

Agricultura de Precisão

Ricardo Y. Inamasu¹, Alberto C. de Campos Bernardi²

¹Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP, ²Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos – SP

*E-mail: ricardo.inamasu@embrapa.br; alberto.bernardi@embrapa.br

Resumo: A Agricultura de Precisão ainda desperta fascínio pela tecnologia e o futuro que ela representa. Após quatro anos de atividades e pesquisas, a Rede Agricultura de Precisão da Embrapa procurou definir e divulgar o conceito de Agricultura de Precisão, o momento para adoção, o custo da adoção, o retorno econômico, indicar quais são as tecnologias essenciais e quais outras que ainda devem ser dominadas. Este capítulo inicial apresenta o contexto histórico da Agricultura de Precisão no Mundo e no Brasil, e também na Embrapa e no universo acadêmico do País. A AP para a Embrapa é uma “postura gerencial que leva em conta a variabilidade espacial da lavoura para obter retorno econômico e ambiental”, reforçando a visão de cadeia de conhecimentos, na qual máquinas, aplicativos e equipamentos são ferramentas que podem apoiar essa gestão.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, histórico, rede de pesquisa

Precision Agriculture

Abstract: Precision Agriculture still promoting fascination by the technology use and the future that it can represent. After four years of research and development activities The Precision Agriculture Network of Embrapa sought to define and promote the concept of Precision Agriculture, the moment to adopt it, the cost of adoption, the economic returns, the essential technologies and which others still must be mastered. This initial chapter provides the historical context of Precision Agriculture in the World and in Brazil, and also at Embrapa and academic universe of Brazil. The PA for Embrapa is a “management approach that takes into account the spatial variability of crop for economic and environmental return”, reinforcing the view of knowledge chain in which machinery, equipment and applications are tools that can support such management.

Keywords: precision agriculture, historical, research network

1. Introdução

A Agricultura de Precisão ainda desperta fascínio pela tecnologia e o futuro que ela representa. Aos mais conservadores, porém, tende a gerar uma posição oposta de cautela e desconforto do novo (ou demasiadamente novo). Após uma década e meia no País, ainda há os fascinados e as posições mais conservadoras. Entretanto, o avanço é inegável, houve amadurecimento, o mercado se estabeleceu e a academia trouxe os resultados que são sustentados cientificamente.

Afinal o que é a Agricultura de Precisão? Qual o retorno econômico e ambiental que a adoção pode trazer? Adotar ou não adotar? Qual o custo da adoção? Quais as tecnologias fundamentais que devem ser dominadas?

A rede de Agricultura de Precisão, nesses quatro anos de atividade, buscou responder a essas questões fundamentais que ainda, de certa forma, estavam abertas e mostrar quais ainda permanecerão sem resposta por mais algum tempo.

Em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6). Ou seja, um

sistema de gestão que leva em conta a variabilidade espacial do campo com o objetivo de obter um resultado sustentável social, econômico e ambiental.

Em 2009, ao elaborar a proposta da rede, a Agricultura de Precisão era definida e percebida por diferentes formas pela sociedade. Ao ser definida pelo CBAP, estabeleceu como o Brasil deve entender a AP. O desafio de muitas das questões práticas passam pela organização dos conhecimentos existentes. Percebe-se que há uma expectativa muito elevada por parte da sociedade, de que as máquinas e equipamentos por serem, sofisticados, realizem os trabalhos autonomamente reduzindo a necessidade de intervenção humana. Infelizmente ou felizmente os equipamentos, por mais sofisticados que sejam ainda não realizam a gestão da lavoura, porém auxiliam o agricultor a identificar a variabilidade, a analisá-la e a atuar, ajustando doses conforme planejado em um mapa construído durante a etapa de análise. Nesse sentido um agricultor com as percepções aguçadas é ainda um forte pré-requisito para o sucesso do empreendimento.

2. Contexto histórico da Agricultura de Precisão e a origem dos conceitos

Em 1929, num boletim do campo experimental de Illinois, Linsley e Bauer recomendavam ao produtor desenhar um mapa com testes de acidez em solos amostrados em grade para aplicação de calcário. Segundo a literatura, esse é o mais antigo registro de que a variabilidade era conhecida e que já se recomendava ao agricultor levá-la em conta. Stafford (2000), porém, lembra que os agricultores há séculos considera a variabilidade espacial na implantação da lavoura. De fato, considerar a variabilidade é reconhecer que o campo não é uniforme e nela há aptidões agrônômicas diferentes, mesmo em uma propriedade cuja dimensão não seja extensa. Agricultores mais atentos reconhecem essas áreas, que podem se mostrar manchadas por ter melhor capacidade de drenagem, ou por ter maior quantidade de matéria orgânica, entre outros fatores, fazendo com que opte por implantar de pomares a hortas, buscando aproveitar o melhor dos atributos agrônômicos

diferenciados, distribuídos pela propriedade. Em áreas maiores, com cultura extensiva essa forma de gerenciamento da lavoura tornou-se pouco prático. Com as máquinas cada vez maiores e com maior capacidade, diferenciar regiões ficou também impraticável e o trabalho de Linley e Bauer praticamente ficou esquecido, apesar dos autores terem advertido que apenas uma amostra pontual ou composta poderia fazer com que o produtor tenha de aplicar 60 toneladas a mais de calcário em uma área de 16,2 hectares (40 acres), pois o campo apresenta variabilidade.

Na década de 80 era disseminado o uso da eletrônica embarcada em veículos influenciando o desenvolvimento das máquinas agrícolas. No chão de fábrica das indústrias metal-mecânica, as máquinas programáveis, veículos autoguiados e robôs industriais estabeleciam um novo processo de fabricação mais flexível e eficiente. Softwares de desenhos em computadores (*Computer-Aided Designe* - CAD), assim como desenhos de mapas e visualização de imagens de satélite estavam sendo desenvolvidos para terminais gráficos considerados na época de alto desempenho. O primeiro sistema global de navegação por satélite (*Global Navigation Satellite Systems* - GNSS) desenvolvido pelos EUA e denominado de GPS (*Global Positioning System*) iniciou as primeiras operações em 1978, e considerado operacional em 1995. A disponibilização de sinal de satélites GPS, viabilizou a instalação de receptores em colhedoras, possibilitando armazenar dados de produção instantânea associada à coordenada geográfica. Em 1996, surge no mercado colhedoras com capacidade de mapeamento da produção, gerando o *boom* da Agricultura de Precisão no mundo, tornando possível a prática de mapeamento e aplicação de insumos à taxa variada por meio de máquinas.

No País, ainda na década de 80, muitas das indústrias não puderam incorporar, de forma agressiva, o uso dessa tecnologia, talvez pela dificuldade de importação de equipamentos informatizados. Na década de 90, abre-se o mercado e o setor de veículos inicia a incorporação das tecnologias da eletrônica, da informática e da robótica.

O setor acadêmico inicia atividades em Agricultura de Precisão, em 1996, com o primeiro simpósio em Agricultura de Precisão realizado na ESALQ (BALASTREIRE, 2000). Em 1999, a

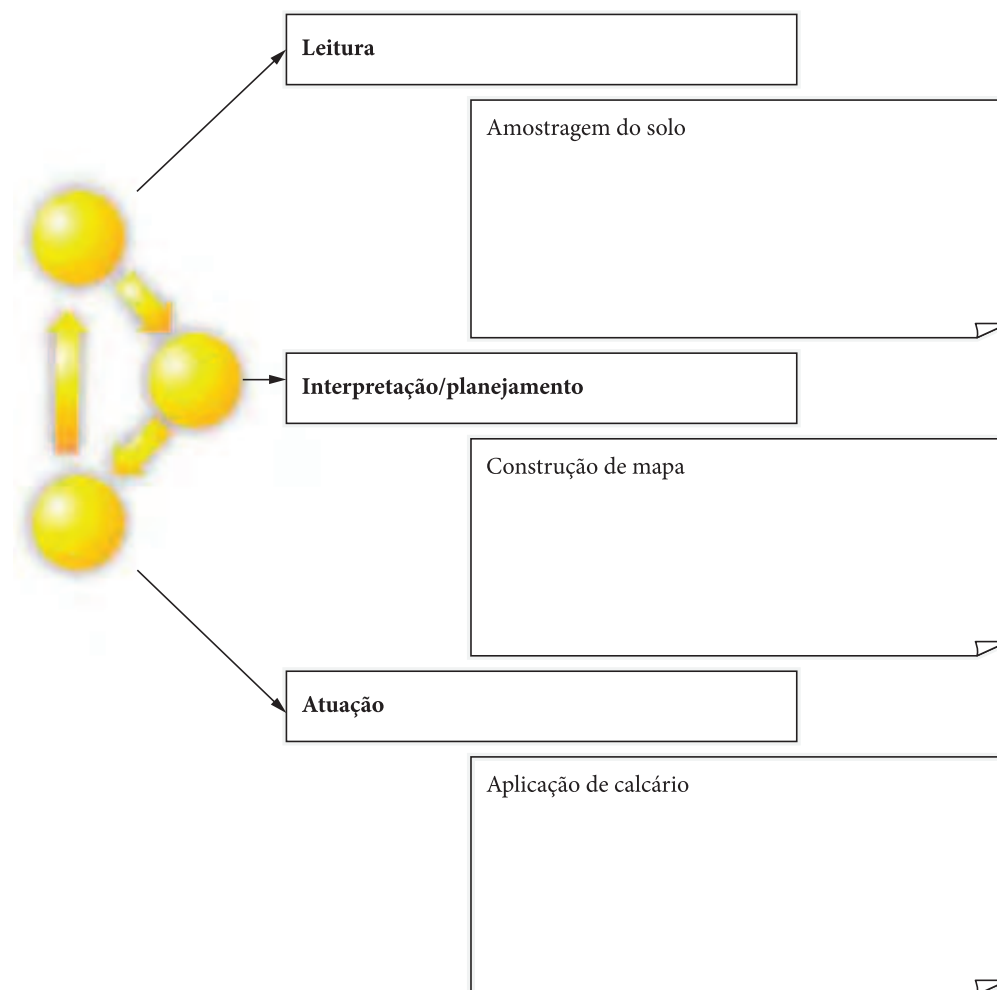


Figura 1. Ciclo da AP documentado em 1929 para correção da acidez do solo.

Embrapa aprova dois projetos em Agricultura de Precisão coordenados pela Embrapa Solos e a Embrapa Milho e Sorgo dentro do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (Prodatab), marcando o início de seus primeiros trabalhos.

Até o final da década de 90, as indústrias de máquinas agrícolas brasileiras ainda não acompanhavam a inovação realizada pela integração da eletrônica e da informática. Segundo a Anfavea ASSOCIAÇÃO..., (2006), a partir de 2000, o programa Moderfrota em 1999 e a conjunções de vários fatores favoráveis, levaram as montadoras a lançarem o que havia de mais moderno no mundo em maquinaria agrícola, o que a Associação chamou de “salto tecnológico do

obsoleto à última geração” (ASSOCIAÇÃO..., 2006, p. 160). Nesse período, os brasileiros presenciaram o início de produtos com a eletrônica embarcada em máquinas agrícolas no mercado Nacional.

É fato que foi na Agricultura de Precisão que as indústrias de máquinas encontraram a melhor oportunidade da eletrônica e informática inovar e contribuir expressivamente. Para a Agricultura de Precisão, a disponibilidade de tais máquinas no mercado foi um reforço alterando definitivamente o seu status no cenário da agricultura. No Brasil, talvez pelo sincronismo da chegada da “tecnologia de última geração” com a Agricultura de Precisão, criou-se uma forte imagem de que a AP é uma agricultura realizada com máquinas sofisticadas. Observa-se ainda que a instalação do GPS em

máquinas agrícolas antecedeu a popularização desse equipamento para uso rodoviário no País, conferindo aos fabricantes que detinham essa tecnologia a posição de vanguarda tecnológica. Como as máquinas agrícolas eram de grande porte, o sistema requerido para o processamento era de alto desempenho para o padrão daquele período. Aliado a isto, o custo elevado do receptor GPS levava a questionar a dimensão mínima da propriedade a qual o emprego dessa tecnologia traria benefícios, sugerindo que a AP seria viável a partir de uma determinada dimensão da propriedade. Ou seja, era imaginado que a AP poderia ser empregada apenas por meio de máquinas de grande porte e por produtores com acesso a recursos consideráveis para investimento.

Essa forma de entendimento havia também se instalada em uma parte significativa da Embrapa. Questionava-se ainda o potencial de retorno econômico dessa prática devido ao alto investimento inicial. Em 1999, foram elaborados na Embrapa dois projetos de pesquisa de porte expressivo em relação aos demais executados na época, uma em milho e a outra em soja, com recursos do Prodetab (Programa de Fundos Competitivos para financiamento da pesquisa agrícola do Banco Mundial) coordenado pela Embrapa Milho e Sorgo e pela Embrapa Solos. O primeiro projeto teve como parceira a AGCO e a Universidade Federal de Viçosa (Departamento de Engenharia Agrícola) e o segundo, a Fundação ABC (Castro, PR) e USP/ESALQ (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo). No mesmo ano havia-se instalado em Lincoln, Nebraska, EUA, o Labex (Laboratório Virtual da Embrapa no exterior) em Agricultura de Precisão, tendo como parceira e contraparte americana a USDA/ARS (*United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service*), instituição equivalente à Embrapa. Nesse sentido, a Empresa buscava responder e a se inserir no tema. Em 2003, esses projetos foram concluídos. Em 2004, observou-se a contenção de recursos na Empresa para apoiar a política de aumento do superávit primário e a gestão maior buscou por intensificar projetos que priorizassem a agricultura de pequeno porte, por questões sociais. Nesse período foi iniciado o primeiro projeto em rede no tema Agricultura de Precisão como continuidade das atividades, porém houve

dificuldades na execução. Pode-se dizer que foi um período de reflexão dos pesquisadores para a área. O tema dentro da Empresa ainda não atendia os pequenos produtores e não era entendida como uma forte aliada para que a agricultura alcance a sustentabilidade. Em 2008, foi anunciado o PAC (Programa de Fortalecimento e Crescimento) da Embrapa revitalizando a sua estrutura e abrindo oportunidade para elaborar a segunda rede de pesquisa no tema, de forma um pouco mais ousada. Em 2009, a Embrapa aprovou o segundo projeto em rede com base nos pareceres de 19 consultores *ad-hoc* externos. A liderança dessa rede foi dividida entre oito Unidades descentralizadas com a participação total de 21 Unidades. Foi nesse projeto que a Embrapa pôde estabelecer com clareza, inicialmente para si, os conceitos fundamentais da Agricultura de Precisão, e discernir entre o papel das máquinas e equipamentos e o papel da gestão da variabilidade espacial da lavoura. É esse aspecto que fez com que o primeiro volume do livro sobre Agricultura de Precisão fosse publicado com nome “Um novo olhar”, pois, apesar de não criar novos conceitos, este buscou uma forma diferente de ver a Agricultura de Precisão em relação à visão estabelecida no País. O presente capítulo e demais fazem parte dos resultados dessa rede e estão sintetizados nessa publicação.

3. Conceitos de Agricultura de Precisão

Se na Embrapa os conceitos não estavam claros, na sociedade não era diferente. Para a grande maioria, o argumento de realizar a operação de forma mais precisa, ou seja, com menor erro parece ser suficiente para iniciar a adoção da AP. De forma didática há dois tipos de erros. O antrópico e o natural. O erro antrópico pode ser corrigido na grande maioria das situações por meio de uso e escolha correta das máquinas. A eletrônica embarcada pode auxiliar para que as operações sejam menos dependentes da habilidade e experiência do operador, mantendo a máquina dentro dos parâmetros de operação aceitável. Entretanto, o retorno econômico nesse caso é obtido somente se a operação de forma manual apresentar um erro significativo.

Quanto maior o erro, a correção causará maior economia ou maior impacto econômico. Para erros não antrópicos ou naturais o argumento mais comum é a intensidade da diferença. Se uma propriedade apresenta diferença de produção de duas a dez toneladas por hectare e a aplicação de insumo foi uniforme, então, é fácil entender que em algum ponto está-se aplicando excesso de insumo, gerando desperdício e, em outro uma quantidade insuficiente perdendo a oportunidade de se obter uma produção maior. Quanto maior a diferença, maior a oportunidade de se obter retorno econômico ao se tratar adequadamente as características que as diferenciam. Por outro lado, se um sistema de produção apresentar diferença pouco significativa, o retorno econômico seguramente será insignificante ou até negativo.

É por esse motivo que a AP pode ser entendida como uma forma de gestão da lavoura que leva em conta a variabilidade espacial. Recomenda-se somente é se houver potencial de retorno econômico e ambiental e nesse caso é necessário que haja a variabilidade espacial. Apesar da variabilidade espacial ser intrínseca da espacial. Apesar da variabilidade espacial ser intrínseca da as situações o retorno econômico seja obtido, pois, em tese, a variação pode ser suficientemente reduzida para que a lavoura seja considerada próxima do uniforme. Oliveira, Bernardi e Rabello (2011) nessa publicação, apoiado por medidas de condutividade elétrica, apresenta índice de oportunidade para apontar o potencial de retorno econômico da AP. Além da intensidade, se a causa da variabilidade não permitir uma gestão apropriada, o retorno econômico também não será alcançado. Por exemplo, um processo que ainda não está muito bem resolvido comercialmente é o controle de plantas daninhas, pois para esse fator a tecnologia mais eficiente ainda é o manual. Ou seja, o processo de identificação e aplicação realizado manualmente. Devido ao custo da operação, apenas em casos excepcionais, esse processo é economicamente viável. As metodologias de detecção de plantas daninhas em campo ainda dependem do desenvolvimento de sensores que identificariam rápido o suficiente para controlar a aplicação de herbicida de forma localizada em tempo real. Outro exemplo a textura do solo - mesmo encontrando a variabilidade, não há meios de corrigir, mas há meio de buscar

proveito dessa variabilidade. Miele, Flores e Alba (2011), em cultura de videira, encontraram solos diferentes em quatro hectares. O vinho produzido apresentou diferenças conforme os solos. Uma colheita estratégica pode favorecer a possibilidades de compor odores, sabores e cores dentro da expectativa do vinho. O leitor poderá conferir detalhes em resultados apresentados pelo grupo.

O retorno econômico, portanto, depende de cada lavoura e dos processos de cada produtor. O primeiro passo é identificar a variabilidade espacial da lavoura. As formas mais comuns aplicadas no Brasil parecem ser por meio de amostragem em grade realizada por empresas de serviço e mapas de produtividade (ou de colheita) obtidos por meio de máquinas. Em qualquer uma das situações, há necessidade de um investimento e, na maioria dos casos os custos não são considerados baixos. Em caso de amostragem de solo, a qualidade do mapa depende do processo de retirada da amostra e da qualidade da análise, pois esse método é o convencional, mas depende também da quantidade de amostras. Para obter uma “fotografia” que mostra a variabilidade da lavoura, o seu refinamento é fundamental. A pergunta mais comum nesse caso é o número de amostragem ou a distância entre as amostras, pois esse fator determina o custo do processo. Muitos realizam uma amostra a cada cinco hectares, os mais refinados alcançam uma amostra a cada hectare, porém esse refinamento pode não ser suficiente, pois há possibilidade de que haja variações entre as leituras, as quais deveriam ser consideradas para aplicação de insumo à taxa variada. Para cada local há um número recomendável de amostras - quantidade pode ser determinada por meio de cálculo de dependência espacial dos dados, ferramenta matemática emprestada da geoestatística. As discussões acaloradas do nível de refinamento de amostragem foram realizadas por muitos e felizmente há algumas conclusões.

A amostragem em grade na quantidade realizada atualmente não é suficiente para obter um mapa com qualidade para aplicação de insumos como o de fertilizantes, muito embora, é preferível ter uma amostra a cada cinco hectares do que a cada vinte hectares e assim por diante. O refinamento poderia chegar à dimensão do domínio de absorção das raízes, porém, apesar de

alguns defensores dessa resolução, para muitos não faz sentido chegar a tal refinamento se a máquina de aplicação de insumos não consegue atuar com tal resolução. Nesse sentido, se uma máquina tem largura de aplicação de seis metros e o tempo de resposta do sistema responde apenas em seis metros, então essa distância seria considerada a menor, porém para aplicação, por exemplo, de herbicida, poderia ser menor se o processo de identificação da planta alvo e o método de aplicação tiver capacidade de atuar planta a planta. Evidentemente não é possível assegurar uma aplicação nessa resolução se a amostragem foi realizada a cada cinco hectares e esse fato fundamenta os críticos da AP, porém, há formas de atenuar a falta de dados. Mapas de produtividade, mapas de condutividade elétrica aparente do solo, imagens aéreas (sensoriamentos remotos e próximos), topografia (paisagem) com pedologia refinada podem chegar a uma continuidade de leitura ou de dados a cada três metros com custo razoável, e essas medidas indicam indiretamente como ocorre a variabilidade da lavoura. Essas indicações indiretas são medidas que auxiliam e orientam uma amostragem mais estratégica, reduzindo a necessidade de um número elevado de amostras colhidas às cegas em uma distância regular em grade.

A presente publicação apresentam estudos que reforçam essa tese nas condições brasileiras. Essa forma de auxílio ou apoio na amostragem reforça a importância de um mapa de produtividade, quando for permitido, pois se não há variação na produtividade, indica que a variação de elementos que influenciam a produção como o solo não apresenta amplitude de valores suficientemente intensa para que a sua gestão seja economicamente viável. Ou seja, não vale a pena refinar a amostragem. Mais do que orientar o número de amostragem, mais importante ainda é o local (coordenada geográfica) do ponto de amostragem e como é o formato da fronteira entre as áreas com características distintas. Nessas condições, a interpolação como krigagem encontra as condições matematicamente corretas para o seu emprego. Outra forma importante, também reforçada pelo Gebbler e equipe (vide trabalho nessa publicação), é o conhecimento do produtor. A hipótese é de que o produtor ou algum funcionário que esteja fortemente relacionado

com o histórico da terra e do local, possui conhecimento acumulado, de forma empírica, e esse conhecimento pode ser registrado em um mapa, mesmo que seja uma ilustração qualitativa da área da forma como que o produtor entende ser o seu domínio. Esse conhecimento também foi utilizado por Bassoi, para retirar amostras de solo e encontrar diferente capacidade de retenção de água na lavoura e traçar estratégia de aplicação da irrigação considerando a variabilidade do campo. O trabalho foi realizado em uma propriedade de produção de uva para mesa no setor irrigado do Vale São Francisco.

A discussão do retorno econômico em Agricultura de Precisão, portanto, depende da propriedade. Depende da intensidade da variação da produção, o que a faz variar e a estratégia a ser adotada.

Atualmente, aplicam-se insumos à taxa variada como fertilizantes e corretivos. Ainda não se vê comercialmente a aplicação de sementes e agroquímicos em geral, mas os estudos devem avançar para que a viabilidade econômica seja alcançada. Mas um dos grandes avanços que se pode destacar é a gestão da lavoura. Reconhecer a variabilidade como o primeiro passo antes mesmo de iniciar investimentos em Agricultura de Precisão.

Por último, discute-se do uso do termo “precisão”, se estaria corretamente empregado. O termo vem do inglês “*precision agriculture*” - foi criado nos EUA. Na Europa, o emprego do termo “*precision farming*” é mais amplo, talvez devido ao termo “*farming*” contextualizar ou fechar o escopo nas atividades relacionadas à produção da propriedade agrícola, ou seja, gestão da propriedade. No Brasil, houve quem utilizasse o termo em tudo que se referia à atividade realizada com maior precisão por meio de sistemas eletrônicos. Essa forma de uso realçou a necessidade de maior precisão nas tarefas agrícolas como a necessidade de máquinas e sistemas de análise mais precisos, misturando todos os conceitos de medida e atuação agrícola. Uma máquina precisa, ou seja, com sistema de distribuição uniforme e regular, com mínimo de variação dentro das especificações de ajuste, é uma máquina convencional, que realiza uma operação precisa e com erro dentro de uma faixa tolerável, porém, não é uma máquina que se

destina à Agricultura de Precisão, pois não apoia na gestão da variabilidade espacial da lavoura e nem aplica insumos à taxa variada. Portanto, definitivamente uma máquina precisa não está diretamente relacionada a uma máquina para Agricultura de Precisão. Porém, uma máquina para a Agricultura de Precisão deve ser precisa na sua atuação, assim como deve ser para o uso convencional. O mesmo pode ser empregado na análise de solo. A análise do solo pode ser precisa, mas se não obtiver um mapa que represente a variabilidade e esta represente a variação da produtividade, não pode ser considerada uma atividade destinada à Agricultura de Precisão, cuja técnica suscita questionamento quanto à localidade da amostra. Se em uma propriedade, duas amostras de locais diferentes apresentam uma recomendação diferenciada que impacta economicamente, então a aplicação de fertilizante à taxa variável pode vir a ser interessante.

De forma muito simplificada, na teoria de sistemas de medida, os erros de diferentes fontes são considerados para se compor um erro final de um instrumento. Cada fonte fornece uma determinada grandeza de medida. A fonte de maior erro tem a tendência de determinar a grandeza final. Nesse sentido, se os erros das demais composições forem maiores do que as diferenças de valores apresentadas pela variabilidade espacial, a Agricultura de Precisão também não poderá fornecer resposta significativa. O que tem sido observado, entretanto, é que a variação espacial é muito mais significativa em propriedades em que outros erros já estão minimizados por meio de práticas bem sucedidas. Portanto, a Agricultura de Precisão deve ser realizada com demais procedimentos com o intuito de obter melhor rendimento tanto econômico como ambiental. Vale discutir também a natureza dos erros. Há erros sistemáticos e de ganho que são fáceis de corrigir, como os encontrados em balanças e ajustados em processos de calibração. São os de mesma natureza para ajustes em máquinas agrícolas. Os erros aleatórios, para um equipamento em perfeitas condições, são na maioria dos casos tratados estatisticamente. Para a variabilidade espacial utiliza-se a geoestatística. É uma estatística que considera as distâncias entre as medidas, ou seja, a dependência espacial entre os dados. Portanto, a Agricultura de Precisão

pode também ser entendida como um sistema produtivo agrícola em que os erros podem ser tratados por meio de geoestatística, entretanto, essa definição com certeza seria muito mais difícil de ser assimilada do que a adotada pelo CBAP.

4. Os desafios da Agricultura de Precisão

É fato que, em 1997, o uso do GPS ofuscou todas as outras tecnologias, pois o impacto da inovação causado por essa tecnologia revolucionária vários setores, inclusive a agricultura. Naquela época, o grande desafio era dominar a tecnologia oferecida pelo receptor de GPS na automação, aplicá-la em máquinas agrícolas e viabilizá-las para apoiar a gestão operacional da lavoura, levando-se em consideração a variabilidade espacial.

Para os setores da agricultura brasileira, enquanto a eletrônica embarcada ainda se encontrava inexistente ou em estágio muito inicial, o salto tecnológico era demasiadamente alto. Apenas poucas indústrias e instituições acadêmicas conseguiram se estruturar para incorporar a base dessa tecnologia. No primeiro momento, apenas as multinacionais puderam trazer seus produtos enquanto existia ceticismo no setor agrícola, observando que, nesse momento, até mesmo essas empresas tiveram de formar novas equipes de trabalho para incorporar o processo de montagem, uso e manutenção dessas novas ferramentas. Dez anos após, a eletrônica já fazia parte do cotidiano e receptores GPS veicular, disseminado.

Pode-se considerar que a eletrônica embarcada já é realidade no mercado de máquinas agrícolas e essa parte da tecnologia não representa mais o maior desafio da AP como há vinte anos. Atualmente pode-se considerar que o mercado já disponibiliza a maioria das ferramentas para o campo e seus desafios agora são incrementais. Tanto as oportunidades de inovação como a complexidade no desenvolvimento de sistemas em máquinas agrícolas avançou para o campo da TIC (tecnologia da informação e da comunicação), entretanto, o número de empresas nacionais que realmente incorporaram a sua dinâmica ainda é reduzido. Em eletrônica embarcada observam-se esforços por parte de grandes empresas

internacionais em busca de compatibilidade e conectividade entre seus produtos. Reuniram-se em associação internacional denominada de AEF - *Agricultural Industry Electronics Foundation* (<http://www.aef-online.org/>) com cerca de 150 membros para potencializar o desenvolvimento de padrão de conectividade ISO-11783, também denominado de ISOBUS. O Brasil participa por meio da FTI - Força Tarefa ISOBUS (<http://www.isobus.org.br/>) e da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, comissão de estudo CE04:015:15 - Eletrônica Embarcada. A conectividade é chave para garantir que os equipamentos utilizados em AP se protejam da rápida obsolescência, bem como aumentar a mantenebilidade dos sistemas eletrônicos neles embarcados e reduzir seus custos.

As máquinas para a AP conhecidas no mercado são as colhedoras de grãos, com grande capacidade para mapear a produção, e as aplicadoras de insumos à taxa variada, por serem utilizadas para ilustrar o uso da AP. São dotadas de receptores GNSS e sistema de armazenamento e leitura de dados. A descrição do seu uso de forma didática tem aumentado nas literaturas internacionais. Essas publicações são dirigidas aos que atuam na agricultura e concentram-se em apresentar as ferramentas para praticar a AP. A literatura científica tem uma linguagem própria muito próxima dessa publicação e é muito rica em resultados, porém devido à sua natureza, os resultados não são diretamente aplicados pelos produtores como uma recomendação, necessitando de uma visão mais global para perceber o uso na sua propriedade. Essa publicação é uma compilação de resultados de pesquisa da rede, assim como o primeiro volume e não tem pretensão de ser um material didático, porém, apresenta uma revisão para contextualizar os assuntos focados nos capítulos.

As literaturas como de Srinivasan (2006) e de Brase (2006) são didáticas e apresentam uma visão global da AP. Adamchuk et al. (2004) apresenta revisão de sensores de solo e Hatfield et al. (2008) explora um número extenso de trabalhos em sensoriamento remoto aplicado à agricultura, cujo conhecimento fundamenta a concepção dos sensores óticos encontrados hoje no mercado. Há muitos trabalhos que buscam desenvolver e propor ferramentas para o uso da AP, inclusive a robótica, mas apenas alguns estão disponíveis

e bem sucedidos comercialmente, como as colhedoras, implementos com aplicação à taxa variada e amostrador de solo, todos com GNSS. A rede utilizou sensores óticos, medidor de condutividade elétrica, imagem aérea ainda de uso não muito disseminado entre os agricultores do Brasil, os quais estão explorados pelos capítulos desse livro. Porém, ainda há muitas lacunas tecnológicas a serem preenchidas. É comum organizar e descrever a AP como um sistema controlados e estes conceitualmente é apresentado em três etapas. O início determinado pela leitura, que consiste no levantamento e obtenção de dados. A segunda etapa é a de interpretação dos dados para planejamento das operações de campo. A terceira como a de atuação ou de execução do planejamento. Ao realizar essas três etapas, e elas reiniciam-se em ciclo. O que difere a AP dos demais ciclos de controle convencional é a localização da atuação e dos dados, ou seja, a análise e planejamento são realizados sobre mapas. Muito comum em gestão, o ciclo também é de melhoria contínua. Se um produtor detectar variabilidade espacial causada por máquinas e ele aprimorar o seu uso, o próximo ciclo pode ser o de melhorar o uso de fertilizantes e assim por diante. Identificar a variabilidade, analisar a causa é fundamental nesse processo. Nem sempre, como já mencionado anteriormente, a gestão da variabilidade traz retorno econômico, porém, traz subsídios para melhorar o entendimento da lavoura.

Os conhecimentos agronômicos mais apurados como, por exemplo, as interações com os tipos de solos e de concentração de matéria orgânica com agroquímicos tornam-se muito mais úteis, pois os dados são tratados localmente. Contudo, as recomendações de insumos, que no passado foram construídas considerando a média, devem ainda sofrer revisões. Ao acompanhar esses trabalhos, é importante que o leitor esteja atento em qual aspecto esse se refere. A Figura 2 não pretende ser completa, mas está suficientemente detalhada para que se perceba que há um número elevado de elementos que ainda não estão adequadamente tratados pela AP. Molin (2004) lista causas da variabilidade e grau de dificuldade para a sua intervenção e conclui que muitas das prováveis causas são do tipo que não permitem intervenções e sim exigem a convivência.

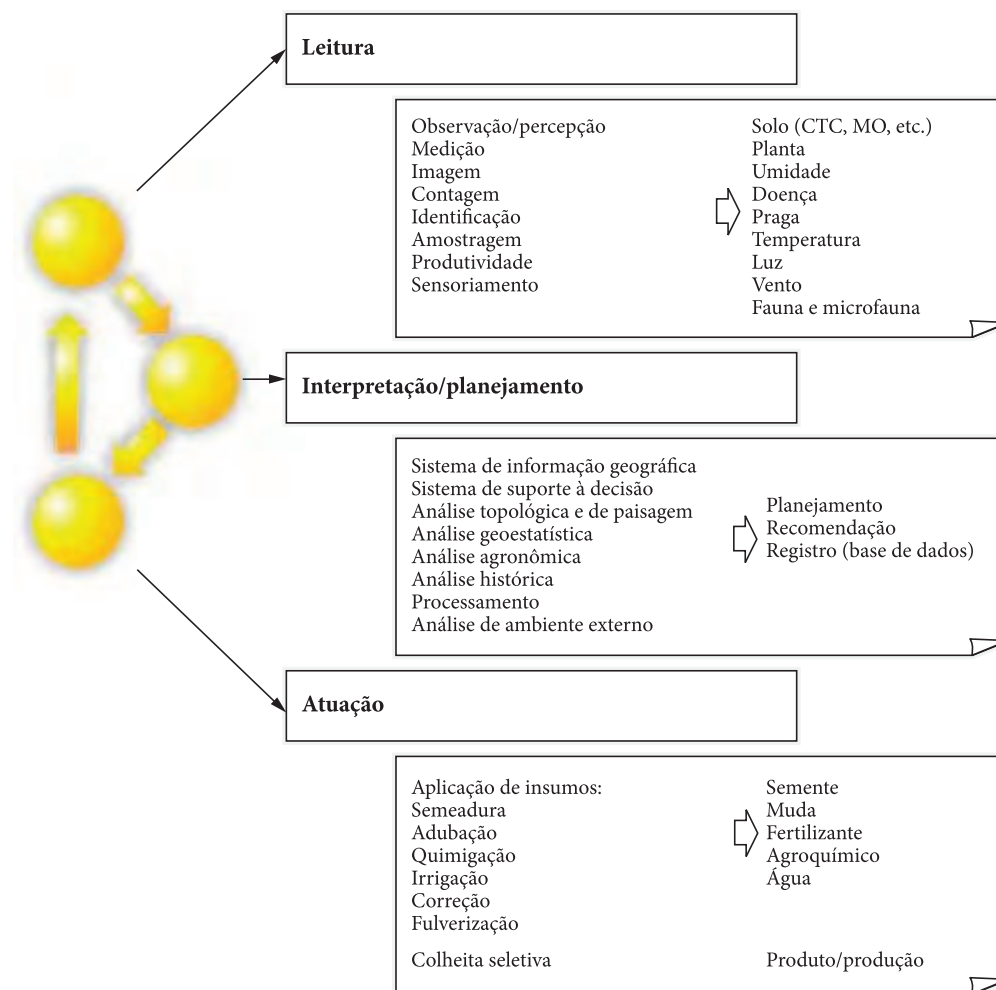


Figura 2. Ciclo da AP em três etapas.

Convivência pode ser também entendida como compreensão das características da variabilidade e aproveitar o melhor que ela pode oferecer dentro das limitações e das potencialidades.

O processo de leitura tem avançado constantemente e, como já citado, há sensores e equipamentos disponíveis no mercado. Entretanto, os agroquímicos, apesar de cuidados e critérios, ainda não se tem aplicado de acordo com a intensidade de infestação local devido aos métodos e processos de detecção localizada de populações ou densidade de pragas não estarem comercialmente estabelecidos. Irrigação à taxa variada tem avançado consideravelmente e sensores de umidade do solo sem fio são encontrados no mercado, mas ainda não é um processo largamente adotado. Sistemas de

captação e tratamento de imagens têm atraído muita atenção, métodos empíricos têm dominado o seu uso, porém, deverá ainda apresentar contribuições mais significativas.

O processo de análise e interpretação tem sido apoiado por ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e de geoestatística. Os SIG são parte importante para leitura de arquivos e as indústrias de máquinas buscam fornecer suporte e apoiar a interpretação dos dados. Além dos SIG comerciais, há livres. Não houve consenso entre os membros da rede por um SIG a ser recomendado, mas talvez o mais utilizado seja o QGIS (<http://qgisbrasil.org/>), mantido por uma comunidade de voluntários, e Vesper (<http://sydney.edu.au/agriculture/pal/software/vesper.shtml>), como ferramenta de análise por existir experiência de

uso na Embrapa. O Vesper, desenvolvido por um grupo da Universidade de Sidney, é uma ferramenta que apoia análises geoestatísticas.

Apesar de haver um formato de arquivo consagrado, ainda há dificuldades na troca de arquivos entre diferentes SIG. A ISO-11783, que trata de comunicação entre tratores e implementos de diferentes fabricantes, apresenta um formato XML (Extensible Markup Language), na tentativa de compatibilizar mapas entre diferentes fabricantes de máquinas, porém ainda não é adotado pela maioria dos softwares SIG que não foram desenvolvidos especificamente para serem utilizados na agricultura. A geoestatística, utilizada pela primeira vez em AP, em 1999, estão incorporados como funções de apoio na maioria dos SIG. Uma das principais contribuições da geoestatística é a análise que fornece a base matemática para conferir consistência dos dados coletados no campo (VIEIRA, 2000; OLIVER, 2009). A análise fornece parâmetros que assegura a dependência espacial dos dados, ou seja, se a interpolação entre os dados é válida. A interpolação mais utilizada em AP é a Krigagem. A esse sistema ainda deve se integrar um outro, a de suporte a decisão com informações de mercado. Projetos como o da União Europeia (NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010; SORENSEN et al., 2010) têm trazido importantes contribuições nesse tema.

5. Contexto histórico da academia e seus eventos

O evento internacional que ocorre a cada dois anos e que pode ser considerado o mais importante no tema Agricultura de Precisão é a Conferência Internacional em Agricultura de Precisão (*Internal Conference on Precision Agriculture – ICPA*), tanto do ponto de vista histórico como na abrangência. Reúne cerca de 500 participantes de quase 40 países. Em 2014, ocorrerá a décima segunda edição. Intercalado a esse evento ocorre a ECPA (*European Conference on Precision Agriculture*) na Europa e a ACPA (*Asian Conference on Precision Agriculture*), na Ásia. No Brasil, o ConBAP é o evento mais tradicional e expressivo. O evento brasileiro iniciou como Simpósio sobre Agricultura de Precisão, em 1996, na USP/ESALQ. Esses eventos,

por serem organizados por acadêmicos, reúnem apresentações dos últimos resultados da pesquisa (Universidades e instituições de pesquisa), além de tentar incluir a comunidade empresarial e comercial para apresentar ao mercado os produtos e serviços mais atuais, ou seja, com certo critério pode ser extraído tanto o estado da arte como o da técnica.

Atualmente, pode-se dizer que a referência dos acadêmicos em Agricultura de Precisão é a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (*International Society of Precision Agriculture – ISPA*), por ser responsável por organizar os eventos mais representativos e por ter um número significativo de membros das mais diversas instituições pelo mundo. A sociedade foi criada em 2010, durante a Conferência Internacional em Agricultura de Precisão e é constituída por personalidades acadêmicas relevantes da história recente da AP. No corpo de editores da revista “Precision Agriculture”, publicada pela Springer americana estão também presentes essa Sociedade, isto é, com cientistas renomados no tema e membros conselheiros atuantes. Apesar de haver um veículo científico específico em Agricultura de Precisão e as publicações de eventos abordarem os diversos assuntos envolvidos pelo tema, devido ao assunto ser formado por diversos elos da cadeia de conhecimento os artigos científicos estão dispersos em várias revistas científicas. Atualmente há um número significativo de trabalhos publicados com termos “Precision Agriculture” e “Precision Farming” ao buscar em bases de dados científicos. O número ao mesmo tempo em que mostra a maturidade no avanço do conhecimento, viabiliza aos acadêmicos obterem farto material para iniciar no tema e alcançar qualidade internacional.

6. Cursos e extensões no País

Na Argentina, a INTA (*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Argentina*) realiza anualmente eventos direcionados aos usuários de Agricultura de Precisão, entre produtores e prestadores de serviço. É ministrado um curso e paralelamente ocorre uma feira de máquinas. É denominado “Curso internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión”. Em 2013 ocorreu a

décima segunda edição. O evento reúne cerca de 2.500 participantes, fazendo dele evento um dos mais assistidos no tema. Em 2011 e 2013, a prefeitura do município de Não-Me-Toque, Sindicato Rural, o Sistema Farsul, a Universidade Federal de Santa Maria e a Cotrijal (Cooperativa Agropecuária e Industrial desse município), realizaram evento denominado APSul América cuja programação assemelha-se ao da Argentina, com a proposta de ser do mesmo porte.

No Brasil, a Agricultura de Precisão está presente na grade curricular como disciplina optativa, com rara exceção em muitos cursos de graduação, como de Agronomia, Engenharia Agrícola e Engenharia de Biosistemas. Têm surgido também recentemente cursos específicos, como o Curso Técnico em Agricultura de Precisão do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Campus Panambi, RS, e Cursos de graduação tecnológica - Mecanização em Agricultura de Precisão, do Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia, Fatec Pompeia, SP, sendo que em 2013, formou-se a primeira turma. Seria muito importante para o País que esse tema também estivesse presente em áreas como de Tecnologia da Informação e de Engenharias relacionadas à automação e à robótica. A criação desses cursos sinaliza a existência de demanda de profissionais por parte do mercado. Alguns agricultores, principalmente, da região central do País apontam como um fator crítico a falta de operadores treinados em máquinas mais sofisticadas, porém, não parece que é uma característica de todas as regiões do País. Esse indicativo de escassez de mão de obra levou à CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil) por meio do Senar (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural) a criar um programa piloto de treinamento no tema em algumas regiões do País. Esse programa é um reforço significativo, pois é uma instituição que possui experiência no treinamento de cerca de três milhões de produtores e trabalhadores rurais por ano, com forte penetração nas regiões agrícolas do País. É interessante observar que esse programa foi lançado pelo CNA no evento Rio +20, refletindo o entendimento da AP pela instituição como uma forte aliada para realizar uma agricultura sustentável.

No final de 2012, o Senar, com o intuito de iniciar o seu programa AP, motivar as suas regionais e difundir o conceito de gestão da variabilidade espacial, o qual fundamenta a AP, realizou palestras em diversas regiões do País. O sistema CNA-SENAR denominou a ação de “desmistificar” a AP. As cidades visitadas foram: Balsas - MA; Bom Jesus - PI; Maracaju - MS; Campo Verde - MT; Patos de Minas - MG; Rio Verde - GO; Luís Eduardo Magalhães - BA; Cascavel - PR e Não Me Toque - RS. A rede da Embrapa participou em todos os eventos e distribuiu questionário, cujo resultado está apresentado nessa publicação. O dado relevante observado é como a informação chega aos produtores. Entre os participantes, as principais fontes de informação em AP são consultores, cursos/treinamentos e feiras/exposições agropecuárias. Mostra que a forma para que as informações cheguem aos produtores deve ser um pouco mais do que as publicações científicas e exige das instituições, como a Embrapa, um esforço além dos trabalhos de geração de conhecimento e de tecnologias.

Atualmente o curso de extensão de curta duração, que pode ser considerado o melhor estabelecido no Brasil é o treinamento “Jornada de Atualização em Agricultura de Precisão”, realizado pelo Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ – USP, ministrado pelo prof. José Paulo Molin (<http://www.agriculturadeprecisao.org.br/>). Entretanto, há muitas iniciativas no País, principalmente em feiras e eventos, em formatos de palestras e debates. Nos anos de vigência desse projeto, entre 2009 a 2013, observamos um número expressivo de demandas de agentes da mídia. Apenas os registros de reportagens (<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/noticias>) que a rede, de uma forma ou de outra atendeu nesse período foram mais de 400, como exposto por Bernardi e sua equipe e explica os dados coletados durante o evento do Senar, o que torna esse veículo de comunicação muito importante para disseminar o tema.

7. As contribuições

No Brasil, não se sabe com clareza o quanto a Agricultura de Precisão está disseminada na agricultura brasileira. Nesses últimos anos

houve um esforço em divulgar a AP. O que se tem percebido é que a forma de entendimento tem sido distinta. Enquanto a grande maioria entende que a AP é uma agricultura realizada por sistemas automatizados, a gestão das variabilidades espaciais dos atributos da lavoura não tem sido atendida adequadamente. É como se a atenção estivesse sobre um despertador e não se atentasse sobre as horas a serem programadas. Ou seja, é como se o objetivo fim que é aumentar o retorno econômico e ambiental, por meio da gestão da variabilidade estivesse no segundo plano, enquanto que as ferramentas estão no primeiro plano. Na realidade, a AP é uma cadeia de conhecimentos. Sem um elo, toda a cadeia pode ser comprometida.

Uma das iniciativas muito comum e, entendida por muitos no País como o primeiro passo para a adoção da AP foi a aquisição de máquinas e equipamentos. Apesar de comum, é um procedimento de risco. Nas propriedades que iniciaram dessa forma é possível deparar com máquinas em campo cujas funções de mapeamento estão desligadas. Os motivos são variados. Muitos creditam à dificuldade na operação desses equipamentos. Porém, o mais preocupante é o desconhecimento da importância em compreender a variabilidade espacial da propriedade pelo gestor. Ou seja, há aquisição de equipamentos sem que haja uma reflexão ou análise do seu potencial de retorno econômico, no caso específico da propriedade onde serão utilizados, criando imagem de que a AP é demasiadamente sofisticada e complexa para a nossa agricultura.

Dentre os que obtiveram mapa de produtividade (ou de colheita), houve quem buscasse uniformizar a lavoura procurando alcançar o nível equivalente ao setor onde apresentou o máximo de produtividade. Hoje se sabe que muitos parâmetros são incontroláveis e buscar a uniformidade pode não trazer o retorno econômico almejado. Outros, mais cautelosos, buscaram auxílio para formular mapas de recomendação. Porém, não havia no mercado um profissional disponível que tivesse competência necessária para formular tal mapa. Talvez em instituições acadêmicas e de pesquisa houvesse quem formulasse de forma experimental ou exploratória, porém não havia experiência. Atualmente entende-se que, para formular mapas de aplicação, é importante o domínio de SIG,

geoestatística, fundamentos sólidos de Agronomia e muita experiência de campo e, obviamente, saber identificar as causas da variabilidade. Ainda hoje as escolas de Agronomia que formam profissionais com tal domínio são raras e é necessário buscar especialização nos cursos de pós-graduação, que ainda são incipientes e em quantidade muito inferior à demanda. É muito desejável que em dez anos tal conhecimento seja comum nas disciplinas tanto no ensino técnico como no superior e cujo conteúdo esteja relacionado à agricultura.

A iniciativa mais usual de implantação de AP no País, em cultura de grãos, é por meio de prestador de serviços. A imagem de coleta de amostra por meio de quadriciclo é muito forte no mercado. A amostragem em grade de um a cinco hectares é indubitavelmente melhor do que uma amostra a cada cem hectares, porém, há de se contar com a geoestatística antes de interpolar os dados. Há atualmente, ferramentas como imagem aérea e condutividade elétrica aparente do solo que ajudam a orientar a amostragem, porém, no Brasil, tal procedimento é muito raro. Assim que se estabelecerem as primeiras metodologias mais abrangentes aplicáveis no Brasil, talvez em cinco anos a maioria das empresas de serviço passará a oferecer alternativas cientificamente mais consistentes.

O insucesso da aplicação de AP compromete gravemente a imagem das indústrias de máquinas e dos prestadores de serviços. Para a pesquisa, só haverá sentido em apresentar resultados, se esta for adotada no campo. Por outro lado, o sucesso da implantação traz, além de bons resultados, um processo agrícola mais racional, responsável e rastreável, demandante de mão de obra qualificada e, conseqüentemente, de desenvolvimento sustentável.

Referências

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 44, p. 71-91, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. *Indústria Automobilística Brasileira - 50 anos*. São Paulo: Autodata editora, 2006. 194 p. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/50anos/180.pdf>>. Acesso em: nov. 2013.

BALASTREIRE, L. A. . A Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil. 1. ed. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. v. 1. 224 p.

BRASE, T. Precision Agriculture, Delmar Publishers Inc, 2005, 288 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>.

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 117-131, 2008. Suplemento 3. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>

LINSLEY, C. M.; BAUER, F. C. **Test Your Soil for Acidity**. College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, University of Illinois, 1929. 16 p. (Circular n. 346).

MIELE, A.; FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F. **Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul**: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. Embrapa Instrumentação, 2011. p. 266-272. (Agricultura de Precisão: um novo olhar).

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. p. 1-10.

NIKKILÄ, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 328-336, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.013>

OLIVEIRA, R. P.; BERNARDI, A. C. C.; RABELLO, L. M. A oportunidade de manejo por sítio-específico indicada na variação espacial da condutividade elétrica aparente do solo. mbrapa Instrumentação, 2011. p. 55-59. (Agricultura de Precisão: um novo olhar).

OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. Springer, 2010. 300 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8>

SORENSEN, C., FOUNTAS, S., NASH, E., PESONEN, L., BOCHTIS, D., PEDERSEN, S., BASSO, B., & BLACKMORE, S. Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010, 72(1), 37-47.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 76, p. 267-275, 2000. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>

SRINIVASAN, A. **Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications**, CRC Press, 2006, 683 p.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54