



XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade

Álvaro V. Resende¹, Luciano S. Shiratsuchi², Antonio M. Coelho¹, Edegar J. Corazza³, Marina F. Vilela², Ricardo Y. Inamasu⁴; Alberto C. C. Bernardi⁵, Luis H. Bassoi⁶, João M. Naime⁴

1. Introdução

De acordo com uma de suas definições, a agricultura de precisão (AP) consiste de um conjunto de princípios e tecnologias aplicados no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental (Pierce & Nowak, 1999). Em termos práticos, envolve a obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas de cultivo agrícola, visando definir estratégias de manejo mais eficientes, em especial, o uso racional de insumos.

Com desenvolvimento recente, a AP foi introduzida no Brasil a pouco mais de uma década, mas apresenta grande potencial de aplicação na produção de grãos e em culturas perenes, o que, certamente, contribuirá de forma positiva para a garantia da segurança alimentar, com sustentabilidade econômica e ambiental. As técnicas associadas à AP despertam crescente interesse no meio científico e entre aqueles que se dedicam à atividade agropecuária no Brasil, incluindo produtores rurais e, principalmente, fabricantes de equipamentos, prestadores de serviços e consultores agrícolas.

Áreas muito expressivas, ocupadas sobretudo por culturas anuais e cana-de-açúcar, já são manejadas sob algum enfoque da AP, destacando-se a utilização de amostragem georeferenciada para o mapeamento da fertilidade do solo e posterior aplicação de corretivos e fertilizantes a

¹ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG. E-mail: alvaro@cnpms.embrapa.br, amcoelho@cnpms.embrapa.br.

² Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. E-mail: shozo@cpac.embrapa.br, marina@cpac.embrapa.br.

³ Pesquisador da Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF. E-mail: edemar@sct.embrapa.br.

⁴ Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos – SP. E-mail: ricardo@cnpdia.embrapa.br, naime@cnpdia.embrapa.br.

⁵ Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos – SP. E-mail: alberto@cppse.embrapa.br.

⁶ Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina – PE. E-mail: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br.

taxa variável. O impacto mais imediato do tratamento diferenciado das lavouras em relação ao manejo de corretivos e fertilizantes 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, as ações de pesquisa associadas a essa temática vêm evoluindo em ritmo aquém do desejável, em parte, devido à maior complexidade dos procedimentos experimentais envolvidos nos estudos de AP. Nesse cenário, constata-se uma grande defasagem entre as práticas que vêm sendo utilizadas em larga escala no setor produtivo e o que seriam tecnologias de AP validadas com rigor científico.

Neste trabalho, é apresentada uma análise crítica sobre a situação atual da agricultura de precisão no Brasil, com foco no manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção de culturas anuais, procurando-se destacar os principais aspectos positivos, as limitações, os benefícios potenciais e a necessidade de pesquisa relacionada a essa importante e inovadora abordagem na atividade agropecuária.

2. Evolução da agricultura de precisão no Brasil

As primeiras iniciativas de adoção e pesquisa da AP no Brasil ocorreram na segunda metade da década de 1990. Com a popularização dos equipamentos GPS (“*Global Positioning System*”) e o desenvolvimento de diversos equipamentos, dispositivos e programas computacionais voltados à obtenção e processamento de dados georeferenciados, suas aplicações na agricultura têm se tornado cada vez mais comuns. No início dos anos 2000, houve grande expectativa com a disponibilização de colhedoras equipadas com GPS e sensores de produtividade (monitor de colheita), mas em seguida se pôde perceber uma certa retração na intenção dos agricultores em adquirir esse tipo de maquinário, o que, em parte, pode ser atribuído à dificuldade de utilização do monitor de colheita, de processamento dos dados coletados e, até mesmo, à pequena utilidade vislumbrada nos mapas de colheita pelos produtores. De fato, até os dias atuais, o emprego do mapeamento de produtividade é ainda incipiente nas principais regiões produtoras do país, contrastando com a situação em países como Estados Unidos e Argentina, nos quais as vendas de colhedoras equipadas com monitor de produtividade é muito mais expressiva.

Crescimento vertiginoso vem sendo observado nos últimos cinco anos na utilização de amostragens georeferenciadas para mapeamento da fertilidade do solo e distribuição de corretivos e fertilizantes em taxa variável. Com essa finalidade estabeleceram-se numerosas empresas prestadoras de serviços, mormente em regiões propícias à mecanização, como é o caso do Cerrado. Estima-se que algo entre 3 e 4 milhões de hectares de lavouras anuais e cerca de 1,5 milhão de hectares de cana-de-açúcar estejam sendo trabalhados com esse tipo de aplicação da AP¹ no país .

Frente à situação exposta, considera-se que são poucos os trabalhos de pesquisa em AP no Brasil, especialmente aqueles com experimentos de longa duração. A evolução da pesquisa brasileira pode ser retratada em números de publicações que associam o assunto “agricultura de precisão” (Figura 1), na forma de artigos técnico-científicos em periódicos indexados na biblioteca eletrônica SciELO Brasil (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_home&lng=pt&nrm=iso), de teses e dissertações no banco de teses da Capes (<http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/>) e outros documentos diversos registrados como produção científica da Embrapa (<http://www.prodemb.cnptia.embrapa.br/>). Deve-se destacar que foram contabilizadas publicações em geral, sobre os mais diversos tópicos vinculados à palavra-chave “agricultura de precisão”, não se restringindo aos estudos de solos e adubação. É interessante notar que em 2002 houve considerável impulso na geração de informações sobre AP, com uma tendência crescente até 2005 e retração em 2006. De 2007 a 2009, não obstante o incremento de adoção verificado no campo, observa-se certa estabilização na pesquisa, com média de nove artigos e 38 teses e dissertações ao ano.

Essa certa estagnação da produção científica reflete a insuficiente massa crítica sobre AP existente nas universidades e institutos de pesquisa, o que torna lento não só o desenvolvimento de tecnologia nacional, mas também os processos de adaptação e validação de tecnologias importadas aos sistemas de cultivo aqui praticados.

Sem dúvida, houve avanço significativo ao se conseguir traduzir as informações espacializadas sobre as condições de solo (diagnóstico) em tomada de decisão para manejo sítio-específico das lavouras (intervenções diferenciadas). Teoricamente, ao se vincular espacialmente as quantidades de insumos aplicadas, ao estado de fertilidade ou à capacidade produtiva de diferentes partes de uma lavoura, otimiza-se o potencial de rendimento físico e o retorno econômico daquela área, diminuindo o risco ambiental. Contudo, a AP em manejo do solo no Brasil ainda está, de certa forma, restrita às etapas de diagnóstico espacializado e aplicações de insumos a taxa variável, sem

¹ Professor José Paulo Molin, USP/ESALQ (informação pessoal).

posterior aferição crítica das respostas das culturas e das alterações em atributos do solo. Especificamente nesse aspecto, o monitoramento e a avaliação dos efeitos de tais práticas na variabilidade espacial e temporal do solo e da produtividade, em médio e longo prazo, carecem maior esforço de investigação científica.

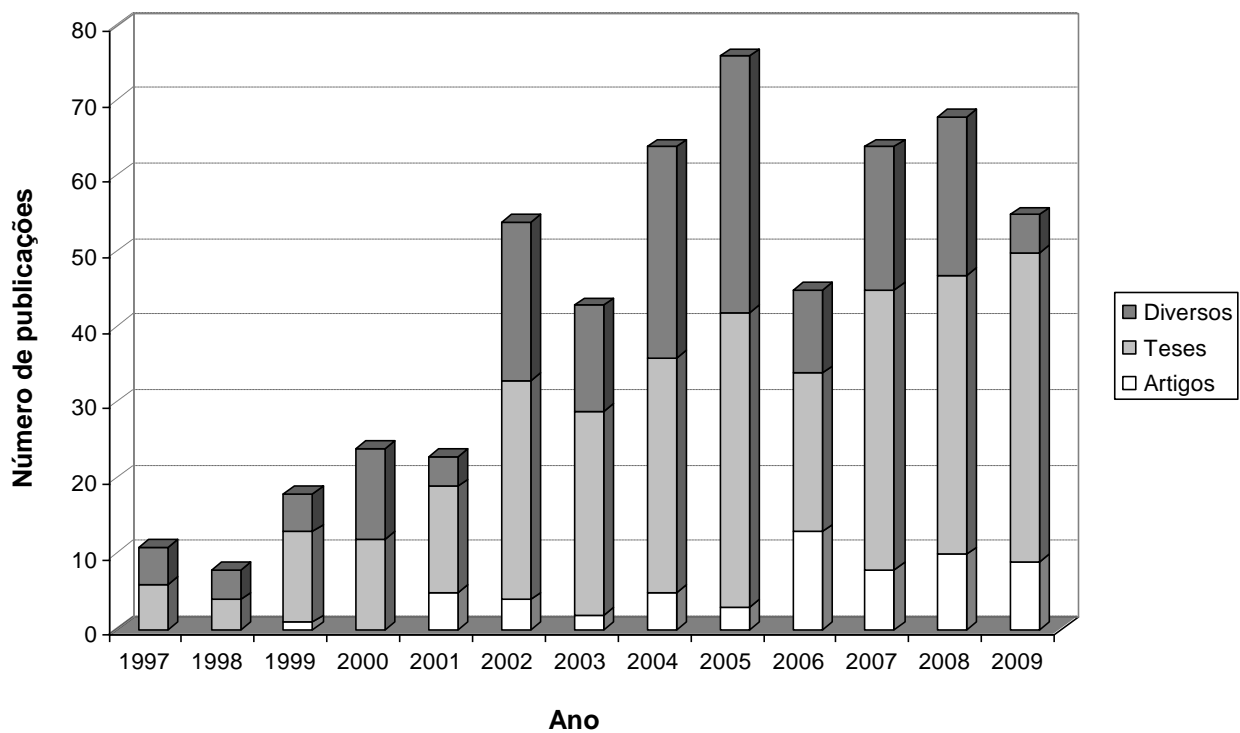


Figura 1. Evolução da quantidade de publicações brasileiras relacionadas à agricultura de precisão no período de 1997 a 2009. (Fonte: Capes, 2010; Embrapa, 2010; Scielo, 2010).

Em 2004 foi realizado o primeiro Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (CONBAP), que desde então vem sendo organizado bianualmente em alternância com o Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão (SIAP). Diversas instituições públicas e privadas têm direcionado linhas de atuação para a pesquisa e o desenvolvimento da agricultura de precisão. Exemplo duradouro de um esforço integrado de estudos em AP é o Projeto Aquarius, que, desde 2000, congrega a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), cooperativa de produtores e empresas de máquinas e fertilizantes na região de Não-Me-Toque (RS). Por sua vez, a Embrapa considera o tema estratégico e vem procurando fomentar uma rede nacional de pesquisa interdisciplinar, cujo objetivo atual é estabelecer uma série de Unidades Pilotos de AP 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.

3. Principais aplicações da agricultura de precisão no manejo de solos

3.1. Sistemas de automação, sensoriamento remoto, sistemas de guia e monitores de colheita

Algumas aplicações do ferramental de AP, não associadas diretamente ao manejo da fertilidade do solo, 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: 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, informações climatológicas) 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 nas lavouras 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 (Figura 2), utilizados de forma isolada, também não expressam AP. Entretanto, permitem o deslocamento preciso de máquinas (ex: 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 do trânsito de máquinas nas lavouras, amenizando os problemas de compactação do solo e de contaminação ambiental. Benefícios dessa natureza, além de ganhos em produtividade e qualidade industrial, são relatados como principais motivadores de adoção da AP em áreas de cana-de-açúcar de usinas sucroalcooleiras do estado de São Paulo (Silva et al., 2010).

Imagens de satélite e fotografias aéreas digitais se mostram de grande valor na detecção e no monitoramento da variabilidade espacial e temporal nas áreas de cultivo. Avanços importantes vêm sendo conseguidos mediante a obtenção e processamento de imagens relativas a determinadas fases de desenvolvimento das culturas, possibilitando detectar e espacializar diferenças quanto ao vigor vegetativo, estado nutricional, incidência de pragas e doenças, infestação por plantas daninhas e

potencial produtivo dentro do talhão (Vilela et al., 2006a; Baesso et al., 2007; Medeiros et al., 2008; Sena Junior et al., 2008).



Figura 2. Trator equipado com barra de luz e piloto automático. (Foto: Álvaro Resende).

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 (Figura 3), representando informação de extrema relevância para o registro de histórico das áreas (Santi et al., 2010) e o estabelecimento de zonas de manejo. Apesar da importância que tem em termos gerenciais, a correta aferição das produtividades obtidas a cada safra sempre foi negligenciada pelos produtores. 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. Mesmo os agricultores que dispõem de colhedoras equipadas com monitor de produtividade têm deixado de usufruir do seu potencial informativo, pelo fato de a utilização dos sensores e o processamento dos dados coletados não serem tarefas triviais. Esta situação torna-se

ainda mais crítica em áreas de cultivo de grande extensão, como é comum na região do Cerrado, onde o tamanho médio dos talhões é muito superior ao observado em outras regiões produtoras do Brasil e do exterior. Talhões de grandes dimensões acabam representando um entrave ao diagnóstico, monitoramento e intervenções de manejo mais detalhados. Como será discutido adiante, o custo de utilização das práticas de AP atualmente preconizadas no Brasil, para correção do solo e adubação sítio-específicas, aumenta conforme o grau de detalhamento desejado.

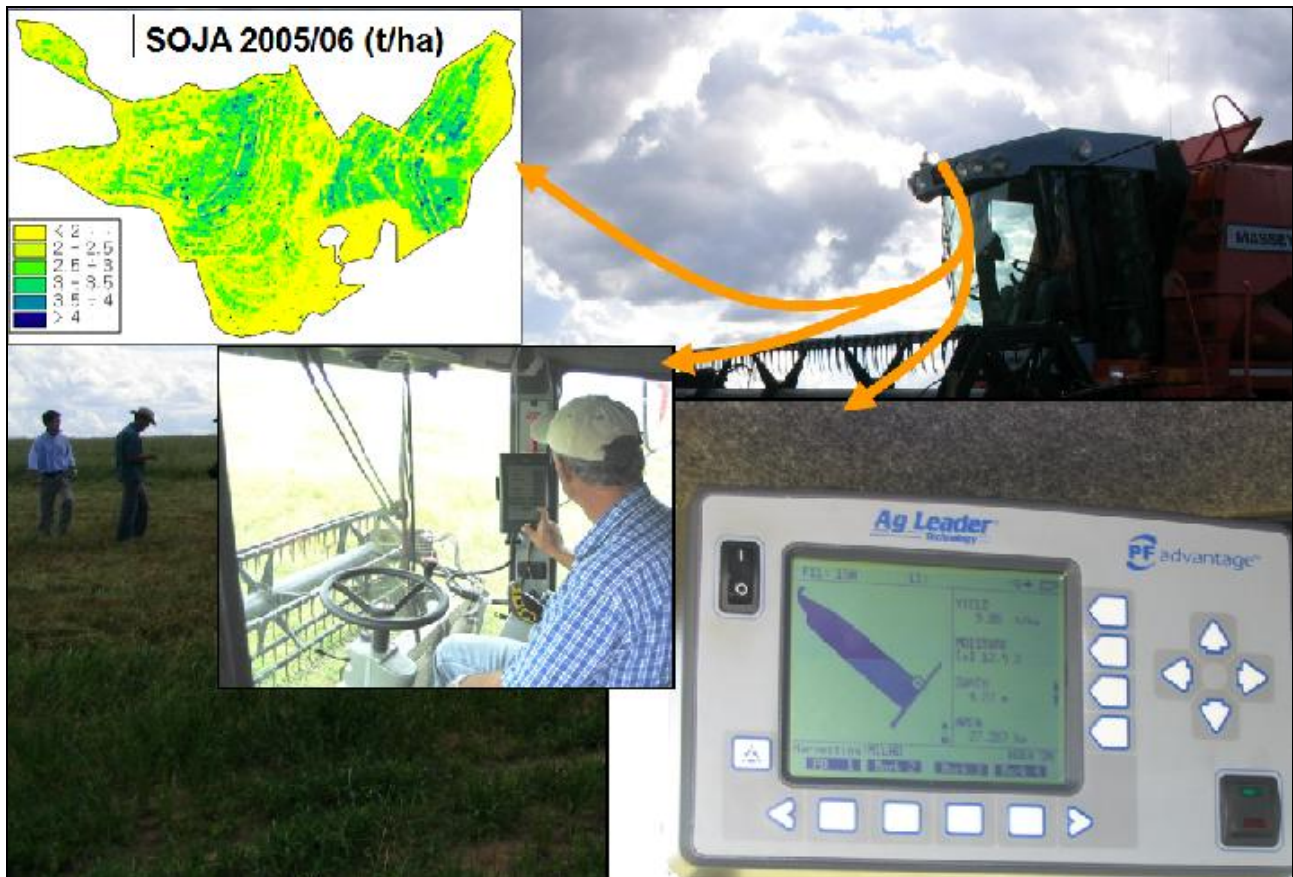


Figura 3. Esquema ilustrativo do mapeamento de colheita, exibindo a antena de GPS da colhedora, monitor e sistema de comando de sensores de produtividade na cabine e mapa representando os dados processados de produtividade de soja. (Fonte: Embrapa, não publicado).

3.2. Amostragem georeferenciada de solos, mapeamento da fertilidade e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável

A aplicação de técnicas de AP no manejo da fertilidade do solo desperta o interesse de agricultores, consultores e empresas prestadoras de serviços georreferenciados. O ponto de partida é

a realização de amostragens que permitam caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo relacionados à produtividade das culturas numa determinada área. Para tanto, normalmente tem sido coletadas amostras georeferenciadas dispostas numa grade amostral (“*grid*”), de modo a permitir que os resultados das análises possam ser processados por meio de geoestatística e posteriormente sejam elaborados mapas interpolados que representam a variação espacial nos valores de cada atributo analisado. De posse dos mapas de fósforo (P), potássio (K) e saturação por bases (V%), por exemplo, é possível gerar mapas de prescrição de fornecimento de fertilizantes e de calcário em quantidades distintas para diferentes partes do talhão, de acordo com a mudança na condição de fertilidade de um local para outro dentro da área em questão. O mesmo pode ser feito visando a realização de gessagem, desde que se realize amostragem georeferenciada também na camada de 20 a 40 cm de profundidade. Já se dispõe hoje de maquinário, inclusive de fabricação nacional, capaz variar automaticamente a aplicação desses insumos de acordo com os mapas de prescrição. O conjunto dessas etapas é designado pelo termo em inglês “*Variable Rate Technology*” (VRT), que no presente caso pode ser traduzido como “tecnologia de adubação a taxa variável”. A execução dessas operações constitui, portanto, o que se chama de manejo localizado ou manejo sítio-específico da fertilidade do solo.

Os procedimentos desde a amostragem georeferenciada até a distribuição de corretivos e fertilizantes a taxa variável representam, sem dúvida, o principal serviço de AP oferecido atualmente aos produtores rurais no Brasil. Empresas especializadas empregam amostradores hidráulicos de solo adaptados em quadriciclos ou caminhonetes com GPS para as coletas a campo, processam os resultados de análise por meio de programas computacionais de geoestatística e utilizam sistemas de informação geográfica (SIG) para produzir os mapas diagnósticos e de prescrição, sendo estes reconhecidos pelos equipamentos distribuidores de corretivos e fertilizantes a taxa variável.

4. Fertilidade do solo manejada por meio da agricultura de precisão

4.1. Procedimentos atualmente utilizados em escala comercial

Há longo tempo é reconhecida a variabilidade espacial dos solos, razão pela qual foram indicados os critérios básicos da amostragem tradicional, visando subdividir as áreas de coleta em zonas mais homogêneas e melhorar a representatividade das amostras enviadas para análise em laboratório. Trabalhos empregando geoestatística (Machado et al., 2004; Corá & Beraldo, 2006; Resende et al., 2006; Barbieri et al., 2008; Montanari et al., 2008) comprovam a possibilidade e, ao

mesmo tempo, a dificuldade de se espacializar a variabilidade do solo como forma de refinar o seu manejo agrônomo. Os estudos nesse sentido têm indicado a necessidade de grades amostrais relativamente densas, com coleta e análise de grande número de amostras, para que se possa captar a variabilidade do solo nas lavouras (Coelho, 2003; Machado et al., 2004, Resende et al., 2006). 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, normalmente entre 2 e 10 hectares, 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. Um problema adicional, principalmente no caso de grades menos densas, é a disposição arbitrária da grade sobre o mapa de contorno do talhão para indicar os pontos de coleta a serem seguidos no campo. Esse procedimento não garante que, dentro de cada célula, as características e propriedades do solo serão homogêneas.

No que se refere à fertilidade do solo, a AP tem grande potencial de desenvolvimento, mas ainda envolve elevados custos com análises de solo. Nesse aspecto, é necessária a definição de técnicas de amostragem otimizadas, que permitam reduzir o número de amostras a serem analisadas, mas mantendo-se a confiabilidade para recomendação de manejo de forma diferenciada dentro do talhão.

4.2. Desafios para a pesquisa

A ocorrência de variações de produtividade dentro de uma área de cultivo é o pressuposto básico que justifica trabalhar com agricultura de precisão. O ponto chave é: demarcar os locais dessas variações e identificar as suas causas, para então definir a melhor estratégia de manejo para cada local. Antes de mais nada, o tipo de variabilidade detectado precisa ser agronomicamente relevante e apresentar magnitude tal que justifique esforços de manejo sítio-específico por parte do produtor. A variabilidade de atributos do solo em algumas áreas, especialmente na região do Cerrado, costuma ser pouco expressiva a curta distância, daí, pequenos talhões podem não demandar intervenções de manejo localizado. Nesse contexto, ganha importância a definição de critérios para um diagnóstico coerente, evitando a realização de intervenções diferenciadas inócuas ou desnecessárias.

A adequação de grades amostrais com coleta de uma amostra a cada dois ou mais hectares, para fins caracterização da fertilidade do solo e definição dos locais da lavoura que devem receber tratamento diferenciado na adubação ainda é um aspecto controverso. Alguns trabalhos têm apontado a necessidade de grades amostrais densas, comumente mais de uma amostra composta por hectare, para que se possa identificar a variabilidade das áreas e caracterizar sua estrutura espacial, implicando em custos elevados. Na região dos Campos Gerais do Paraná, Machado et al. (2004) estudaram uma área de Latossolo Vermelho distroférico, utilizando células de 40 x 40 metros (107 pontos cobrindo 13 hectares), além de malhas mais densas em zonas de textura contrastante dentro da área. Os resultados levaram os autores a sugerir que seria necessária a coleta de 14 amostras por hectare a fim de representar a variabilidade dos atributos do solo naquele talhão. Num estudo de caso na região do Cerrado, em lavoura de 97,5 hectares sobre Latossolo Vermelho Amarelo no entorno de Brasília, Resende et al. (2006) empregaram amostragens em grades com células de área variando de 0,25 a 9,0 hectares. Obteve-se dependência espacial para todos os principais atributos de fertilidade quando se utilizaram células de até 2,25 ha, exceto para o P que só apresentou dependência espacial na amostragem mais densa, em células de 0,25 ha, o que corresponde a quatro amostras de solo por hectare. Matéria orgânica, K, Ca e Mg apresentaram dependência espacial em grades com células de até 4,0 ha. É importante notar que, mesmo havendo dependência espacial, os mapas obtidos a partir de amostragens em células de 0,25; 1,0; 2,25 ou 4,0 ha exibiram conformações muito distintas (Figura 4), que certamente acarretariam diferentes delimitações de zonas para adubação sítio-específica.

Os resultados de pesquisa comprovam que a densidade de amostragem ideal muda conforme a área de estudo, além de depender do atributo de solo analisado, dificultando sobremaneira as extrapolações de recomendação de amostragem para fins de AP. De modo geral, textura, matéria orgânica, pH, K, Ca e Mg apresentam gradiente de variação com maior continuidade espacial, ao passo que P e micronutrientes expressam alta variabilidade espacial (Couto & Klamt, 1999; Santos et al., 2001; Montezano et al., 2006; Resende et al., 2006; Amado et al., 2009), requerendo estes, portanto, amostragens de solo com maior densidade de pontos de coleta para adequada representação nos mapas de fertilidade.

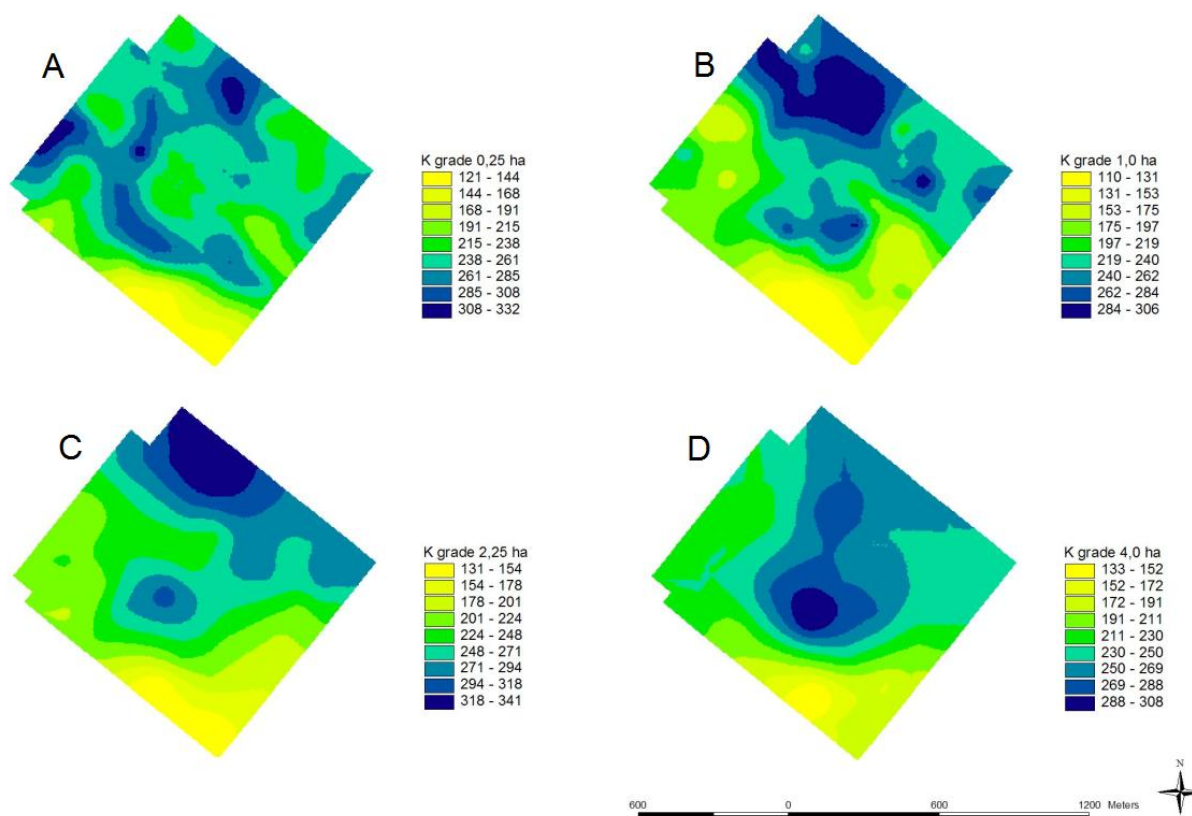


Figura 4. Teores de potássio (mg dm^{-3}) no solo obtidos a partir de amostragens em grades com células de 0,25 (A); 1,0 (B); 2,25 (C) e 4,0 (D) hectares. (Fonte: Resende et al., 2006)

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. 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.

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 aplicar, a agricultura de precisão já de início proporciona um maior detalhamento de informações pela amostragem em grade. Nesse cenário, são previsíveis os benefícios da aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável. Assim, tem sido muito 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 dose 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 aplicar quantidades sub ou superestimadas em diferentes partes do talhão. Uma 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 surgem diante do modelo atual de AP em fertilidade do solo no Brasil e que deverão ser objetos de pesquisa são os seguintes: 1) Quais as implicações do manejo de corretivos e fertilizantes a taxa variável em termos de homogeneização e estabilização de atributos do solo e da produtividade das culturas em médio e longo prazo? 2) Como é improvável a continuidade indefinida 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 são os benefícios ambientais resultantes da implementação da AP e quais critérios devem ser usados para sua quantificação e valoração?

4.3. Alternativas de aperfeiçoamento do manejo da adubação com agricultura de precisão

Como foi visto, o mapeamento empregando grades amostrais apresenta imperfeições e a economicidade desse procedimento poderá inviabilizar a continuidade da AP em fertilidade do solo nos moldes atuais, à medida que os ganhos financeiros ao produtor tornarem-se menos

compensadores após as primeiras intervenções. Algumas alternativas mais imediatas podem ser sugeridas para o aprimoramento e eventual redução de custos, enquanto outras virão com o tempo, após etapas de desenvolvimento, adaptação e validação pela pesquisa.

Por si só, o tratamento de dados utilizando métodos geoestatísticos apropriados não é garantia de um diagnóstico agronomicamente realístico. 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.

Embora mais laboriosa do que a simples amostragem de solo e elaboração de mapas interpolados, a identificação de zonas de manejo homogêneas dentro das áreas de cultivo (Molin, 2002; Santos et al., 2003; Araújo, 2004; Luchiari Jr. et al., 2004; Vilela et al., 2006b; Molin & Castro, 2008; Campos et al., 2009; Souza et al., 2010) possivelmente seja uma estratégia mais viável técnica e economicamente para a implementação de manejo localizado. Conceitualmente, zonas de manejo são representadas por subáreas que apresentam uma combinação homogênea de fatores potencialmente limitantes da produtividade, são de caráter permanente e podem ser manejadas como unidades individualizadas dentro do talhão (Molin & Castro, 2008). Nessa estratégia, critérios baseados em características topográficas da área, cor do solo, atributos físicos, drenagem, espessura do horizonte A, dados de sensoriamento remoto, mapas de produtividade, mapas de condutividade elétrica, histórico da área, além de critérios conjugados, podem ser utilizados para orientar a delimitação das zonas de manejo e os locais para amostragens de interesse.

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.

A Figura 5 exemplifica como a associação do histórico de área com mapas de produtividade pode auxiliar na identificação de subáreas para amostragem orientada e possível estabelecimento de zonas para manejo localizado da adubação. No caso em questão, uma área de 205 hectares com

partes anteriormente ocupadas por lavoura, pastagem ou cerrado nativo (imagem de satélite) foi integralmente convertida em talhão de produção de grãos na safra 2003/2004. Apesar das práticas de calagem e adubação fosfatada corretiva, e das adubações de manutenção realizadas desde então, em taxas fixas na área total, os mapas de produtividade de soja na safra 2005/2006 e de milho em 2006/2007 refletem claramente as variações de fertilidade induzidas pelos efeitos de longo prazo decorrentes dos diferentes usos da área no passado. A utilização de calcário e fertilizantes (pastagem e lavoura), ou não (cerrado), em partes da área, criou “impressões digitais” na fertilidade do solo que não puderam ser “apagadas” pelo uso e manejo mais recentes, indicando a conveniência de se amostrar o solo e dimensionar a adubação do talhão por zonas.

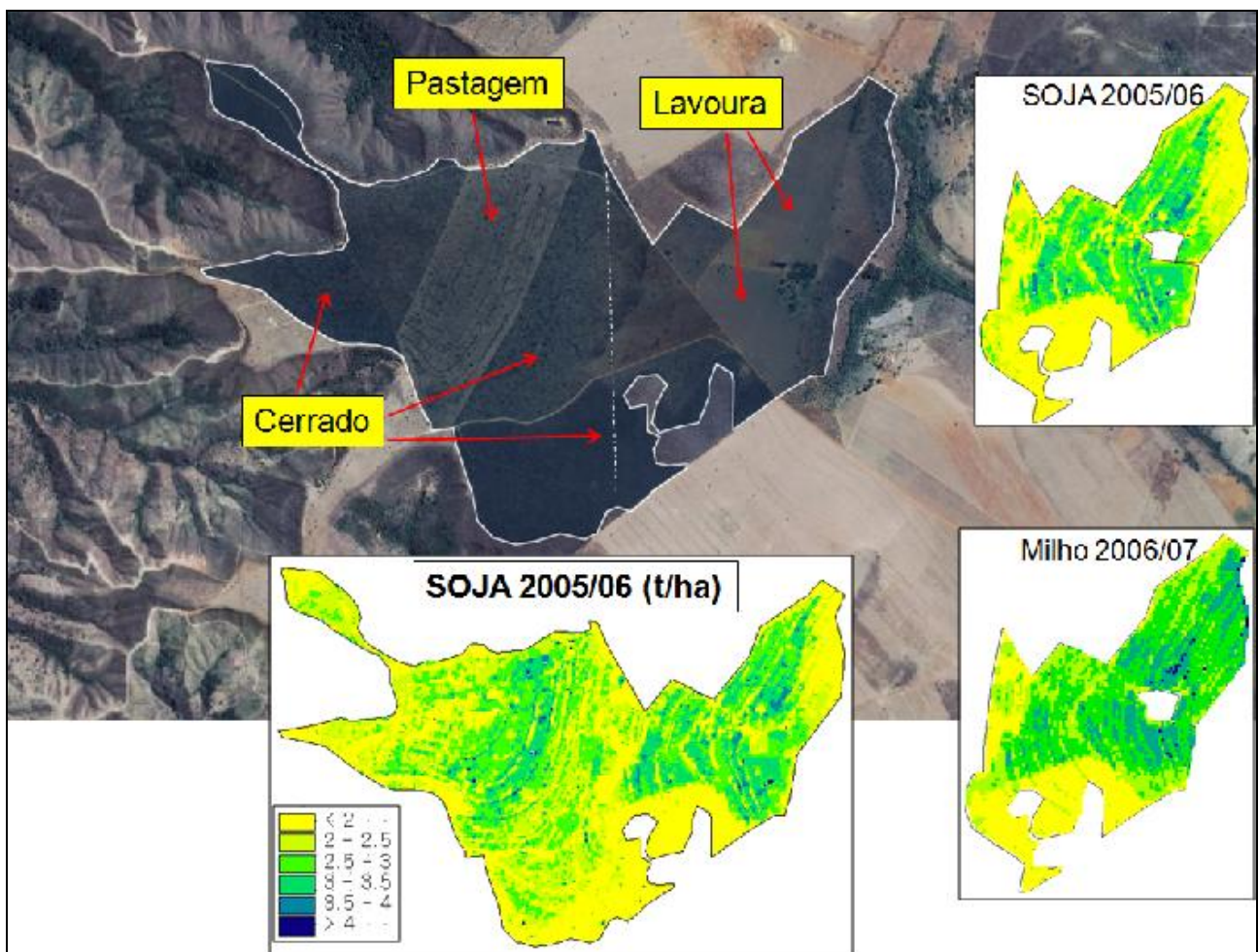


Figura 5. Influência do histórico de uso na produtividade das culturas, demonstrando que os efeitos do manejo criam uma “impressão digital” da fertilidade do solo que não desaparece em curto prazo. No canto direito, detalhe mostrando que o milho colhido em 2006/2007 manteve o mesmo padrão de variação de produtividade da soja na safra anterior. (Fonte: Edegar Corazza/Embrapa, não publicado).

É importante lembrar que os métodos tradicionais de avaliação da disponibilidade de nutrientes pela análise de solo e prescrição da adubação pela interpretação da análise pressupõem a amostragem em separado de subáreas homogêneas de um talhão. Critérios subjetivos e até empíricos são usados para essa subdivisão. O conhecimento do histórico de uso e de eventuais variações no manejo do solo e de insumos em diferentes partes do talhão é um aspecto imprescindível nesse processo (Figura 5). Na AP, pode-se associar esses critérios à rotina de procedimentos para mapeamento da fertilidade química do solo. O maior esforço nesse sentido deve ser direcionado para a identificação de zonas homogêneas dentro de um talhão e para isso é fundamental a interação com o produtor ou pessoas que estão diretamente ligadas ao dia a dia da condução da lavoura. Mesmo a partir de observações empíricas, eles podem auxiliar muito na interpretação de mapas de produtividade e na tomada de decisão para o manejo localizado de corretivos e fertilizantes em diferentes partes da lavoura.

4.4. Um olhar para o futuro

Equipamentos e sensores atualmente em fase de validação pela pesquisa no exterior e alguns no Brasil se mostram promissores para apoiar na identificação de zonas para amostragem direcionada ou poderão até mesmo dispensar a coleta de amostras de solo para análises em laboratório.

Equipamentos tratorizados dotados de eletrodos para medição de condutividade elétrica do solo permitem o mapeamento rápido e com baixo custo das áreas de cultivo. A condutividade elétrica apresenta alta correlação com o teor de argila dos solos. Assim, em princípio, ao se mapear zonas de textura distinta, é possível estabelecer, indiretamente, associações 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 equipamentos desse tipo às características e propriedades dos solos tropicais (Machado et al., 2006; Molin & Castro, 2008).

Além do mapeamento da condutividade elétrica, tem-se buscado adequar para execução a campo, em tempo real, as determinações de pH e dos teores de K e N-nitrato, por meio de equipamento dotado de amostrador de solo e eletrodos seletivos, que permitiria o mapeamento desses atributos de forma rápida (Sethuramasamyraja et al., 2008). Tais inovações representarão, sem dúvida, avanços relevantes na viabilização técnica e econômica de estratégias de AP para o manejo de solos, sobretudo porque têm forte apelo comercial, constituindo atrativo para a iniciativa

privada. A título de exemplo, no sítio <http://www.veristech.com/index.aspx>, pode-se vislumbrar esse potencial que já começa a se tornar realidade e que ganhará impulso à medida que os componentes tecnológicos tiverem custos mais acessíveis.

Dada a relevância em termos econômicos e ambientais, as inovações voltadas para racionalização do uso de nitrogênio (N) mediante aplicação da AP constituem um tópico à parte. Vão desde o emprego de imagens de satélite e fotografias aéreas obtidas ou processadas de forma a contrastar e diagnosticar zonas com diferente suprimento de N na lavoura para posterior dimensionamento da adubação nitrogenada, até o uso de sensores e controladores embarcados que possibilitam diagnosticar o estado nutricional da cultura e variar a aplicação do fertilizante nitrogenado numa mesma operação mecanizada. No Brasil, ações de pesquisa já vêm sendo conduzidas no sentido de calibrar algumas dessas ferramentas e estabelecer recomendações de manejo sítio-específico de N para as culturas (Coelho & Inamasu, 2008; Povh et al., 2008; Grohs et al., 2009; Motomiya et al., 2009; Fiorin et al., 2010).

5. Perspectivas em busca da sustentabilidade

A agricultura de precisão precisa ser encarada como uma forma de o agricultor conhecer mais a fundo os diferentes talhões, como vêm sendo manejados e como respondem ao manejo. Essas informações são valiosas do ponto de vista gerencial, no dia a dia da propriedade, além de comporem o histórico de uso das áreas. Isso, por si só, já constitui um grande benefício da AP, porém difícil de ser mensurado em termos econômicos.

O preço relativamente baixo da terra em algumas regiões do Brasil (ex: áreas de cerrado) e a aplicação de tecnologias de precisão em culturas de baixo valor comercial unitário, como os grãos em geral, são fatores que poderão retardar a expansão e a consolidação da AP no país. Por outro lado, culturas de maior valor agregado, como citrus e cana-de-açúcar, em regiões de terras mais valorizadas (ex: estados de São Paulo e Paraná), têm forte potencial para inserção da AP com lucratividade (Griffin & Lowenberg-DeBoer, 2005). Também em consequência de uma relação benefício/custo mais compensadora, pode-se esperar avanços no desenvolvimento de tecnologias de AP especialmente voltadas para sistemas de produção de frutas para exportação, tais como uva de mesa e manga, dentre outras.

Obstáculos ainda são impostos pelo custo relativamente elevado do ferramental empregado na AP, 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 et al., 2010).

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; Vieira Júnior et al., 2006; Montezano et al., 2008; Durigon et al., 2009; Santi et al., 2010; 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; Sá et al., 2008; Amado et al., 2009; Rosa Filho et al., 2009) 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.

Portanto, além da correção e adubação a taxas variáveis, a prática da AP no Brasil deverá estender-se, de forma integrada, a outros aspectos relacionados ao manejo e conservação de solos (Santi et al., 2010), com destaque para a consideração das variações de relevo, do levantamento semi-detalhado a detalhado do solo nos ambientes de produção, da sua qualidade física (compactação, disponibilidade hídrica) e da qualidade químico-biológica associada à manutenção ou incremento da matéria orgânica e práticas culturais vinculadas (controle de plantas daninhas, rotação de culturas, plantas de cobertura e formação de palhada). Concomitantemente, é fundamental evoluir rumo à maior racionalização no uso de defensivos agrícolas. É preciso comprovar também a expectativa de que a agricultura de precisão venha a contribuir substancialmente na redução de riscos ao ambiente decorrentes das atividades agropecuárias.

Na Figura 6 são sumarizados os resultados obtidos no monitoramento de produtividade realizado por Santi (2007), durante seis safras envolvendo as culturas de soja, milho e trigo no Rio Grande do Sul. Ao relativizar as produtividades de cada safra com referência à média do talhão e, posteriormente, integrar os mapas das seis safras, o autor conseguiu identificar zonas que na verdade representam ambientes de potencial produtivo diferenciado e estáveis temporalmente. Essa 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. É possível, por exemplo, que a zona de alto potencial produtivo

deve ser cultivada com uma maior população de plantas de milho, gerando ganhos adicionais de produtividade. A estratégia oposta, de se usar menor população de plantas, pode ser coerente para a zona de baixo potencial produtivo. Outro exemplo de planejamento inteligente foi trabalhado no estudo de Campos et al. (2009), ao se associar 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.

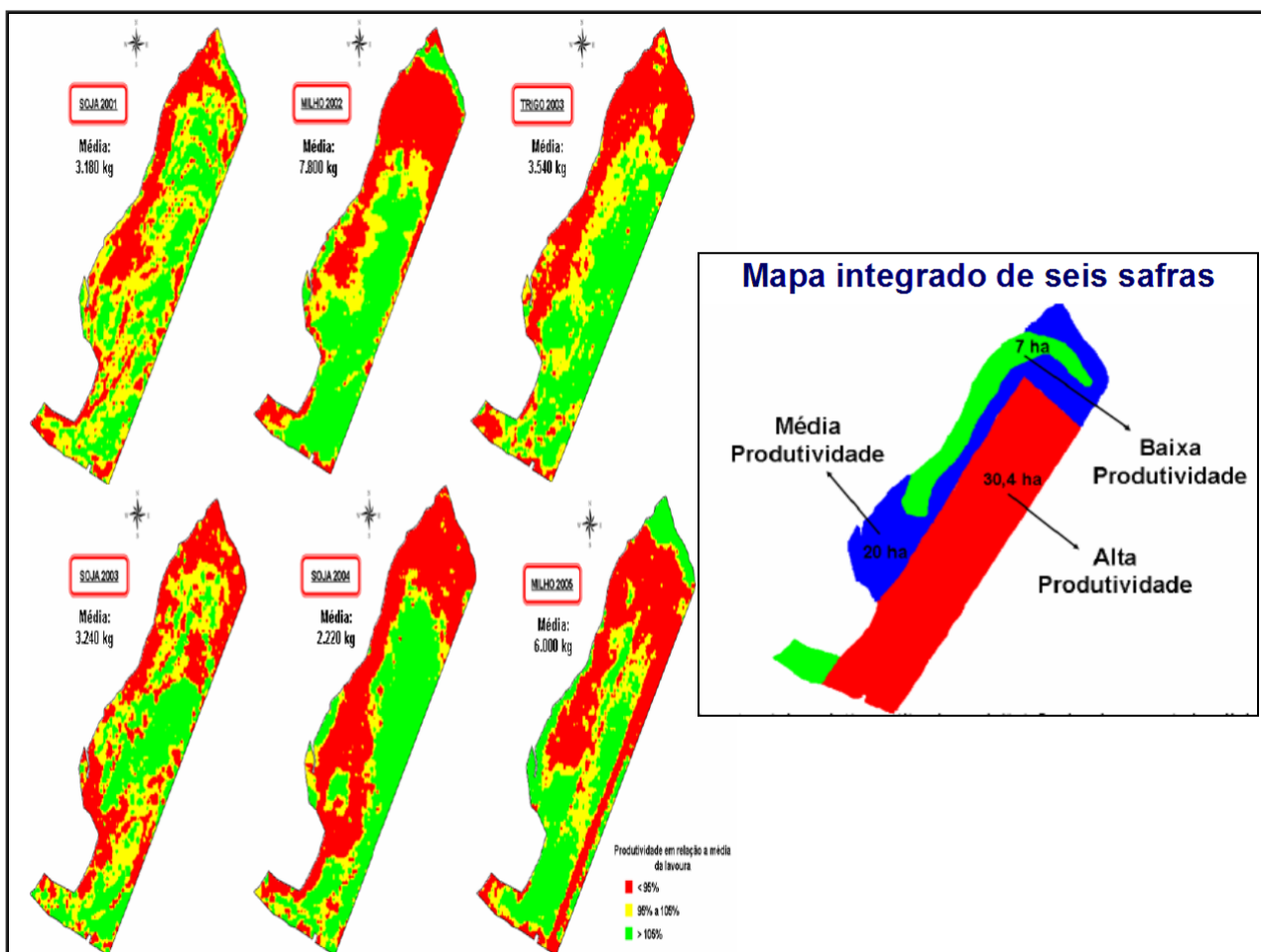


Figura 6. Integração de dados de produtividade relativizada com referência à média do talhão, ao longo de seis safras (3 de soja, 2 de milho e 1 de trigo), para delimitação de zonas diferenciadas de produtividade em lavoura na região de Palmeira das Missões – RS. (Fonte: Adaptado de Santi, 2007).

Uma vez comprovada a efetividade de estratégias desse tipo, avança-se de forma vantajosa em direção aos objetivos de assegurar a sustentabilidade da agricultura, a qualidade ambiental e a

segurança alimentar para a sociedade, as quais, em última instância, derivam de uma exploração agrícola otimizada, condizente com o potencial produtivo de cada ambiente de produção.

Para todos os agentes envolvidos, é necessário estar bem sedimentada a idéia de que agricultura de precisão envolve visão e manejo de longo prazo. Deve ser adotada por bons produtores, pois não é um substituto destes. Precisa basear-se em informações integradas e de qualidade, interpretadas em base agrônômica (Coelho, 2008). Equipamentos por si só não constituem soluções tecnológicas. A utilização continuada da AP permite acumular informações sobre a evolução dos talhões numa perspectiva espacial e temporal, subsídios essenciais na busca de aprimoramento constante do gerenciamento da moderna propriedade agrícola.

6. Referências bibliográficas

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. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, v.33, n.4, p.831-843, 2009.

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. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.

ARAÚJO, J.C. **Determinação de zonas de manejo e estimativa da produtividade de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multiespectral**. Piracicaba: ESALQ, 2004. 101p. (Tese Doutorado).

BAESSO, M.M.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; VIEIRA, L.B.; ALVES, E.A.; SENA JÚNIOR, D.G. Determinação do “status” nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.520-528, 2007.

BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.645-653, 2008.

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**, Santa Maria, 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. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.297-304, 2009.

CAPES. **Banco de Teses**. Disponível em: <<http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/>>. Acesso em 17 de junho 2010.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão em sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (Eds.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p.1062-1080.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópico. Ci. Solo**, Viçosa, v.3, p.249-290, 2003.

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).

CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.374-387, 2006.

COUTO, E.G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do estado de Mato Grosso. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.34, n.12, p.2321-2329, 1999.

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**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2629-2633, 2009.

EMBRAPA. **Produção Científica Embrapa**. Disponível em: <<http://www.prodemb.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em 17 de junho de 2010.

FIORIN, J.E.; AMADO, T.J.C.; SHNELL, A.; ALBA, P.J.; WYZYKOWSKI, T. Projeto APcoop nas cooperativas agrícolas do Rio Grande do Sul. **Rev. Plantio Direto**, n.115, 2010. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=971>. Acesso em 27 de junho de 2010.

GRIFFIN, T.W.; LOWENBERG-DEBOER, J.. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: Implications for Brazil. **Rev. Polít. Agríc**, Brasília, v.14, n.4, p.20-37, 2005.

GROHS, D.S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.101-112, 2009.

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. Brasília – DF, 2008. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. (CD-rom).

LUCHIARI JR, 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. (Eds.). **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**, Piracicaba, n.129, p.1-13, 2010

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. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.

MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. et al. 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. (Eds.) **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.115-129.

MEDEIROS, F.A.; ALONÇO, A.S.; BALESTRA, M.R.G.; DIAS, V.O.; LANDERHAL JÚNIOR, M.L. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2375-2378, 2008.

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P.; GÓES, S.L.; KORNDORFER, G.H.; SOARES, R.A.B.; LIMA, E.A. Benefícios econômicos e agrônômicos da adoção de agricultura de precisão em usinas de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2. São Pedro – SP, 2006. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. (CD-rom).

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, 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. **Scien. Agric**, Piracicaba, v.65, p.567-573, 2008.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Brag.**, Campinas, v.67, n.4, p.969-976, 2008.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, v.30, n.5, p.839-847, 2006.

MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P. ; CHIAVEGATO, E.J. . Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, p. 137-145, 2009.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v. 67, p.1-85, 1999.

PIRES, J.L.F.; CUNHA, G.R.; PASINATO, A.; FRANCA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão: aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 18 p., 2004. (Documentos Online; 42). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>. Acesso em 17 de junho de 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. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 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, 30p. (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. São Pedro – SP, 2006. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. (CD-rom).

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 distroférico sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 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. Brasília – DF, 2008. **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**. Santa Maria: UFSM, 2007.175p. (Tese de Doutorado)

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; DELLA FLORA, L.P.; SMANIOTTO, R.F.F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Rev. Plantio Direto**, n. 109, 2009. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=907>. Acesso em 27 de junho de 2010.

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. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, 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. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.463-468, 2003.

SCIELO. **Scientific Electronic Library Online**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_home&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 17 de junho de 2010.

SENA JÚNIOR, D.G.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T.; KHOURY JÚNIOR, J.K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.187-195, 2008.

SETHURAMASAMYRAJA, B.; ADAMCHUK, V.I.; DOBERMANN, A.; MARX, D.B.; JONES, D.D.; MEYER, G.E. Agitated soil measurement method for integrated on-the-go mapping of soil pH, potassium and nitrate contents. **Comput. Elect. Agriculture**, v.60, n.2, p. 212-225, 2008.

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. **Prec. Agriculture**, p.1-15, 2010.

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. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, 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**, Santa Maria, v.40, n.4, p.840-847, 2010.

VIEIRA JUNIOR, P.A.; MOLIN, J.P.; NETO, D.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 Sci. Agron.**, Maringá, v.28, n.4, p.483-492, 2006.

VILELA, M.F.; HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V.; SHIRATSUCHI, L.S.; FONTES, J.R.A. Mapeamento de zonas contrastantes de matéria orgânica por meio de fotografias aéreas não-convencionais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS- FERTBIO. 27. Bonito – MS, 2006. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. (CD-rom).

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. São Pedro – SP, 2006. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006a. (CD-rom).