

Agricultura de Precisão: A Tecnologia da Informação em Suporte ao Conhecimento Agrônômico Clássico

Ronaldo Pereira de Oliveira

RESUMO: A Agricultura de Precisão (AP) faz uso da informação espacial e temporal para melhor quantificar a variação nos processos de produção agrícola e refinar o manejo quando necessário. A adoção dessa tecnologia baseia-se no uso intensivo da informação do campo para melhorar a eficiência na aplicação de recursos e requisita que seus benefícios no mínimo recuperem os investimentos para monitoramento e uso da informação. Objetivando um melhor entendimento e difusão dos conceitos e aplicações da AP, este artigo apresenta um sumário dos componentes do manejo específico e localizado da produção, também identificando os atuais entraves e tendências futuras como soluções em suporte à decisão mais efetiva e diretamente acessível para os agricultores. Até o presente, o aspecto de controle contábil da produção tem substanciado os benefícios tecnológicos, mas muitas expectativas ainda não se concretizaram devido à dificuldade encontrada em converter a informação quantitativa em métricas econômicas. Entretanto, o real benefício pendente é a formulação de critérios robustos e otimizados que permitam quantificar os impactos ambientais e sociais.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Variação Espaço-Temporal; Zonas de Manejo; Manejo com Taxa Variada de Insumos.

ABSTRACT: Precision Agriculture (PA) uses the spatial and temporal information to improve the quantification of variability in production processes and to refine management responses if necessary. The use of such an information-intensive system to improve the efficiency of resource-use requires that benefits at least match the costs of gathering and using the information. Aiming for a better understanding and a wider spread of the applied PA technology, this work briefly describes main concepts and components of site-specific crop management processes, also identifying current bottle-necks and new trends towards decision support solutions that are more effective and directly available to farmers. At present, the substantiation of these technological benefits remains a financial accounting process and many of the potential benefits described are overlooked because they are difficult to quantify on the 'money-metric'. The real requirement however is a well-constructed quantitative formulation of optimization criteria for cropping management decisions that includes environmental and social impact.

Keywords: Precision Agriculture; Spatial-Temporal Variation; Management Zones; Variable Rate Application.

INTRODUÇÃO

Em recente painel internacional sobre os padrões de consumo de fertilizantes e a produção de alimentos, uma forte discussão entre técnicos, empresários e associações de produtores tratou da possibilidade de existir, no Brasil, um “apagão de fertilizantes” que pudesse causar aumento nos preços dos alimentos. Dados da indústria e de produtores de grãos apontavam uma completa dependência de importação (90% da demanda interna) e um enorme desperdício no uso de fertilizantes (70% do consumido sem chegar até a planta). Diante de reajustes superiores a 100% na safra 2008-09 e uma baixíssima eficiência (inferior a 30%) na aplicação de fertilizantes, uma potencial solução em pauta foi a adoção da Agricultura de Precisão (AP). Tornou-se, entretanto, evidente que o pleno entendimento sobre os componentes dessa

nova tecnologia agrícola ainda não está diretamente acessível a todos os segmentos do agronegócio e muito menos ao público em geral.

Neste artigo busca-se formalizar e difundir os conceitos básicos da AP mediante uma síntese abrangente de seus componentes mais comuns e reconhecidos pela comunidade científica, que há mais de 15 anos vem trabalhando na área.

Historicamente, os sistemas de produção agrícola muito se beneficiaram com a incorporação de novas tecnologias nas ações operacionais da produção. Dessa maneira, o manejo agrônômico do campo para a produção de alimentos adaptou-se gradualmente aos avanços tecnológicos promovidos por outras áreas do conhecimento. A

revolução industrial promoveu a mecanização e a produção dos fertilizantes sintéticos. Novas evoluções tecnológicas promoveram o subsequente uso da engenharia genética e da automação no melhoramento de grãos, gerando novas variedades de plantas mais adaptadas aos fatores básicos da produção (fertilidade dos solos e variações climáticas) e resistentes a infestações.

A conseqüente conjugação dessas técnicas, sob o foco de promover em curto prazo um incremento estrondoso na produção de grãos, pode aparentemente solucionar o problema da fome mundial por poucas décadas. Entretanto, hoje é fato reconhecido que esse período caracterizado pela denominada Revolução Verde (RV) culminou em conseqüentes danos ambientais e sérios desequilíbrios sociais, que, se passíveis de mitigação, somente serão remediados em longo prazo.

Mais recentemente, a adoção de novas soluções tecnológicas busca uma maior eficiência da produção agrícola em que, além das pressões impostas pela oscilação de preços no mercado globalizado e pela crescente demanda de alimentos, as preocupações em minimizar os impactos ambientais e viabilizar uma agricultura familiar sustentável estão presentes. Nesse sentido, duas áreas aplicadas do conhecimento agrônomo encontram-se em pleno desenvolvimento: (i) técnicas de manejo diferenciado preconizadas pela AP; e (ii) organismos geneticamente modificados (OGM).

Apesar de o foco na eficiência sustentável da produção ser um ponto comum a essas promissoras linhas de pesquisa, a reconhecida Revolução Genética (RG) contempla sérios questionamentos éticos quanto a possíveis impactos adversos ao meio ambiente e ao consumo humano, em contraposição aos potenciais ganhos na produção agrícola e no suprimento energético mais balanceado em nutrientes (Garrido e Garrido, 2007). Adicionalmente, a RG não aponta, por si só, soluções em que o manejo homogêneo de monoculturas extensivas sob mecanização intensiva potencializa uma ineficiente aplicação de insumos (fertilizantes e pesticidas), podendo comprometer a rentabilidade da produção diante do constante aumento nos preços de fertilizantes e pesticidas.

Em uma abordagem mais alinhada com o conhecimento agrônomo clássico (Smith, 1938; Balastreire, 1996), a Agricultura de Precisão tem como base factual a variabilidade espaço-temporal da produção agrícola. Sem considerar a introdução de

organismos inovadores, ainda não completamente compreendida, as técnicas de AP resgatam um conhecimento agrônomo fundamental que considera a significativa variação no tamanho e na qualidade das plantas por zonas no interior de um único talhão de cultivo. Esse princípio evoluiu por séculos anteriores à Revolução Industrial, quando fazendas de menor porte e com base na produção familiar permitiam que o fazendeiro pudesse variar manualmente a aplicação de insumos planta a planta. Como resultado da RV, verificou-se um aumento exponencial no tamanho das fazendas e no uso de mecanização intensiva. Com o rápido aumento na escala de produção, tornou-se cada vez mais difícil para o agricultor poder considerar a variação interna nos grandes talhões, sem que para tal ocorresse um desenvolvimento revolucionário da tecnologia na captação, gerência e uso da informação geograficamente referenciada (Whelan *et al.*, 1997).

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

As tecnologias de AP estão embasadas em soluções inovadoras de instrumentação agrícola, gerência da informação e indicadores de produção para suporte à decisão quanto ao tipo de manejo mais apropriado e eficiente. Em uma combinação sistêmica e multidisciplinar, a AP envolve os conceitos agrônômicos e os processos de gerenciamento operacional estabelecidos (Luchiari Júnior *et al.*, 1997), bem como fomenta o aperfeiçoamento do conhecimento agrônomo. Esse sistema de produção agrícola propõe um manejo integrado das culturas por zonas de manejo diferenciado, fazendo uso de informações e tecnologias que propiciam a caracterização e a análise quantitativa da variabilidade espacial e temporal dos fatores determinantes do rendimento do cultivo e suportam decisões gerenciais e operacionais quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção.

Em termos práticos, todo o aparato tecnológico denominado AP é parte de um sistema integrado e cíclico para o manejo agrônomo da cultura por zonas específicas (SSCM – Site-Specific Crop Management). Este envolve uma etapa que contempla um conjunto de sistemas para posicionamento e mapeamento digital orientando a captação de dados oriundos de sensores e imagens de alta resolução que permitem monitorar e quantificar os principais parâmetros da produção agrícola com alta precisão espacial. Complementarmente, as diferentes camadas de informação, acervo histórico das diferentes safras, são analisadas e

interpretadas quantitativamente por intermédio de sistemas de modelagem espaço-temporal, simuladores do crescimento de plantas e correlações entre os parâmetros da produção (clima, solo, planta, relevo, irrigação, insetos, etc.). Na etapa final do ciclo, obtêm-se indicadores quantitativos da variação no rendimento final da produção e na oportuna distribuição espacial e temporal dessa variação, possibilitadores de uma intervenção localizada e eficiente no gerenciamento dos insumos em safras futuras.

Para tal fim, o SSCM faz uso intenso do GPS (Sistema de Posicionamento Global), do GIS (Sistema de Informações Geográficas), da Mecatrônica (robótica de campo e sensores para medidas ou detecção de parâmetros da produção e de métodos quantitativos). Segundo Whelan (1998), este ciclo pode ser caracterizado por quatro componentes genéricos:

- Monitoramento de atributos determinantes do rendimento da cultura;
- Caracterização e interpretação das correlações entre os fatores preponderantes no crescimento da cultura e as potenciais causas das variabilidades, analisando quantitativamente seus efeitos na produtividade final;
- Planejamento, decisão e controle do manejo integrado e eficiente para que níveis de produtividade preestabelecidos sejam obtidos;
- Aplicação localizada de taxas variadas de insumos em tempos específicos.

No presente estado da arte, esse novo sistema de manejo, caracterizado pelo uso intensivo da informação, tem seus componentes básicos em diferentes estágios de desenvolvimento e implantação. De fato, tal desequilíbrio é caracterizado por um maior avanço das etapas de monitoração e ação diferenciada, as quais se encontram em fase de maturação comercial e são fortemente embasadas em soluções da mecatrônica aplicada ao campo (robótica autônoma, sensores remotos e de proximidade, monitoramento à distância, etc.). Em contraste, os componentes relativos à interpretação e ao suporte à decisão encontram-se em fases incipientes de desenvolvimento.

Nesse cenário, os sistemas de suporte à decisão são frequentemente apontados entre os principais desafios da AP para oferecer ferramentas e métodos de análise mais acessíveis aos agricultores. A falta de soluções que possam orientar as decisões quanto ao manejo mais eficiente tem sido sugerida como potencial inibidor de uma ampla adoção das tecnologias de AP (McBratney et al., 2005).

O volumoso acervo de informações dinamicamente monitorado muitas vezes resulta em sobrecarga de dados, o que se torna difícil de gerenciar e comumente propicia paradoxos de escolha durante os processos decisórios sobre o manejo mais eficiente. Como resultado, parte desse acervo fica subutilizada e segmentada em computadores pessoais. Portanto, os sistemas dedicados ao suporte à decisão agrônômica necessitam contemplar meios de facilitar a interpretação integrada das informações geradas por plataformas com múltiplos sensores, mediante um amplo entendimento das implicações e causas da variabilidade espaço-temporal, maximizando os benefícios econômicos, ambientais e sociais obtidos na gerência do agronegócio (McCown *et al.*, 2006).

Essa constatação tem definido a requisição de novas metodologias de análise das correlações entre as diversas variações na produtividade final e seus fatores determinantes (parâmetros físico-químicos e biológicos das relações solo-água-planta). Novos desenvolvimentos consideram a integração da informação detalhada com os processos de produção em suporte ao incremento do conhecimento agrônômico que possa contribuir na formulação de estratégias de manejo eficientes e tangíveis.

IMPACTOS SOCIAIS ASSOCIADOS À AGRICULTURA DE PRECISÃO

De uma maneira genérica, a Agricultura de Precisão incorpora conceitos comuns aos preconizados para uma sustentabilidade agrícola, potencialmente fomentando impactos econômicos, ambientais e sociais positivos para o agronegócio. Mais especificamente, as aplicações da AP visam a uma estimativa dos potenciais benefícios financeiros obtidos pelos agricultores, em função da aplicação de insumos conforme as doses requeridas por diferentes localidades de um único talhão. Tal técnica presta-se também ao dimensionamento da magnitude do potencial desperdício de insumos no caso da aplicação homogênea de fertilizantes, quando desconsiderado o uso das informações sobre as variações no sistema de produção. Visando a um domínio mais abrangente na utilização da AP, a real demanda permeia a formulação e a sistematização de critérios quantitativos bem estruturados que orientem a otimização do manejo das culturas segundo as perspectivas de seus impactos ambientais e sociais.

Até o presente estágio de desenvolvimento da tecnologia, a adoção da AP vem sendo principalmente

estimulada pela avaliação do retorno econômico, essencialmente promovido pela eficiência na aplicação diferenciada de insumos. Entretanto, a tecnologia deve ser entendida como um sistema de produção agropecuária que integra a informação dentro de uma visão holística da produção. Dessa forma, a AP visa ao incremento simultâneo da eficiência no manejo da produção, do aprendizado na gestão do conhecimento agrônomo e, em longo prazo, o lucro das propriedades rurais mediante uma gradativa minimização dos impactos indesejáveis no meio ambiente e na vida selvagem.

Ensaios científicos em propriedades produtivas estimam uma rentabilidade no uso da tecnologia da ordem de trinta dólares por hectare (US\$30.00/ha), quando considerada a redução no desperdício na aplicação de fertilizantes. Outros estudos específicos indicam ganhos líquidos em dólares por acres de: US\$48.25/A no uso de Nitrogênio no cultivo de beterraba; US\$5.00/A no uso de Calcário para fins de correção da fertilidade do solo; e US\$7.00/A no uso de inseticidas para o combate de ervas daninhas. Entretanto, esse tipo de benefício econômico é difícil de ser caracterizado, uma vez que a conversão das informações monitoradas em métricas financeiras nem sempre é fácil de ser estabelecida. Como comprovação disto, uma grande variação na rentabilidade anual das fazendas pode ser observada nos relatos de agricultores comerciais de grãos que investiram em AP nos últimos dez anos. Essas variações oscilam entre US\$11 a US\$48 por hectare, nos Estados Unidos, e de US\$9 a US\$33 por hectare, em regiões da Austrália.

No Brasil, vários fatores sugerem uma adoção relativamente lenta e heterogênea (Lowenberg-DeBoer and Griffin, 2006), como na verdade vem ocorrendo no resto do mundo. Entre os fatores preponderantes da limitada adoção da tecnologia no país destacam-se: mão de obra barata, número limitado de computadores em fazendas; altas taxas de importação para equipamentos de última geração; suporte técnico insuficiente e despreparado; baixo valor de mercado dos produtos agrícolas; baixa escala de produção na maioria das fazendas; e o preço relativamente baixo das terras.

Em termos simples, os benefícios potenciais da AP são o aumento na quantidade e na qualidade dos produtos e a melhoria na gestão dos recursos naturais, mediante o uso eficiente de insumos. Apesar de propor uma solução altamente tecnificada e ainda pouco acessível à maioria dos sistemas produtivos da agricultura familiar, a AP basicamente potencializa o

aumento na produção e no valor energético dos grãos, mediante um manejo específico e localizado na aplicação de insumos. Esse manejo mais eficiente propicia um rendimento da cultura que tende a atingir os níveis máximos da capacidade produtiva dos talhões, muitas vezes incrementando a média da produtividade de grãos de duas toneladas por hectare (2,5 t/ha) para até oito (8t/ha), no caso do trigo. Segundo estimativas da UNEP (United Nations Environmental Programme), até 25% da produção mundial de alimentos pode estar ameaçada no decorrer deste século, como resultado da escassez de água, pragas mais agressivas e resistentes aos pesticidas, e avançada degradação dos solos (UNEP, 2009). Nesse sentido, uma contribuição social significativa pode ser atribuída como consequência das tecnologias de AP, se considerado o desafio de aumentar a produção de alimentos em resposta às demandas de uma crescente população e de uma redução da degradação ambiental.

A VARIABILIDADE COMO INDICADOR DA OPORTUNIDADE DE ADOÇÃO

Por definição, a oportunidade na adoção das tecnologias de AP está diretamente relacionada ao grau de variação espacial observada no campo, fator determinante na seleção dos talhões da fazenda onde não se justificariam os investimentos necessários para um manejo localizado. Isto significa que, para um talhão de variabilidade inexpressiva onde os fatores que significativamente influenciam a produção agrícola variam em longas distâncias ou, inversamente, variam de forma muito aleatória e espacialmente desordenada, o uso de equipamentos específicos para o tratamento variado e localizado ainda não se torna oportuno no atual estágio de desenvolvimento da tecnologia. Neste caso, fica aconselhada a manutenção das atuais técnicas de aplicação homogênea de insumos por toda a área do talhão.

Outro aspecto da variabilidade espacial da produção, que somente pode ser observado mediante o monitoramento intensivo do campo, é que os padrões de variação de um mesmo talhão podem se alterar e/ou se alternar no tempo. Isto é, no interior de um talhão específico, áreas caracterizadas como de alta produtividade em uma safra podem apresentar um baixo rendimento na safra subsequente, ainda que sob o mesmo cultivo. Neste caso, o grau de variação temporal torna-se também determinante na oportunidade de adoção da tecnologia, visto que uma boa oportunidade de adoção indicada por uma safra de variabilidade espacial significativa e estruturada pode

ser comprometida se ao longo do tempo esse diagnóstico não for relativamente constante.

Um breve resumo das principais variações observadas no campo, pertinentes aos fatores que mais diretamente influenciam o rendimento final da produção agrícola, pode ser caracterizado conforme sugerido por Zang et al. (2002):

- **Varição na produtividade** – indicada por sensores de quantidade e qualidade de grãos (teor de proteínas) e o acervo histórico (variação temporal) de mapas digitais que mostram a estrutura de distribuição da produtividade (variação espacial);
- **Varição no campo** – indicada pela topografia do talhão (elevação, declividade, tamanho de pendente, etc.), parâmetros climáticos (precipitação, temperatura, insolação, etc.), uso de terraceamento, proximidade de cercas, corpos d'água e drenagens;
- **Varição no solo** – indicada pela fertilidade do solo (N, P, K, Ca, Mg, C, Fe, Mn, Zn e Cu), propriedades físicas (textura, densidade, condutividade elétrica, capacidade de campo, etc.), propriedades químicas (pH, teor de matéria orgânica, salinidade e CEC), capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e profundidade;
- **Varição no cultivo** – indicada pela densidade de plantio, altura da planta, deficiência de nutrientes e de água, área foliar, teor de clorofila, biomassa, quantidade de proteína nos grãos, evapotranspiração e radiação fotossintética;
- **Varição anômala** – indicada por infestações (patológicas, de ervas daninhas, de insetos e de nematóides) e ocorrências de fenômenos naturais (inundações, veranicos, geadas, granizo e vendavais); e
- **Varição no manejo** – indicada por práticas operacionais (aração, variedades híbridas, taxa de semeadura, rotação de culturas, tipo de aplicação de insumos e sistema de irrigação).

Entre os tipos de variação aqui detalhados, o monitoramento e a interpretação da variação da produtividade são comumente considerados fator preponderante na tomada de decisão no processo de adoção da AP. Outro parâmetro, considerado economicamente vital, é a disponibilidade de nitrogênio (N) no solo. Devido ao caráter dinâmico da interação entre todas essas variáveis, diversos estudos apontam para um monitoramento mínimo por três anos, para que conclusões mais concretas possam ser geradas com base nos aspectos espacial e temporal das variações. De fato, a maioria desses fatores naturalmente incorpora os dois aspectos em suas

variações: umas podem apresentar uma intensa mudança na distribuição espacial ao longo de uma única safra, como no caso das ervas daninhas, ou ter um aspecto basicamente temporal, como no exemplo dos parâmetros climáticos.

TECNOLOGIAS DE MONITORAÇÃO E CONTROLE

Representando a porção mais desenvolvida da tecnologia, as inovações em equipamentos de monitoração e controle têm sua aplicação mais diretamente relacionada ao manejo operacional da produção por máquinas e instrumentação agrícola (plantio, colheita e aplicação de insumos). Muitas vezes introduzidos ou adaptados de tecnologias oriundas de outras áreas da engenharia, sensores (remotos ou de proximidade) e controladores comumente utilizam elementos da mecatrônica, robótica autônoma, análise de imagens, posicionamento geográfico e comunicação sem fio para fins de propiciar uma amostragem do sistema produtivo que vem sendo denominada como "on-the-go", isto é, de maneira dinâmica no tempo (tempo real) e contínua no espaço. Esses dispositivos estão sendo desenvolvidos para equipar veículos agrícolas, dando suporte à densa escala de amostragem necessária para a precisão exigida pelas novas práticas agrícolas.

Em fase madura de desenvolvimento, a nova geração de instrumentação agrícola já oferece uma estrutura comercial bastante estruturada no que se refere à leitura automática e armazenamento dos dados monitorados. Em contraste, as etapas subseqüentes no ciclo de implementação da tecnologia (SSCM), referentes à gerência da informação e do conhecimento, são reconhecidas como o atual entrave para pleno desenvolvimento e ampla disseminação da AP (McBratney *et al.*, 2005). A atual demanda por uma gerência mais efetiva da informação está diretamente ligada a uma melhor sistematização e automação dos sistemas computacionais que dão suporte aos componentes de caracterização, interpretação, planejamento e decisão. Adicionalmente, essas questões são dependentes do incremento do conhecimento agrônomo na geração de novos métodos de análise, conforme se detalha na próxima seção.

Uma síntese dos principais tipos de sensores e controladores utilizados na AP é apresentada, incluindo equipamentos comerciais e em desenvolvimento. Essa tecnologia é adicionada como acessórios da tradicional maquinaria agrícola (planta-deiras, colheitadeiras e pulverizadores):

- **Sensores da produtividade de grãos** – quantificam parâmetros do produto, tais como massa, conteúdo de açúcar, óleo e proteínas, em função da área colhida (ópticos, por fluxo de massa e pesagem);
- **Sensores de campo** – permitem a localização precisa dentro do talhão e medição de valores altimétricos (GPS, DGPS, RTK);
- **Sensores das propriedades de solo** – quantificam atributos como conteúdo de matéria orgânica, pH, capacidade de troca catiônica, textura, umidade, nutrientes e contaminações (espectrômetros de infravermelho, indução elétrica – Veris – e eletromagnética – EMI);
- **Sensores de cultivo** – quantificam o grau de desenvolvimento das plantas (ópticos, espectrais, infravermelho, laser e radares);
- **Controladores de aplicação variável** – possibilitam dosagens adequadas conforme a localidade específica no talhão (irrigação diferenciada, pulverizadores, etc.);
- **Sistemas de autodirecionamento** – conferem maior precisão e constância no traçado do maquinário, também possibilitando operações noturnas (tratores autoguiados, desvio automático de obstáculos, etc.);
- **Colheitadeiras autônomas** – possibilitam maior rapidez e mecanização sem danos na colheita (grãos em geral, cana de açúcar, café, algodão, tomate, morango, banana, uva, etc.);
- **Outros sensores e controladores óticos e mecânicos** na detecção e combate de pragas, infestações, ervas daninhas, etc.

Novas plataformas multissensores vêm se desenvolvendo rapidamente e proliferando comercialmente. Porém, problemas no pleno estabelecimento de normas, protocolos e padrões na comunicação de dados e na gerência da informação têm muitas vezes frustrado a expectativa dos agricultores que já fizeram seu primeiro investimento na AP. Outra questão no cenário agrícola é a usual dificuldade no manuseio de computadores dedicados, softwares de difícil interface, modelos numéricos complexos e diversos formatos de dados.

DEMANDAS POR GERÊNCIA DA INFORMAÇÃO

Historicamente, o gerenciamento dos sistemas de produção agrícola se confronta com o desafio de ponderar decisões estratégicas e operacionais que consideram o balanço apropriado entre o uso dos conhecimentos tácitos sobre as requisições do cultivo e o das novas tecnologias aplicadas ao campo. Em contraste ao apelo sustentável que suportam as técnicas de AP, o nível de adoção da tecnologia apresenta-se

bastante abaixo das expectativas iniciais. A inexistência de sistemas que permitam um acesso amplo e facilitado aos diferentes métodos de análise e planejamento eficientes agrava a demora na determinação de protocolos técnico-científicos convincentes. Muitos agricultores demonstram grande incerteza quanto ao risco econômico envolvido em um tipo de manejo que requer significativo aporte de investimentos na fase de implantação, mediante estimativa de cinco anos, em média, para o retorno do capital aplicado.

Informação técnica é elemento-chave em todo processo de inovação em pesquisa do setor agropecuário, o qual se defronta com os desafios da Gestão da Informação (GI) que são comuns a outras indústrias (Palmieri and Rivas, 2007). Entre esses desafios está a necessidade de incorporar o conhecimento tácito e científico no planejamento e execução dos processos de produção. O manejo orientado pela geração intensiva de dados tornou evidente que o ganho na produção de grãos pode variar abruptamente, em alguns casos em poucos metros, e que o formato e a distribuição espacial dessa variação podem mudar significativamente ao longo do tempo. Entretanto, o uso efetivo da informação monitorada tem sido uma grande questão no desenvolvimento pleno da AP. Desafio para o qual a pesquisa agrônômica precisa direcionar esforços na busca de um entendimento aperfeiçoado das causas e dos potenciais tratamentos para o manejo apropriado da variabilidade observada na produtividade final dos diferentes sistemas de plantio.

O ESTADO DA ARTE NO BRASIL E NO MUNDO

A Agricultura de Precisão tem origem em propostas de uma densa e detalhada rede de amostragem dos solos nos Estados Unidos da América (EUA). Mas uma nova geração de conceitos no desenvolvimento da tecnologia caracterizou-se na Europa e na Austrália, na perspectiva de sua aplicação prática, envolvendo, hoje, países como EUA, Inglaterra, Austrália, Alemanha, Dinamarca, França, Itália, Argentina, Brasil, China, Japão e Coréia.

No mundo, o movimento de adoção não tem sido muito intenso por razões diversas, que podem ser generalizadas nas seguintes barreiras e causas:

- **Falta de efetivos e acessíveis sistemas de suporte à decisão** – sobrecarga de dados na gerência da fazenda e grande investimento de tempo no aprendizado e manutenção de muitos equipamentos e softwares;

- **Falta de racionalização das estratégias eficientes de manejo** – inexistência de evidências científicas sobre os benefícios preconizados na AP;
- **Falta de aprimoramento nos equipamentos** – alto custo e manuseio dificultado, que interfere nas operações de campo; e
- **Falta de difusão e transferência das tecnologias da AP** – limitado número de profissionais especializados e programas educacionais que envolvam pesquisadores, extensionistas, técnicos agrícolas, consultores e agricultores.

No Brasil, o uso da AP envolve diversas parcerias entre grupos de pesquisa com diversos ramos do agronegócio, envolvendo instituições como universidades, institutos e empresas de pesquisa, empresas privadas do setor agrícola e tecnológico, cooperativas de produtores. Com mais de dez anos de atividades, as ações envolvem a tecnologia aplicada às tarefas operacionais de manejo diferenciado da produção agrícola, em que a iniciativa de produtores de forma individualizada é fator preponderante no incentivo à experimentação no campo (“on field trials”), via monitoração em tempo real.

As principais linhas de pesquisa nacional podem ser generalizadas como:

- Monitoramento remoto e de proximidade;
- Robótica agrícola móvel;
- Sensores para parâmetros de solo, planta e água;
- Sistemas inteligentes de comunicação e controle sem fio.

Dos muitos resultados relevantes até o momento, destacam-se diversos instrumentos e patentes em busca do aprimoramento de tecnologias em suporte à monitoração das culturas em tempo real. Entre eles:

- Sensores inteligentes e sensores ópticos de tempo real;
- Eletrônica e atuadores inteligentes embarcados em máquinas agrícolas;
- Redes sem fio de instrumentos inteligentes;
- Sistema de análise de imagens;
- Automação de veículos agrícolas e aplicação à taxa variada.

Entre as diversas entidades colaboradoras no desenvolvimento tecnológico da AP distingue-se a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa¹ –, com ações voltadas à ampliação das linhas de pesquisa e à capacitação de recursos humanos. A posição estratégica em AP foi recentemente

contemplada com a criação da **Rede de Agricultura de Precisão II** em âmbito nacional (Inamasu, 2009). Essa rede de pesquisa e desenvolvimento envolve mais de duzentos membros entre pesquisadores internos, empresários e produtores.²

Outras importantes iniciativas também contam com o envolvimento de instituições como ESALQ-USP, Unicamp, Fundação ABC, IAPAR, UFSM, entre outras. O resultado do trabalho e dedicação dos grupos de pesquisa em Agricultura de Precisão no Brasil atualmente se traduz no crescente número de relatos técnicos e da divulgação de iniciativas envolvendo várias culturas e diferentes sistemas de produção agrícola nas diversas regiões agroclimáticas.

TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES

A informação organizada e acessível tornou-se um produto estratégico e economicamente rentável para qualquer indústria produtiva. Evoluindo nessa direção, a indústria agrícola é agora capaz de monitorar dados detalhados sobre as variações da produção no tempo e no espaço, de maneira mais abrangente. Com esse fim, a Agricultura de Precisão já disponibiliza uma tecnologia que representa um passo inovador na evolução da instrumentação em suporte ao agronegócio. Entretanto, entender as causas das variações observadas e representar as complexas interações do manejo solo-água-planta mediante nova escala e frequência de coleta de observações representa um enorme desafio para a sistematização do conhecimento agrônomo – o qual requer, em futuro próximo, o enorme empenho da pesquisa multidisciplinar e do agronegócio participativo. Como resultado, o atual foco da AP está centrado em responder com detalhes às questões impostas pela variabilidade espaço-temporal da produção.

Outras questões da adoção da AP impactam aspectos sociais e ambientais, que também dependem de uma estrutura científica, educacional e política favorável à garantia de que somente as técnicas mais adequadas serão adotadas.

A gerência da informação e do conhecimento em uma visão de redes cooperativas, por intermédio de tecnologias WEB, de serviços semânticos e inteligentes, e novos conceitos para a modelagem e o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão vêm sendo considerados em novos patamares de desenvolvimento da tecnologia. Estão sendo fundamentados, em softwares e interações livres e inovadores, algoritmos de análise, de forma a facilitar o acesso direto e o suporte aos agricultores.

Os tipos de suporte da AP requeridos nos processos decisórios do agronegócio envolvem diretrizes de longo prazo como:

- Definir o manejo adequado que responda à variabilidade espacial e temporal observada na produção de diferentes culturas;
- Viabilizar o uso de sensores dinâmicos que orientem um planejamento das intervenções no sistema de produção no decurso do ciclo das culturas;
- Estabelecer um sistema de gerenciamento com indicadores econômicos e ambientais para o suporte ao manejo localizado; e
- Ampliar o conhecimento e a transferência de tecnologias em AP.

Notas

1. Criada em 1973, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), ao viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura, produziu mudanças em benefício dessa atividade no país. Sob sua coordenação funciona o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA, constituído por instituições públicas federais, estaduais, universidades, empresas privadas e fundações, que, de forma cooperada, executam pesquisas e geram tecnologia em diferentes áreas geográficas e campos do conhecimento científico. Vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a Embrapa é um sistema formado por Unidades Administrativas e por Unidades de Pesquisa e de Serviços, também chamadas Unidades Descentralizadas, distribuídas nas diversas regiões do Brasil. Agrobiologia, Agroenergia, Agroindústria de Alimentos, Agroindústria Tropical, Informática Agropecuária, Instrumentação Agropecuária, Meio Ambiente, Monitoramento por Satélite, Recursos Genéticos e Biotecnologia, e Solos são temas básicos que identificam parte das Unidades de Pesquisa da Empresa.
2. Agricultura de Precisão é uma das linhas de pesquisa da Embrapa Instrumentação Agropecuária – Unidade de Pesquisa de Temáticas Básicas. Orientada pelo posicionamento estratégico da Empresa – *ser um dos líderes mundiais na geração de conhecimento, tecnologia e inovação para a produção sustentável de alimentos, fibras e agroenergia* –, a atuação da Rede de Agricultura de Precisão II deverá aumentar o sinergismo entre vários grupos no país e realizar ações transversais em culturas como milho, soja, algodão, sorgo, trigo, arroz, eucalipto, laranja, pêssego, viticultura, pastagem e cana-de-açúcar, em quinze áreas experimentais envolvendo estados do Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Os investimentos focam ferramentas de uso em comum como o Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) para fotografias aéreas, equipamentos para medida de condutividade elétrica do solo para cada região, montagem de uma unidade onde serão instaladas ferramentas de Tecnologia de Informação (TI) empregadas na Agricultura de Precisão para auxílio na análise, entre outras tecnologias.

Referências bibliográficas

- BALASTREIRE, L.A. Aplicação localizada de insumos: o renascimento de uma antiga técnica. *NotasIQ*, v.5, n.1, 1996.
- GARRIDO, R. G. e GARRIDO, F. S. R. G. Uma abordagem ética sobre as tecnologias agrícolas. *Tecnologia e Cultura*, n.10, 2007, p.30-39.
- INAMASU, R. Y. Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro. *Embrapa Instrumentação Agropecuária*, 2009. In: http://www.cnpdia.embrapa.br/noticia_18092009.html.
- LOWENBERG-DEBOER, J. and GRIFFIN, T.W. *Potential For Precision Agriculture Adoption In Brazil*. Site Specific Management Center Newsletter, Purdue University, 2006.
- LUCHIARI JÚNIOR, A.; LIMA, M. A.; FERREIRA, C. J. A.; NEVES, M. C.; CAMPANHOLA, C.; LUIZ, A. B. Monitoramento e avaliação de impacto ambiental na agricultura. In: VIGLIZZO, E.; PUIGNAU, J. P. (Org.). *Monitoreo ambiental y uso sustentable de las tierras del cono sur (Dialogo, 46)*. Montevideo: IICA, 1997, p.13-21.
- McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 2005, p.1-17.
- McCOWN, R. L.; BRENNAN, L. E.; PARTON, K. A. Learning from the historical failure of farm management models to aid management practice. Part1. The rise and demise of theoretical models of farm economics. *Australian Journal of Agricultural research*, 57, 2006, p.143-156.

PALMIERI, V. and RIVAS, L. *Information management for agricultural technology innovation*. 2007. In: <http://infoagro.net/shared/docs/a2/IM%20english%20Comuniica.pdf>.

SMITH, H. F. *An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops*. J Agric Sci 28, 1938, p.1-23.

UNEP. *The Environmental Food Crisis: The Environment's Role in Averting Future Food Crises*. 2009.

WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A. B.; BOYDELL, B. C. *The Impact of Precision Agriculture*. Proceedings of the ABARE Outlook Conference, The Future of Cropping in NW NSW, Moree, UK, July 1997, p.5.

WHELAN, B. M. *Reconciling continuous soil information and crop yield*. PhD Thesis. The University of Sydney, 1998, 327p.

Dados do autor

Ronaldo P. de Oliveira (ronaldo@cnps.embrapa.br) é pesquisador da Embrapa Solos. Bacharel em Engenharia Eletrônica (Universidade Gama Filho, Brasil), MA em Ciência da Computação (Montgomery College, EUA), MSc em Geoinformação em Aplicações Rurais (Wageningen Agricultural University, Holanda) e PhD em Agricultura de Precisão (University of Sydney, Austrália), há mais de 20 anos dedica-se à gerência e aplicação da geoinformação no mapeamento digital de solos e na modelagem espacial.