, 2006.

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. *O Agrônomo*, v. 32-33, p. 47-50, 1998.

VILELA, M. F.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Fotografia aérea no monitoramento e diagnóstico de uma área cultivada com milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais... 2006. Piracicaba: Esalq, 2006. CD-ROM.