

# Agricultura de precisão no Brasil: estado atual, avanços e principais aplicações

**José P. Molin**

Prof. Associado, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brasil. [jmolin@usp.br](mailto:jmolin@usp.br)

## Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) surge a partir do fato de que as lavouras não são homogêneas. Assim, a gestão das lavouras com base na média já não é a melhor opção, mas sim um tratamento específico para as subáreas de um talhão. Esse tratamento diferenciado passou a ser operacionalmente viável a partir do emprego na agricultura dos sistemas de navegação global por satélite (GNSS) no final dos anos 1980, quando se tornou fácil localizar um determinado ponto da lavoura e aplicar um tratamento específico para esse local. O termo agricultura de precisão foi traduzido do inglês “*Precision agriculture*” ou “*Precision farming*” e se refere ao conjunto de práticas que visam aprimorar a gestão das áreas de cultivo considerando a variabilidade espacial e temporal das lavouras.

Existem relatos de trabalhos mostrando a utilidade de se gerenciar as lavouras de forma detalhada e localizada, inclusive com a aplicação de calcário em taxas variáveis desde o início do século XX. Porém, a adoção real de práticas dessa natureza remonta aos anos 1980, quando na Europa foram gerados os primeiros mapas de produtividade e nos EUA foram feitas as primeiras adubações com doses variadas de forma automatizada.

Mas existem outros fatores que também ajudaram no surgimento dessa linha de pensamento. Por exemplo, dentro das universidades surgiu um grupo de pesquisadores, predominantemente da área de solos, que passou a chamar a atenção para a grande variabilidade espacial presente nas lavouras, advinda da própria formação dos solos ou das interferências causadas pelo homem. Esse movimento, do final dos anos 1980, deu origem ao que hoje é o Congresso Internacional de Agricultura de Precisão (ICPA), que acontece a cada dois anos. Esse, por sua vez, deu origem à Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA). Estes são fatos de grande relevância por agregarem considerável número de cientistas e técnicos em torno do tema.

No Brasil, as atividades ainda muito esparsas ocorreram a partir de meados da década de 1990, primeiramente com a importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitores de produtividade de grãos. Porém, não havia máquinas disponíveis para a aplicação de fertilizantes em taxas variáveis, o que passou a ser praticado no final dos anos 1990, também com equipamentos importados. No início dos anos 2000 surgiram as primeiras máquinas brasileiras aplicadoras para taxas variáveis de granulados e pós, equipadas com controladores importados, e em seguida, com os primeiros controladores para taxas variáveis nacionais. A comunidade acadêmica passou a se organizar em torno de eventos que aconteceram a partir de 1996.

Em 2000, o governo norte-americano eliminou a degradação do sinal do GPS, que intencionalmente causava um erro exagerado nos posicionamentos e que exigiam investimento e resultavam em custo operacional considerável para se trabalhar no campo com GNSS, sendo obrigatório o uso de correção diferencial. A partir de então os receptores de navegação, de baixo custo, se popularizaram.

A conjugação desses fatores fez com que o mercado de AP passasse efetivamente a existir, com o surgimento das primeiras empresas de consultoria e de serviços. Nessa mesma época as barras de luzes, que já equipavam todos os aviões agrícolas, passaram a ser utilizadas em pulverizadores autopropelidos e outros veículos terrestres. Na sequência surgiram os sistemas de direção automática. Foi assim que se estabeleceu no mercado e na mente dos usuários o conceito que associa AP a duas grandes frentes: aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis com base em amostragem georreferenciada de solo e o uso de sistemas de direção automática e congêneres.

## **Os desafios**

A prática de AP predominante no Brasil é a gestão da adubação química das lavouras com base em amostragem georreferenciada de solo e aplicação de corretivos e fertilizantes de forma localizada e em doses variáveis. A aplicação de calcário, gesso, P e K em taxas variáveis com base na amostragem de solo em grade tem tido grande apelo comercial porque, num primeiro momento, oferece chances de economia desses insumos. Com a realocação ou redistribuição otimizada são diminuídos os desequilíbrios e pode-se esperar impacto positivo na produtividade das culturas, pois a técnica permite a espacialização do conceito proposto por Liebig em meados do século XIX, conhecido como a “Lei dos Mínimos”.

No entanto, as práticas de AP podem ser conduzidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos. Quanto mais dados disponíveis ou coletados, mais consistente é a informação gerada e o consequente diagnóstico referente à variabilidade existente nas lavouras. Dessa forma, dados de produtividade das culturas, expressos por mapas, são fundamentais. A interpretação da variabilidade presente nas lavouras, evidenciada nos mapas de produtividade, implica numa relação entre causas e efeito. A explicação para os fatos é a tarefa mais complexa, pois as causas devem ser identificadas, indicando assim os fatores que podem causar as baixas produtividades, o que possibilita as intervenções.

Em muitos casos, as baixas produtividades observadas em determinadas regiões de um talhão podem estar associadas a aspectos que estão totalmente fora do poder humano de intervenção, a exemplo da variabilidade da textura do solo. Em situações como essa, a solução é tratar as regiões de baixa produtividade de acordo com o seu baixo potencial, com menor aporte de insumos, visando obter lucro, mesmo que com baixa produtividade. Já, as regiões de maior potencial de resposta das lavouras devem receber um aporte maior de insumos visando explorar o limite econômico desse potencial. Trata-se de um exemplo simples de aumento intencional da variabilidade da lavoura, contrapondo-se à ideia que AP sempre visa à uniformização.

Além disso, deve ser dada importância às demais práticas, como tratamento localizado de plantas invasoras, pragas e doenças, num contexto moderno que contempla a aplicação minimizada de insumos visando à economia e o menor impacto ambiental possível.

Sempre haverá questionamentos, especialmente em relação às técnicas e tecnologia. Tomando-se como exemplo a amostragem georreferenciada de solo visando à aplicação de insumos em taxas variáveis, sabe-se que há uma série de simplificações nos processos, a iniciar pela densidade de amostras em uma dada lavoura e a incerteza quanto às suas coordenadas que pode ser da ordem de alguns metros. Há também a incerteza quanto ao número de subamostras e com os valores obtidos no laboratório. Também existem fontes de incertezas no processamento dos dados para a geração de mapas por meio de interpolações para se chegar às recomendações de insumos, sejam eles corretivos de solo, fertilizantes, agroquímicos, etc. Por fim, ha

também a questão das máquinas aplicadoras e dos controladores de taxas variáveis, que trabalham dentro de certos níveis de confiabilidade e acerto.

O segmento da automação e da eletrônica embarcada nas máquinas também faz parte desse contexto. Assim, há quem denomine essa área de máquinas precisas, máquinas inteligentes, etc. O fato é que elas passam a ser cada vez mais precisas e inteligentes e com a adição de inovações os usuários passam a dispor de máquinas e de sistemas melhores.

### **As práticas mais usuais**

As culturas que mais incorporaram técnicas de AP são os grãos no sistema soja e milho no Centro-Oeste do país, incluindo-se em algumas áreas desse sistema também a cultura do algodão. No Sul do país destaca-se o uso de AP no sistema soja, milho e trigo e inicia-se a adoção na cultura do arroz. No Sudeste a cana-de-açúcar tem maior destaque na adoção de práticas de AP.

Nessa região, culturas que também merecem destaque são o café e os citros, ambas perenes. O Brasil é o maior produtor mundial de ambas e as práticas de AP começam a ser estudadas e adaptadas a elas. Especialmente na cultura da laranja, Colaço e Molin (2014) apresentam resultados de experimentação durante cinco safras com bons resultados alcançados com AP referentes ao consumo de insumos com significativa redução de adubos nitrogenados e potássicos, porém, de maneira geral, sem ganhos significativos em produtividade (Figura 1). Da mesma forma, estudos com café, também de longa duração indicaram maior resposta no aumento de produtividade do que no consumo de insumos (Molin et al., 2009).

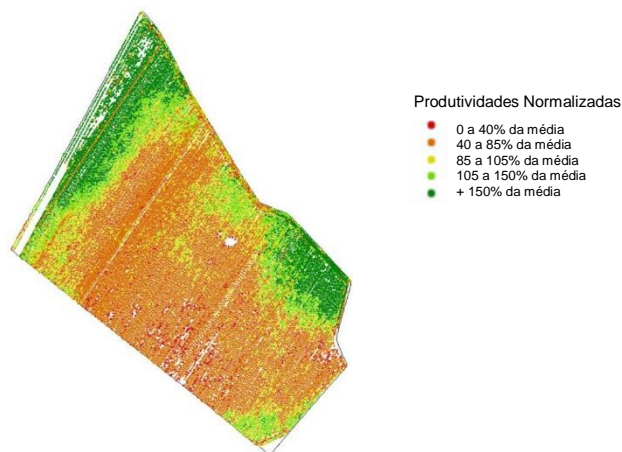


**Figura 1. Aplicação de insumos sólidos em taxas variáveis em plantações de laranja**

Em culturas anuais as práticas locais não diferem em muito daquelas conhecidas ao redor do mundo, porém com destaque para a gestão de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis com base na coleta de amostras de solo georreferenciadas. A geração e uso de mapas de colheita esbarra em limitações como a falta de conhecimento da importância dessa informação e a falta de capacitação mínima dos operadores e mesmo dos gestores dos sistemas de produção com relação aos conceitos em torno da AP.

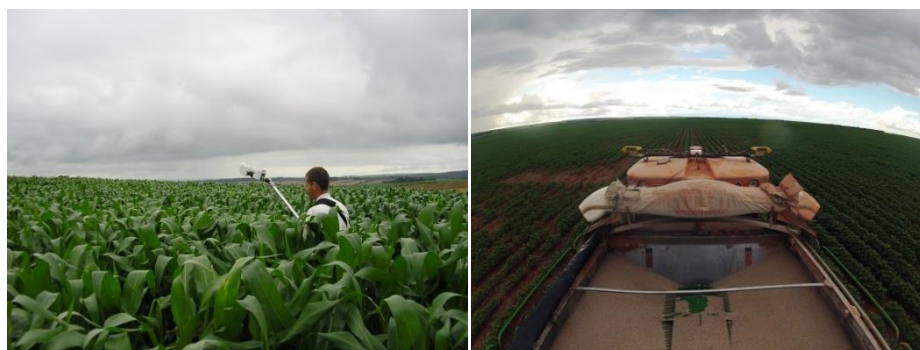
Especialmente para a cultura do milho têm surgido oportunidades de avanços com base em conceitos mais desafiadores da AP. É o caso da população de plantas ótima em que a produtividade das culturas é maximizada. Ela é variável no espaço, porém também é dependente do tempo, visto que as condições climáticas de cada ano fazem

variar a disponibilidade de água, especialmente na segunda safra, muito comum em algumas regiões do país (Figura 2). De qualquer forma, a variabilidade espacial e temporal das lavouras sugere que não existe uma população padrão com a qual a produtividade é otimizada na lavoura como um todo. Estudos recentes (Horbe et al., 2013; Anselmi et al., 2014) indicam que esse potencial necessita ser bem estudado para que se possa definir recomendações acertadas para cada região e híbridos disponíveis. Dentre os desafios está a demarcação de unidades de gestão diferenciada (“zonas de manejo”) com base em indicadores estáveis para receber diferentes populações de plantas, o que ainda não é uma prática comum.



**Figura 2. Mapa de produtividade de milho de segunda safra mostrando as grandes diferenças normalmente causadas por distribuição desuniforme de água disponível no solo.**

Uma prática que recentemente tem recebido atenção é o uso sensores de dossel (ópticos ativos) terrestres, que são fontes emissoras de luz que medem a reflectância do dossel da cultura em determinados comprimentos de ondas. Eles têm sido estudados para aplicação de nitrogênio a taxas variáveis em trigo, milho, algodão e feijão (Figura 3) e agricultores do Paraná já os utilizam na cultura do trigo.



**Figura 3. Sensores de dossel sendo testados em milho (esquerda) e em algodão (direita)**

A cultura da cana-de-açúcar merece destaque pela sua importância e extensão territorial. No Brasil cultiva-se próximo a 9,5 milhões de hectares do total mundial, que está em torno de 26,5 milhões hectares.

Pode-se afirmar que é a única cultura que já incorporou o fato da variabilidade dos solos e adota o conceito de ambientes de produção com base em variações de mesoescala nas características predominantemente físicas do solo. No entanto a

abordagem da AP vai além dessa variabilidade e exige outras ferramentas de investigação e de gestão.

A indústria da cana está buscando cada vez mais tecnologias que melhorem a gestão do processo de produção, o rendimento e a qualidade do produto a custos mais baixos e menor impacto ambiental, como mostra pesquisa realizada no estado de São Paulo, onde 67% da cana brasileira é produzida (Silva et al., 2011). Dentre vários indicadores de adoção de AP, o estudo apontou que na época da avaliação 96% das usinas pretendia estender o uso de práticas de AP.

Essas práticas são utilizadas em todas as fases de cultivo de cana de açúcar (Bramley, 2009), mas no Brasil, predominam as técnicas de amostragem de solo georreferenciada com a gestão localizada via aplicações em taxas variáveis e o uso de sistemas de direção automática, especialmente em tratores e colhedoras. A amostragem de solo tem utilizado grades com densidades de uma amostra a cada 2 a 5 ha, com amostras de solo compostas de 8 a 15 sub-amostras num raio de cerca de 3 a 5 m. Os dados são interpolados para produzir mapas que indicam os níveis específicos de corretivos e fertilizantes que devem ser aplicados em cada local. Essa prática é realizada somente quando da renovação dos canaviais, em conjunto com o preparo do solo, quando a correção da fertilidade é realizada.

O uso de sistemas de direção automática melhora significativamente o alinhamento e paralelismo das linhas de plantio (Figura 4). Este dispositivo também facilita o trabalho dos operadores de máquinas para outras operações, tais como a aplicação de fertilizantes, corretivos e outros insumos aplicados via pulverização. Além disso, o sistema de direção automática permite que a colhedora siga exatamente as linhas mapeadas quando da operação de plantio, onde está a cana que deve ser cortada. Isso facilita a operação de colheita, especialmente à noite ou em canaviais acamados. Além disso, muitas usinas também usam sistemas de informação geográfica (SIG) para planejar e alocar as linhas de plantio. Os sistemas de direção automática, geralmente integrados à direção hidráulica dos veículos, são guiados por um receptor GNSS com correção de sinal em tempo real RTK (real time kinematic).



**Figura 4. Alinhamento paralelo entre as linhas de plantio realizadas com (direita) ou sem (esquerda) sistema de direção automática (fonte: F. Torres, Jacto SA).**

Algumas usinas e agricultores que usam conceitos de tráfego controlado não permitem que veículos transitem sobre as fileiras de cana, pois é a área destinada apenas para a cultura. Os veículos têm espaçamento entre rodas ajustado de forma que estas não passam sobre, mas somente entre as fileiras da cultura, o que é facilitado pelo uso de sistema de direção automática (Figura 5). Assim o tráfego controlado limita os rodados para o local em que não há cultura, aumentando a compactação do solo nessa área, mas eliminando-a nas fileiras de cana. Em solo compactado, ocorre menor

desenvolvimento do sistema radicular em um menor volume de solo a ser explorado pelas raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes. Como consequência o tráfego controlado aumenta a produção e a vida produtiva da cultura da cana, o que representa redução de custos de produção. Esta prática é particularmente benéfica durante o período de colheita, quando o tráfego de máquinas é maior. A compactação do solo é agravada nas lavouras de cana-de-açúcar, porque a maioria das colhedoras corta apenas uma fileira de cada vez e são constantemente seguidas no campo por tratores com transbordos.



**Figura 5. Colheita mecanizada de cana crua com tratores, transbordos e colhedoras com espaçamento entre rodas ajustado.**

Produtores de cana que usam a tecnologia de direção automática nas suas máquinas têm alcançado maiores produtividades com a atenuação do declínio na produção, que ocorre ao longo do tempo. Em áreas com tráfego controlado em boas condições, o sistema de direção automática pode prolongar a vida produtiva das lavouras permitindo assim mais cortes de um mesmo plantio (Braunack e McGarry, 2006).

A obtenção e o uso de mapas de produtividade para as culturas de cana de açúcar ainda são muito limitados. Produtores raramente entendem e usam essa ferramenta de monitoramento e apoio à gestão localizada das lavouras, e aqueles que já buscam fazê-lo se queixam da limitada exatidão dos dados e da falta de robustez dos equipamentos. Existe no mercado um monitor do rendimento (Magalhães e Cerri, 2007) que mede a quantidade de material que passa através da esteira do elevador da colhedora antes de ser despejado no transbordo. Assim é determinado o peso de cana picada por meio dessa balança formada por uma plataforma apoiada em células de carga e instalada no elevador da máquina. Técnicas alternativas para a obtenção de mapas de produtividade a partir de imagens multiespectrais para a estimativa de biomassa, por exemplo, carecem de validação e ainda não são utilizadas para fins de gestão da variabilidade espacial.

A adubação com nitrogênio é particularmente importante porque não se dispõe de método eficiente para estimar o teor de nitrogênio no solo em áreas de cultivo de cana tropicais. Como regra geral, com base em vários testes de campo, a dose padrão para aplicação de nitrogênio é em torno de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Assim, há uma busca por métodos de sensoriamento remoto que estimam a variação espacial da demanda de nitrogênio. Estes podem envolver imagens orbitais, fotografias aéreas ou sensores dedicados acoplados a veículos terrestres. Há ainda uma grande demanda por pesquisa e desenvolvimento nesta área, uma vez que representa uma oportunidade para a redução de custos e danos ambientais.

O uso de sensores dossel tem sido estudado também para aplicação de nitrogênio a taxas variáveis na cultura da cana-de-açúcar (Figura 6). Embora a resposta da cana para a aplicação de N é conhecida por ser irregular e imprevisível, a utilização de sensores ópticos para controlar a aplicação de N tem produzido resultados satisfatórios (Molin et al., 2010; Portz et al., 2012). Essa tecnologia provavelmente venha a ser adotada pelos produtores, pois pode otimizar o uso de fertilizantes nitrogenados e tem a capacidade de avaliar a aplicação de nitrogênio ao longo do ciclo da cultura.



Figura 6. Aplicação de nitrogênio em cana a partir do uso de sensores ópticos ativos.

### **Ações coletivas**

Não são disponíveis dados estatísticos confiáveis quanto aos níveis de adoção de AP no Brasil. No entanto observa-se um mercado ativo e com número crescente de empresas buscando oferecer produtos e serviços e conectando-os à AP. Porém é necessário que levantamentos sejam executados e dados sejam divulgados visando ao entendimento da adoção por parte dos agricultores, das limitações e das tendências do mercado de AP.

Essa é uma das ações recentemente assumida pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), consiste em um fórum consultivo e propositivo de articulação e interlocução para a elaboração de políticas públicas para o setor e é formada por representantes de diversas entidades de abrangência nacional (Juntolli e Molin, 2014).

Um evento de repercussão nacional é o Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, que acontece a cada dois anos desde 2004 e reúne a comunidade acadêmica, indústria e usuários. Uma série de outras atividades de âmbito regional busca difundir os conceitos da AP e tem crescido a ocorrência e distribuição geográfica desses eventos pelo país. No entanto muito ainda precisa ser feito para que o conhecimento seja difundido e as práticas de AP sejam corretamente entendidas e adotadas.

### **Referências**

Anselmi, A.A., Molin, J.P., Khosla, R. Optimization of maize yield: relationship between management zones, hybrids and plant population. In: 12<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Sacramento. Anais... Sacramento: ISPA, 2014.

Bramley, R. G. V. 'Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application', *Crop & Pasture Science*, v. 60, p.197–217, 2009.

Braunack, M. V., McGarry, D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia, *Soil and Tillage Research*, v. 89, p.86–102, 2006.

Colaço, A. F.; Molin, J. P. A five year study of variable rate fertilization in citrus. In: 12<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Sacramento. Anais... Sacramento: ISPA, 2014.

Horbe, T.A.N., Amado, T.J.C., Ferreira, A.O., Alba, P.J. 2013. Optimization of Corn Plant Population According to Management Zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, v.14, p.450–465, 2013.

Juntolli, F.V., Molin, J.P. Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão para o fomento e a difusão da Agricultura de Precisão no Brasil. In: Bernardi, A.C.C., Naime, J.M., Resende, A.V., Bassoi, L.H., Inamasu, R.Y. (editores). *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 553-558.

Magalhães, P. S. G., Cerri, D. G. P. Yield monitoring of sugar cane, *Biosystems Engineering*, v. 96, p.1–6, 2007.

Molin, J. P., Faulin, G. C., Stanislavski, W. M. Yield mapping and variable rate of fertilizers for coffee in Brazil. In: *International Symposium on Application of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables, 2008, Orlando. Proceedings of the International Symposium on Application of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables*. Leuven: International Society for Horticultural Science - ISHS, 2009. v. 824. p.261 – 265.

Molin, J. P., Frasson, F. R., Amaral, L. R., Povh, F. P., Salvi, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p.1345–1349, 2010.

Portz, G.; Molin, J. P.; Jasper, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields, *Precision Agriculture*, v. 13, p. 33-44, 2012.

Silva, C. B.; de Moraes, M. A. F. D.; Molin, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil, *Precision Agriculture*, v. 12, p.67–81, 2011.