INTRODUÇÃO

Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro

Ricardo Y. Inamasu[1]*, Aberto C. de Campos Bernardi[2], Carlos Manoel Pedro Vaz[1], João de Mendonça Naime[1], Leonardo Ribeiro Queiros[3], Álvaro Vilela de Resende[4], Marina de Fátima Vilela[5]*, Lúcio André de Castro Jorge[1], Luís Henrique Bassoi[6], Naylor Bastiani Perez[7], Edilson Pepino Fragalle[8]

[1]Pesquisador da Embrapa Instrumentação
[2]Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste
[3]Analista da Embrapa Informática Agropecuária
[4]Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo
[5]Pesquisadora Embrapa Cerrados
[6]Pesquisador da Embrapa Semiárido
[7]Pesquisador da Embrapa Pecuária Sul
[8]Analista da Embrapa Instrumentação

*e-mail: ricardo@cnpdia.embrapa.br; marina@cpac.embrapa.br

O início da agricultura de precisão (AP) teve foco em máquinas dotadas de receptores GPS (*Global Positioning System*) e mapas de produtividade. Talvez, devido à essa fase, estabeleceu-se no Brasil, um senso comum de que o tema AP é uma área do conhecimento relacionada à sofisticação das máquinas agrícolas por meio de eletrônicas embarcadas e sistemas computacionais complexos, apesar do impacto final objetivar a sustentabilidade do agronegócio. A comunidade acadêmica, por sua vez, priorizou trabalhos iniciais voltados ao desenvolvimento de máquinas e equipamentos, por entender que ali estavam os principais desafios. Como primeiros passos, os temas propostos foram bem fundamentados, mas reforçou de certa forma o senso comum. Cita-se como exemplo o edital da FINEP Chamada Pública MCT/FINEP/CT-AGRO – Agricultura de Precisão 01/2008.

Essa priorização ocorreu uma vez que os primeiros trabalhos de impacto surgiram há vinte anos, com os mapas de produtividade mostrando a variabilidade da produção em uma área que era considerada uniforme. Nesse período um sistema embarcado com GPS ou um computador que pudesse realizar processamento de imagens e mapas era considerado sofisticado e causou euforia tanto no meio produtivo como no acadêmico. A falta de máquinas e o custo delas eram apontados como obstáculo. Hoje GPS e sistemas computacionais de tal capacidade alcançaram um custo que viabilizaram o seu emprego mesmo em equipamentos de uso pessoal.

A nova fase da agricultura de precisão no mundo avançou para além da cultura de milho e soja. O conceito pode ser aplicado em todas as culturas nas quais a variabilidade espacial esteja presente. Gerenciar a variabilidade espacial e maximizar retorno econômico minimizando efeito ao meio ambiente é o objetivo principal da AP. A Agricultura de Precisão é um tema abrangente, sistêmico e multidisciplinar. Não se limita à cultura nem à região. Há ainda muitos desafios a serem vencidos para que a AP apresente resultados mais expressivos no País. A troca de informações é fundamental para ampliar resultados e estabelecer técnicas e procedimentos de AP para as condições da agricultura brasileira.

Há quem defina que a AP nada mais é do que "[...] um jeito novo de produzir por meio de conceitos antigos [...]" (AUERNHAMMER, 1994, p. 31), isto é, utilizar os conceitos agronômicos tradicionais, porém fazendo-se uso de ferramentas como GPS e SIG (Sistema de Informação Geográfica) apoiando o reconhecimento de sítios. Stafford (2000), atual coeditor da revista *Precison Agriculture*, conclui que a AP é um conceito de gerenciamento da lavoura. Se seguirmos esse conceito, há um número muito maior de pesquisadores que atuam ou poderiam atuar no tema. Isso implica que há possibilidade de aperfeiçoar os recursos empregados na Embrapa e nas instituições parceiras e direcionar resultados também para a temática da AP. A rede, portanto entende que a **AP é uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial para maximizar o retorno econômico e minimizar efeito ao meio ambiente**.

A rede Agricultura de Precisão é complexa, pois reúne um número de diferentes culturas entre anuais, perenes e semiperenes; com diferentes áreas de atuação em pesquisa; resultados em diferentes níveis de maturidade tecnológica e de profundidade em AP; apresentando uma variedade de conceitos e até de diferentes expectativas entre os membros do projeto (ver estratégia de gestão para organização da rede). O projeto em rede tem como outro foco importante para a Embrapa e instituições parceiras a viabilização da própria rede e criação de um fórum para discutir AP nessa forma mais ampla, compartilhando e planejando as atividades entre pesquisadores de forma a potencializar resultados, na dimensão requerida pelo conceito de um projeto em rede. O projeto busca tomar proveito das ferramentas virtuais de gestão bem como compartilhar softwares e ferramentas, padronizar e integrar dados de diferentes fontes por meio de unidades piloto (UP) de referência temática. Hoje já há massa crítica no País para auxiliar a Embrapa e as instituições parceiras a uniformizar conceitos e metodologias por meio de treinamento. A rede tem como objetivo fortalecer e subsidiar grupos para potencializar captação de recursos e formar parcerias.

Com a rede, procura-se explorar o benefício na adoção da Agricultura de Precisão em variadas

culturas de forma sistemática. A rede estruturou-se em torno de alguns produtos e cadeias que apresentam demandas mais significativas para AP e, portanto com maior potencial de contribuição. A agricultura é um sistema muito complexo quando se inclui produção vegetal e animal, alimentação, ambiente, energia e sociedade como parte do agronegócio. A sustentabilidade e a competitividade da economia desse sistema é relevante não apenas para o Brasil, mas para a humanidade. É fundamental que exista capacidade e tecnologia para um planejamento eficaz, gestão e funcionamento de todos os aspectos da agricultura. A Embrapa tem como ferramenta institucional o Planejamento Estratégico que envolve atores do agronegócio brasileiro. Segundo a análise prospectiva realizada pela RIPA (Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio do Brasil) e apresentada no quinto plano diretor da Embrapa (2008) as principais tendências consolidadas identificadas e vinculadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) listadas na Tabela 1.

É posto ainda pelo plano diretor a necessidade de desenvolver e validar tecnologias que aperfeiçoem o uso de insumos, fomentem a automação de sistemas de produção, reduzam as perdas e minimizem os impactos ambientais e sociais ao longo da cadeia produtiva. Essa necessidade induz a Embrapa a pesquisar e a desenvolver a Agricultura de Precisão como um tema chave para os próximos anos.

Segundo a comissão formada pela Secretaria da Agricultura do governo americano (COMMITTEE..., 1997), a Agricultura de Precisão é considerada como uma estratégia de gestão que utiliza as tecnologias da informação para trazer os dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas com a produção vegetal. A Agricultura de Precisão tem três componentes: captação de dados em uma escala e frequência adequada, interpretação e análise desses dados, gestão e implementação de uma resposta a uma escala espacial e de tempo adequada. É provável que o impacto mais significativo da Agricultura de Precisão ocorra na forma como as decisões de gestão da variabilidade espacial e temporal no sistema produtivo vegetal serão tomadas.

Segundo a comissão a grande diferença entre o gerenciamento convencional e a Agricultura de Precisão seria a aplicação das modernas tecnologias da informação a coletar, processar, analisar os dados de múltiplas fontes de alta resolução espacial e temporal para a tomada de decisões e operações de gestão de produção vegetal. Os avanços nas tecnologias seriam, portanto, um processo evolutivo e seriam continuamente adaptados para a tomada de decisão agrícola.

Stafford (2000) citou um circular da estação experimental de Illinois do ano de 1929 mostrando que a variabilidade espacial era conhecida, porém não havia ferramentas tecnológicas nem conhecimento científico para tratá-la adequadamente. Apontou direções importantes para implementação da AP citando sistemas de sensoriamento para identificação localizada de ocorrências e de atributos da cultura; aplicação à taxa variada de insumos com rastreabilidade e gestão da informação com necessidade de padronização nessa área. Na sua conclusão, considerou a AP como um processo de gestão que leva em conta a variabilidade.

Naas (2000) iniciou o conceito da Zootecnia de Precisão, no Brasil como integração de conhecimento de áreas relacionadas à automação (mecânica, eletrônica, informática e mecatrônica) com a zootecnia, mostrando o seu potencial. A sua integração atualmente é vista como fundamental para rastreabilidade de produtos de origem animal de forma econômica e confiável. Ainda, o conceito de Zootecnia de Precisão está relacionado com redução otimizada das perdas, em todo o processo gerenciado por meio de modernas tecnologias da informação para coletar, processar e tomar as decisões.

Já em Anandacoomaraswamy e Ediriweera (2000), mostra que a AP pode ser viável em culturas de menor escala, apresentando resultados na qualidade da cultura de chá utilizando a informação da variabilidade espacial da sombra para obter retorno econômico. O trabalho utilizava como ferramenta uma prancheta e dispensava o uso de GPS e outras ferramentas da informática como um SIG. Nesse sentido, apesar de em algumas culturas o uso da

tecnologia avançada da informação e da automação trazer contribuição e até viabilidade ao processo de manejo da cultura, não se apresentaria mais como parte inerente da Agricultura de Precisão. McBratney (2005) apontou abundância de definições sobre AP e indicou a lista de dezenas de definições encontrada na página do Laboratório de Máquinas Agrícolas e Processamento, Universidade Católica da Bélgica (2009) e generalizou o conceito como sendo um tipo de agricultura que aumenta o número de decisões corretas por unidade de área e de tempo com benefícios associados em rede. Defendeu também a possibilidade de realizar a AP sem a presença de sensores, GPS, SIG, VRT etc. E argumentou que poderia ser aplicado em diferentes culturas como pecuária, aquicultura, florestas e outras gestões em recursos naturais.

Após uma década, a Agricultura de Precisão amadureceu e percebe-se significativo avanço também no Brasil. No banco de dados do CNPq pôde-se localizar 488 pesquisadores doutores (consulta realizada em 5 de setembro de 2008 na página http://lattes.cnpq.br) que tem relacionado direto ou indiretamente com o tema. Portanto pode-se dizer que há uma massa crítica na comunidade científica formada no País. Em relação ao conceito, alguns autores ainda preservam definições que guardam forte vínculo com a mecanização e a automação. Segundo Ting (2008), a Agricultura de Precisão é um sistema inteligente poderoso de produção que requer capacidade de coleta, processamento de informações e de tomada de decisões, dispositivos mecatrônicos de controle e acionamento, bem como a capacidade de integrar sinergicamente componentes em sistemas funcionais. No Brasil, a Zootecnia de Precisão estabeleceu-se em áreas como ambiência e de rastreabilidade animal. Essa terminologia e o conceito foram adotados e apresenta-se em currículos de muitos pesquisadores. Em consulta

Tabela 1. Principais tendências consolidadas identificadas e vinculadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação (EMBRAPA, 2008).

Macroambiente	PD&I para o Agronegócio
1. Ampliação da pressão para a conservação e o manejo racional dos recursos ambientais no processo produtivo, inclusive com normas ambientais mais rígidas.	1. Aumento da complexidade no mercado brasileiro de CT&I.
2. Busca por tecnologias alternativas que valorizem a diversidade biológica e por cultivares mais eficientes.	2. Avanços na fronteira de geração de conhecimento científico-tecnológico, incluindo o surgimento de novas tendências e a progressiva ampliação do uso de produtos ligados à biotecnologia, nanotecnologia, **agricultura de precisão** e bioenergia.
3. Disseminação de sistemas integrados e rotacionados (integração floresta lavoura pecuária agroenergia).	3. Crescimento da importância da PD&I no esforço para aumentar a competitividade dos produtos do agronegócio.
4. Aumento mundial da procura por agroenergia, impulsionando o mercado de energia renovável no Brasil.	4. Crescente incorporação de informação, conhecimento e tecnologia ao agronegócio.
5. Expansão e mudança do perfil do consumo de alimentos.	5. Avanço na participação do setor privado em segmentos específicos da PD&I, com destacada participação do setor público em segmentos estratégicos.
6. Ampliação continuada da importância do agronegócio para o desenvolvimento econômico brasileiro.	6. Disseminação de arranjos multiinstitucionais e multidisciplinares envolvendo empresas e instituições públicas e privadas, incluindo novas modalidades de gestão financeira de projetos e maior preocupação com propriedade intelectual.
7. A elevação do nível educacional da população.	

no banco de dados do CNPq, há 41 currículos de pesquisadores doutores com atuação de forma direta ou indireta em Zootecnia de Precisão. É importante, porém perceber que o termo Agricultura em inglês contempla a criação de animais. Portanto, entende-se que essa área não deve ser dissociada se adotarmos o conceito aceito pela academia internacional. Em termos internacionais a automação do processo de gestão e de criações de animais tem sido incorporada como o próprio processo de evolução da Zootecnia. Segundo Molin (1997, 2002), a Agricultura de Precisão é um conjunto de ações de gestão do sistema de produção que consideram a variabilidade espacial das lavouras ratificando o conceito mais aceito por muitos autores. A partir da premissa de que a produção nessas lavouras não é uniforme no espaço e no tempo e de que o substrato de produção, representado pelo solo, também tem elevada variabilidade espacial, é de se considerar como fundamental o gerenciamento que incorpore esses fatores, visando à otimização do sistema.

Auerhammer, um dos autores do padrão de comunicação entre tratores e implementos (ISO-11783) durante o CONBAP (Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão) de 2010, citou que J. V. Liebig, formulador do NPK, dizia por volta de 1850 que no futuro o agricultor, por meio de uma colheita detalhada, poderia determinar com precisão em cada campo a quantidade de insumo para restaurar a fertilidade. Auerhammer citou dessa forma como as ferramentas atuais de AP têm possibilitado tornar real a visão de Liebig.

Para o presente projeto, definimos a Agricultura, a Zootecnia e a Irrigação de Precisão como postura gerencial que leva em conta a variabilidade da cultura animal ou vegetal na busca de maximização do retorno econômico e minimização do efeito ao meio ambiente. Metodologias e ferramentas de Agricultura e de Zootecnia de Precisão são instrumentos que apoiam o processo gerencial a tomar esse tipo decisões e a executar as prescrições com menor erro possível. A definição abrange todas as atividades da agricultura, incluindo a irrigação, silvicultura, zootecnia e a aquicultura desde que busque por meio de gestão o retorno econômico e ambiental tendo como base conceitual o manejo que tome proveito das características e potencialidades do grupo, subgrupo ou indivíduo dentro da cultura. A partir desses conceitos e definições, a implementação pode ser traduzida inicialmente no reconhecimento da variabilidade espacial, na interpretação dessa variabilidade e numa ação ou procedimento espacialmente variado. Ou seja, na identificação mais detalhada buscando encontrar as diferenças na lavoura; no entendimento de como elas ocorrem e na implicação dessa variabilidade no resultado; e planejamento de uma ação levando em conta as diferenças buscando maior sustentabilidade nas três dimensões (econômico, ambiental e consequentemente a social).

O aumento de retorno econômico sob a AP pode ser realizado de três formas: aumento da produção (maior volume comercializado), aumento da qualidade do produto (aumento do valor econômico) e melhor uso de recursos e insumos (melhoria no processo e melhor relação custo/retorno). Para que um controle possa apresentar o seu resultado, deve-se inicialmente ler a variável a ser controlada e os fatores que a interferem; analisar o sistema identificando os parâmetros que determinam o resultado do processo e finalmente atuar para que a variável de interesse seja posicionada dentro de uma faixa desejada, ou seja, o denominado ciclo da AP (Figura 1). O retorno ambiental, apesar de ser traduzido em retorno econômico, os focos tem sido no aprimoramento de dados como a variabilidade espacial da capacidade de retenção do carbono, reconhecimento e gerenciamento de áreas e subáreas de maior potencial de degradação e erosão e dentro de conceitos de uso e aplicação sustentável de insumos.

Apesar de existir um número muito elevado de fatores que participam na composição do resultado da produção, para que a AP possa ser abordada e analisada em seu ciclo, identificam-se simplificação em cinco principais grupos de fatores que envolvem a produtividade. O primeiro grupo determinado pela "cultura" caracterizando o comportamento do processo agronômico e seus requisitos; o segundo grupo determinado pelos "fatores naturais dinâmicos" que alteram

o comportamento da cultura como condição climática; o terceiro grupo, o solo, como função de substrato destaca-se do grupo anterior pela influência mais estável e previsível em relação ao tempo e, portanto mais viável para manejo; o quarto grupo "pragas e doenças", pelas características de ocorrência localizada e pelas importâncias tanto econômicas como ambientais; e o quinto e último grupo é o de "manejo", e possui os parâmetros mais controláveis por ser de origem antrópica e causada por máquinas.

As culturas possuem suas próprias técnicas de cultivo e estas podem variar de acordo com a região onde esta está implantada. A cultura determina o objetivo principal do controle em relação à produtividade, qualidade e eficiência. Culturas como soja e trigo têm características de commodities e o interesse maior é na produtividade e eficiência, enquanto que em culturas como uva e café especial o alvo é a obtenção de maior qualidade e eficiência. Escolhas das variedades, densidade de plantas, época de plantio, preparo do solo são fatores que podem ser considerados pertencentes à cultura e que devem ser levados em conta no processo de análise das informações espacialmente variadas para recomendação de uma atuação à taxa variada. Para animais a característica da variedade é igualmente preponderante. A agricultura de precisão tem sido estudada predominantemente nas culturas de milho, soja e algodão nos EUA (INTERNATIONAL..., 2006, 2008); em culturas de trigo, cevada e colza na Europa e videiras na Austrália e Europa (EUROPEAN..., 2005, 2007). No Brasil há um número significativo de trabalhos em cana de açúcar seguido por trabalhos em forrageira, soja e café. E em zootecnia de precisão as aves e suínos são temas de trabalho (CONGRESSO..., 2008; SIMPÓSIO..., 2007).

Apesar das culturas serem suscetíveis à variabilidade, a cultura em si não pode causar a variabilidade espacial significativa, principalmente se for considerado que os indivíduos da cultura possuem uma razoável uniformidade genética e estes são distribuídos aleatoriamente. Porém, se os indivíduos apresentarem uma variação genética considerável e que se tratadas individualmente haveria retorno econômico, como em algumas culturas animais, extrativismo ou plantas ornamentais muito especiais, esta variação poderia ser considerada. Não se tem estudos apresentados de forma mais ampla pela AP nesse sentido e trabalhos nesse enfoque atualmente pode ser considerado exceção ou de vanguarda.

Considerando que a cultura tradicional apresenta pouca influência na variabilidade, esta pode e é utilizada como um indicador da variabilidade espacial pela AP. Mapa de colheita é um deles e é o indicador principal do resultado do ciclo da AP. As plantas são suscetíveis às demais entradas e apresentam seu estresse variando coloração,

Figura 1. Ciclo da Agricultura de Precisão.

textura, dimensão, densidade entre outros parâmetros fisiológicos, químicos e físicos. Por sua vez, estes formam um conjunto de indicadores interessantes da variabilidade espacial e se esses parâmetros são detectados precocemente, podem ser um indicador para orientar uma intervenção localizada na cultura. Os espectros no visível e no infravermelho são estudados desde 1965 (GATES et al., 1965). Hatfield et al. (2008) apresentaram no suplemento comemorativo do centenário do *Agronomy Journal* o artigo de revisão sobre a aplicação de sensoriamento remoto focando o espectro difratado ou refletido pelas plantas. Nele relatam trabalhos de centenas de autores, inclusive de coleções de forma muito mais detalhada do que essa revisão poderia abordar. O importante processo que hoje pode ser correlacionados por meio de sensoriamento do espectro das plantas são as respostas fornecidas pelas qualidades e conteúdos da clorofila, carotenóides e antocianinas. Por meio desse conhecimento, vários índices compostos por comprimentos de ondas foram desenvolvidos. O mais utilizado na agricultura é o índice conhecido como NDVI (*Normalized Difference Vegetative Índex*) proposto por Deering (1978 apud HATFIELD et al., 2008). Associado ao espectro da cultura, a técnica e tecnologia de imagem quer seja por satélite, por aeroplano ou por veículo terrestre, tem-se evoluído principalmente no bojo da AP.

O segundo grupo determinado principalmente pelos fatores climáticos exige acompanhamento e registro temporal. A sua intervenção é possível em ambientes controlados ou em sistemas irrigados para questões de disponibilização de água para a cultura. É o grupo de variáveis que mais interessa à zootecnia de precisão e evidentemente à irrigação de precisão. É complexo, pois necessita um monitoramento temporal e espacial, produzindo um número muito elevado de dados para processamento. Para ambiente de produção extensivo o registro mostra-se importante para auxiliar na determinação dos fatores que causaram a variabilidade na produção numa determinada safra. No ponto de vista agronômico foram realizados até hoje um número relativamente pequeno de trabalhos considerando esse grupo de fatores espacialmente e temporalmente variados. As metodologias e as tecnologias atuais exigem investimento muito elevado e o seu retorno econômico deve ser estudado ainda em algumas culturas com alto retorno e de alto valor agregado. É onde há o maior desafio de pesquisa para novas metodologias e tecnologias como sensores sem fio, sensoriamento remoto, sensoriamento *on-the-go* (sensores embarcados em máquinas agrícolas) e ferramentas potencialmente úteis à rastreabilidade.

A prática da AP foi primeiramente executada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Muitas das parcelas experimentais adotaram uma amostra a cada 50 metros, ou seja, quatro amostras por hectare. A geoestatística contribuiu com parâmetros de análise como a "dependência espacial" dos dados para fornecer um pouco mais de segurança no número de amostras (VIEIRA, 2000). Para produtores foram recomendados uma amostra por hectare acreditando-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado, dentro ainda de um custo razoável (LUCHIARI JUNIOR et al., 2004). A partir desses dados, constituiria mapas de fertilidade e de recomendação, mas Schepers, Shanahan e Luchiari Junior (2000) relatava o insucesso dessa metodologia (SCHEPERS, 2000), pois a variabilidade no rendimento da produção não foi resolvida. No Brasil, comercialmente ainda hoje se realiza uma amostragem composta a cada quatro a cinco hectares com relato de retorno econômico global, e não são consideradas mapas de melhor resolução com intuito de baixar custo de análise. Ou seja, apesar da ocorrência de manchas menores do que cinco hectares, o número de amostras praticado no campo está relacionado à capacidade de investimento do produtor.

Varvel, Schlemmer e Schepers (1999) mostraram que a imagem aérea de um solo nú apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo, um número significativo de produtores e provedores de serviço iniciou a considerar o uso de imagem aérea para orientar

os locais de amostragens e diminuir custos de coletas de análises. Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas.

Luchiari Junior et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais potenciais de produção, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Seguido pelo mesmo conceito da imagem aérea, mapa de condutividade elétrica do solo também se estabeleceu como uma ferramenta acessível para visualizar a variabilidade do terreno e orientar amostragem de solo. Corwin e Lesch (2005) apresentam uma revisão extensa da metodologia de medida da condutividade elétrica no solo e relata o expressivo uso na AP. Além desse relato é possível verificar nos trabalhos mais atuais em AP que estes não prescindem mais de mapa de Condutividade Elétrica do solo, mostrando não apenas a popularidade do método, mas a utilidade e praticidade do processo de medida. Adamchunk (2006) relata ainda um grande número de sensores e protótipos *on-the-go* para solo já desenvolvido e os classifica pelos elementos sensitivos apresentados na Tabela 2.

Apesar de um número elevado de trabalhos de pesquisa já realizados, ainda não se vê no País o uso da maioria das alternativas por produtores no campo, o que fortalece a necessidade ainda de se investir no tema. Vale aqui observar que o avanço mais significativo obtido para a prática da AP é o seu uso para identificação da variabilidade do solo - extensão e formato - apoiando na formulação de zonas de manejo. Atualmente, o processo de amostragem do solo em malha é considerado obsoleto em áreas de produção comercial no exterior, mais especificamente na Europa e EUA. Mesmo em áreas experimentais tem-se verificado na prática na maioria dos trabalhos uma amostragem inteligente apoiada por informações que auxiliam na detecção de zonas homogêneas como relevo, imagem aérea e condutividade elétrica do solo. No Brasil, como o uso das ferramentas de apoio ainda não está disseminado, o processo de amostragem em malha persiste.

O tema "pragas e doenças" na AP está intimamente relacionado ao uso de agrotóxico. Segundo a SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, o mercado de defensivos entre herbicidas, fungicidas, inseticidas e acaricidas foi de 7.8 bilhões de reais em 2007 e 10,2 bilhões de reais em 2008. Um incremento de 31%. As principais culturas para o mercado de agroquímicos são soja, cana de açúcar, milho, algodão, café e citros. A AP pode ser explorada para controlar a aplicação mitigando efeito ao meio ambiente e reduzir o custo por meio de aplicação mais eficiente. O tema depende predominantemente da cultura e da praga, os tratamentos são em muitos casos específicos e cada uma delas apresenta seu processo particular de detecção e reconhecimento. O elemento em comum na maioria do tratamento é a sua aplicação por meio da pulverização. A tecnologia de aplicação de insumos líquidos foi disponibilizada no mercado desde o início da AP, porém o desafio maior tem sido o processo de detecção. As principais linhas que tem sido abordada para detecção e reconhecimento são de sensoriamento remoto, processamento de imagens e espectroscopia ótica.

Imagens por satélite, veículos aéreos tripulados ou não tripulados têm sido exploradas para obtenção de dados em grandes áreas. Alternativas de baixo custo como aeromodelo (SIMPSON et al., 2003) e pipas (ABER; ABER; PAVRI, 2002) são encontradas. Sensores e câmeras acoplados a veículos terrestres também tem sido desenvolvidos. O sensoriamento remoto iniciou seus estudos relacionando por meio do espectro da imagem aérea com vigor de planta e muitos trabalhos foram realizados posteriormente. A Agricultura de Precisão tem explorado intensivamente imagens por satélite e por aeronaves com variada resolução aproveitando os recursos existentes no mercado (NATIONAL..., 1997). Tecnologia mais recente e promissora são as imagens por helicóptero controlado automaticamente. Os helicópteros possuem dimensões reduzidas e alta mobilidade com possibilidade de pairar em uma posição (altura e coordenada) estratégica até em baixas altitudes, se comparadas com pipas, aeroplanos e balões dirigíveis. Porém a necessidade de um

operador hábil e qualificado, devido ao alto potencial de acidente se operados por leigos, torna a operação de alto custo (IWAHORI et al., 2004). A tecnologia de automação tem evoluído consideravelmente e tais limitações tendem as ser vencidas (HUANG et al., 2008). Como o custo de sistemas digitais tem reduzido a cada ano, o potencial de encontrar essas máquinas operando em áreas produtivas é muito alto.

O sistema de visão artificial para detecção de plantas daninhas classifica-as por meio de sua cor, forma, textura ou características (CHO; LEE; JEONG, 2002; CHEN; CHAO; KIM et al., 2002). Técnicas de imagens espectrais que combinam informações espectrais e espaciais também foram estudadas para o seu potencial na detecção de plantas daninhas (ALCHANATIS et al., 2005; FEYAERTS; VAN GOOL, 2001). Dificuldades encontradas pelos sistemas de imagens para detecção de plantas daninhas incluem velocidade lenta de processamento, requisitos de grande quantidade de memória, bem como os elevados custos do sistema de hardware.

O sensoriamento remoto fornece um método não invasivo de adquirir uma visão concisa de populações de plantas daninhas em solo (LAMB; BROWN, 2001; GOEL et al., 2003). Essa técnica tem sido bem sucedida na detecção da variabilidade espacial de pastagens. No entanto, baseados em satélites de sensoriamento remoto, em geral, é limitado como uma ferramenta de tempo real e em campo de plantas daninhas, devido à sua periodicidade depender do seu posicionamento em momentos cruciais. Essa técnica ainda não é susceptível nos dias de hoje devido ao dois fatores, custo e tecnologias existentes, porém, não deixa de apresentar um potencial muito promissor. O custo parece ser questão de tempo e evolução. As tecnologias são temas que demandam trabalho à pesquisa.

Os sensores ópticos têm encontrado cada vez mais aplicações nos sistemas de produção agrícola.

Tabela 2. Classificação de sistemas de sensoriamento *on-the-go* de solo, sistematizado e adaptado de (ADAMCHUNK, 2004).

Elétricos e eletromagnéticos
Condutividade/resistividade elétrica: método de contato galvânico; método de indução eletromagnético; método de capacitância com resistividade.
Textura/tipo de solo; salinidade; conteúdo de água (umidade); conteúdo de matéria orgânica; variação na profundidade; pH do solo e conteúdo de nitrato no solo.
Sensores capacitivos.
Conteúdo volumétrico de água; textura/tipo de solo; salinidade.
Óticos e radioelétricos
Sensor de absorção/refletância do subsolo: visual (“endoscopia”); infravermelho próximo; infravermelho-médio; luz polarizada; comprimento de onda simples; resposta hiperespectral; análise por imagem.
Conteúdo de matéria orgânica (carbono); Textura de solo; Capacidade de troca catiônica (CTC); conteúdo de água (umidade); pH do solo; nitrogênio mineral, carbono e fósforo.
Radar de penetração no solo (Ground Penetrating Radar).
Conteúdo de água; Estrutura geofísica do solo; Micro-onda; Conteúdo de água.
Acústicos
Sensor de penetração de som no solo.
Conteúdo de argila no solo (tipo); compactação do solo; profundidade de disco (arado).
Pneumáticos
Sensor de permeabilidade do ar.
Estrutura do solo; Conteúdo de água; tipo de solo.
Mecânicos
Transdutor de força; célula de carga; sensor de deformação mecânica em geral.
Resistência mecânica do solo; compactação do solo; umidade do solo; tipo de solo; profundidade de disco (arado); resistência à penetração.
Eletroquímicos
Medida de solução do solo; medida direta do solo; Transistor de efeito de campo íon seletivo (ion-selective field effect transistor – ISFETs); Eletrodo íon-seletivo.
pH do solo (H^+); Conteúdo de Potássio (K^+); Nitrogênio residual (NO^{-3}); Conteúdo de Sódio (Na^+).

Vantagens deste tipo de sensor sobre sistemas de imagens incluem baixo custo, sistema com configuração menos complexo e maior velocidade do processamento. A maioria dos sensores ópticos baseados em plantas daninhas detectam características espectrais (FELTON; McCLOY, 1992; VRINDTS; DE BAERDEMAEKER, 1996; WARTENBERG; SCHMIDT, 1999). Dois produtos comerciais, WeedSeeker da NTech Industries (http://www.greenseeker.com) e Detectspray (North American Pty Ltd., NSW, Austrália (1995 apud WANG et al., 2008), atingiram uma taxa de detecção de plantas daninhas de 95% (BLACKSHAW et al., 1998 apud WANG et al., 2008).

Um experimento conduzido por Biller (1998), utilizando o Detectspray demonstrou economia de herbicida de 30-70%. A N-SensorTM (Yara International ASA, Oslo, Noruega, 2004 apud WANG et al., 2008) é um sensor óptico comercialmente disponível, que utiliza um princípio de medição similar. Ao invés de detecção de plantas daninhas, a sua principal função é a de medir o teor de clorofila das culturas com base em seus espectros infravermelhos. Wang et al. (2007) apresentam um sistema de aplicação de herbicida com reconhecimento de plantas daninhas em tempo real com custo de hardware do protótipo de aproximadamente US$ 2,000.00, o que mostra que a tecnologia está muito próximo de se concretizar.

Os fatores principais que causam a variabilidade espacial e que são estudadas pela AP, portanto são os meios. O meio pode ser caracterizado por fatores naturais (edafoclimáticos e biológicos) ou artificiais. As variações artificiais, ou seja, causadas pelo homem, ocorrem no manejo. Os manejos são realizados nas operações agrícolas como preparo do solo, plantio, aplicação de insumos (fertilizantes, herbicidas, acaricidas, fungicidas, corretivos de solo, etc.) e irrigação. Se houver variação da produção devido ao manejo, pode se considerar que a operação foi conduzida de forma não desejável, por exemplo, uma falha na distribuição de sementes ou máquinas em condições de trabalho fora de especificação, entre outros. São variações que se detectadas podem ser corrigidas por meio de ajustes de máquinas, de procedimentos, melhoria de projetos ou na instalação de sensores e atuadores para que a máquina se autoajuste sem a interferência do operadores. Busca-se para a correção do manejo o emprego de maior "precisão" (ou menor erro) nas operações agrícolas. Nesse aspecto, pode-se dizer que houve um avanço significativo implementado pelo setor de máquinas e equipamentos. O exemplo que pode ser considerado mais recente presente no mercado e em processo de expansão de uso é o piloto automático. O piloto automático realiza a condução automática do trator paralelamente a uma linha referência de plantio, eliminando sobreposição e traçando espaçamento uniforme entre linhas em todo o campo. A primeira versão foi lançada em 2002 (TING, 2002). Com surgimento de um número significativo de fabricantes desse tipo de controlador, surge também a necessidade de procedimento de testes de eficiência para esses sistemas. Propostas têm sido apresentadas (EHRL et al., 2004; HARBUCK et al., 2006; (EASTERLY; ADAMCHUK, 2008) para medir erros menores que um centímetro em percursos de quilômetros. Para o mercado brasileiro, o seu uso está sendo ampliado em culturas de soja e cana-de-açúcar. Debates sobre piloto automático ainda são frequentes em fóruns de discussões sobre equipamentos. Questiona-se se a barra de luz (orientação ao condutor por meio de indicadores luminosos) e piloto automático fazem parte do contexto da agricultura de precisão. Nesse projeto, não se questiona se um determinado equipamento faz ou não parte da AP, pois se entende que a AP é um processo de gestão. Se um equipamento auxilia na gestão da variabilidade espacial e temporal na lavoura, então essa deve ser considerado como ferramenta para AP. Se a intensidade da variabilidade com causa antrópica é significativa e se pode ser corrigida por piloto automático, então é uma ferramenta para AP.

Mesmo após duas décadas de AP, ainda não se percebe no Brasil uma ampla compreensão por parte dos produtores e atores. Verifica-se um número maior de entusiastas em grupos que possuem maior afinidade e simpatia com tecnologias de informação. A falta de habilidade com instrumentos eletrônicos não apenas na

operacionalização, mas na manutenção e calibração também são frequentemente lembrados em encontros (CONBAP, 2008). Portanto a facilidade de operação, bem como na manutenção seria um requisito importante a ser pesquisado e desenvolvido. No Brasil ainda há fator agravante que é a existência de poucos fabricantes de implementos que almejaram construir competência nessa tecnologia. Os equipamentos para medir CE do solo e GPS, entre outros, são todos importados. Esse é um dos problemas apontados pelo Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão (2008).

A automação, a mecatrônica, o sensoriamento, a eletrônica embarcada e sistemas de informação geográfica, inerentes no início da Agricultura e a Zootecnia de Precisão, passam a ser dissociados na conceituação e no processo de estudo da variabilidade. Porém, a sua importância estratégica e operacional continua para viabilizar uma prática eficiente e em alguns casos imprescindível como produção em larga escala para que a operação traga retorno econômico.

Os efeitos antrópicos na variabilidade espacial sendo corrigidos emerge o enorme desafio que a natureza apresenta ao agricultor. Porém é a forma como a agricultura teve de lidar com a terra desde o seu início. Respeitar as suas diferenças e aptidões locais é o procedimento que a Agricultura de Precisão resgata para o futuro da agricultura sustentável. A pesquisa deve avançara para que os conceitos empíricos sejam apropriados pela ciência e tecnologia.

Referências

ABER, J. S.; ABER, S. W.; PAVRI, F. Unmanned small-format aerial photography from kites for acquiring large-scale, high-resolution, multiview-angle imagery. In: PECORA LAND SATELLITE INFORMATION IV/ISPRS COMMISSION I/ FIEOS CONFERENCE, 15., 2002, Denver. **Proceedings**... Natural Resources Canada, 2002.

ALCHANATIS, V.; RIDEL, L.; HETZRONI, A.; YAROSLAVSKY, L. Weed detection in multispectral images of cotton fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 243-260, 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.019

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings**... Providence: ASABE, 2008.

ANANDACOOMARASWAMY, A.; EDIRIWEERA, E. P. S. K. Effect of shade (grevillea robusta) on micro-climate and soil fertility in tea plantations at high altitude. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 5., 2000, Minneapolis, MNU. **Proceedings**... Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2000. 1 CD-ROM.

AUERNHAMMER, H. (Ed). Special Issue: Global Positioning Systems in Agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 11, n. 1, 1994.

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

BILLER, R. H. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 41, n. 4, p. 357-362, 1998. http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1998.0334

CHEN, Y.; CHAO, K.; KIM, M. S. Machine vision technology for agricultural applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 173-191, 2002. http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00100-X

CHO, S. I.; LEE, D. S.; JEONG, J. Y. Weed-plant discrimination by machine vision and artificial neural network. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 3, p. 275-280, 2002. http://dx.doi.org/10.1006/bioe.2002.0117

COELHO, A. M.; INAMASU, R. Y.; MATOSO, M. J.; GESSI, C. **Rede de Conhecimento em Agricultura de Precisão para condições do Cerrado e dos Campos Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa, 2008. 166 p. Relatório Final.

COMMITTEE ON ASSESSING CROP YIELD: SITE-SPECIFIC FARMING, INFORMATION SYSTEMS, AND RESEARCH OPPORTUNITIES, NATIONAL RESEARCH COUNCIL: BOARD ON AGRICULTURE. **Precision Agriculture in the 21st Century**: Geospatial and Information Technologies in Crop Management. Washington: National Academy Press., 1997. 168 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: ESALQ, 2004.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro. **Anais**... Piracicaba: ESALQ, 2006.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2008, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: ESALQ, 2008.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 46, p. 11-43, 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005

EASTERLY, D. E.; ADAMCHUK, V. I. Auto-Guidance Error Measurement Using a Visual Sensor. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings**... Providence: ASABE, 2008. 11 p. Paper n. 083810.

EHRL, M.; STEMPFHUBER, W. V.; DEMMEL, M. R.; KAINZ, M.; AUERNHAMMER, H. AutoTrac-Accuracy of a RTK DGPS based autonomous vehicle guidance system under field conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION TECHNOLOGY FOR OFF-ROAD EQUIPMENT - ATOE, 2004, Kyoto. **Proceedings**...Kyoto: ASAE, JSAM, 2004. p. 274-282.

EMBRAPA. Secretaria de Gestão e Estratégia. **V Plano Diretor da Embrapa**: 2008-2011-2023. Brasília: Embrapa, 2008. 43 p.

EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5.; EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION LIVESTOCK FARMING, 2., 2005, Uppsala, Suecia. **Proceedings**... Uppsala, 2005. 1 CD-ROM.

EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE-ECPA, 3.; EUROPEAN CONFERENCE OF THE EUROPEAN FEDERATION FOR INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT-EFITA, 3., 2001, Montpellier. **Proceedings**... Montpellier: Ecole National Supérieure Agronomique, 2001. 1CD-ROM.

FELTON W, L.; MCCLOY, K. R. Spot spraying. **Agricultural Engineering**, v. 73, n. 6, p. 9-12, 1992.

FEYAERTS, F.; VAN GOOL, L. Multi-spectral vision system for weed detection. **Pattern Recognition Letters**, v. 22, p. 667-674, 2001. http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8655(01)00006-X

GOEL P, K.; PRASHER, S. O.; LANDRY, J. A.; PATEL, R. M.; BONNELL, R. B.; VIAU, A. A.; MILLER, J. R. Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 38, n. 2, p. 99-124, 2003. http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00138-2

HARBUCK, T. L.; FULTON, J. P.; MCDONALD, T. P.; BRODBECK, C. J. Evaluation of GPS autoguidance systems over varying time periods. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006, Portland. **Proceedings**... Portland: ASABE, 2006. 12 p. Paper N. 061042.

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. Supplement to Agronomy Journal: Celebrate the Centennial.

HUANG, Y.; HOFFMANN, C.; FRITZ, B.; LAN, Y. Development of an Unmanned Aerial Vehicle-Based Spray System for Highly Accurate Site-Specific Application. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings**... Providence: ASABE, 2008. Paper n. 08-3909.

HUANG, Y.; LAN, Y.; HOFFMAN, W. C.; FRITZ, F. K. Development of an unmanned aerial vehicle-based remote sensing system for site-specific management in precision agriculture. In: NTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings**... Denver: Hyatt Regency Tech Center, 2008. 1 CD-ROM.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 6., 2002, Minneapolis, MNU. **Proceedings**... Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2002. 1 CD-ROM.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 7., 2004, Minneapolis, MNU. **Proceedings**... Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2004. 1 CD-ROM.

IWAHORI, T.; SUGIURA, R.; ISHI, K.; NOGUCHI, N. Remote sensing technology using an unmanned helicopter with a control pan-head. In: AUTOMATION TECHNOLOGY FOR OFF-ROAD EQUIPMENT, 2004, Kyoto. **Proceedings**... Kyoto: ASAE, 2004. Publication Number 701P1004.

LAMB, D. W.; BROWN, R. N. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 78, part 2 , p. 117-126, 2001. http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0630

LUCHIARI JUNIOR, A.; SILVA, A. S.; BUSCHINELLI, C. C. A.; HERMES, L. C.; CARVALHO, J. R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 19-35.

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. Future directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, n. 6, p. 7-23, 2005. http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, p. 83-92, 2002.

NAAS, I. A. Agricultura de Precisão: Zootecnia de Precisão. In: BORÉM, A.; DEL GUIDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R. (Orgs.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2000. v. 1, p. 43-63.

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In BALAZS, E. (Ed.). **Biological Resource Management**: Connecting Science and Policy. Springer, 2000. p. 129-135.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - SIAP, 4., 2007, Viçosa. **Anais**... Viçosa: UFV, 2007. 1 CD-ROM.

SIMPSON, A.; STOMBAUGH, T.; WELLS, L.; JACOB, J. Imaging Techniques and Applications for UAV's in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, Las Vegas, Nevada. **Proceedings**... ASABE, 2003. Paper n. 083909.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century (Keynote address for the scientific session on Precision Agriculture, presented at AgEng 2000, 2). **Journal of Agricultural Engineering Research**, n. 76, p. 267-275, 2000. http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0577

STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Spatially variable field operations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 14, n. 2-3, 1996. http://dx.doi.org/10.1016/0168-1699(95)00041-0

TING, K. C. **Systems Approach to Precision Agriculture - Challenges and Opportunities TRIMBLE Navigation Limited, Farming with Trimle s AgGPS Autopilot System**. 2002. CD-ROM. Disponível em: <http://www.trimble.com>.

TING, K.C. 2008. Systems Approach to Precision Agriculture – Challenges and Opportunities. Disponível em: http://www.docstoc.com/docs/21081830/Systems-Approach-to-Precision-Agriculture---Challenges-and

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphourus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999.

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. (Orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VRINDTS, E; DE BAERDEMAEKER, J. Feasibility of weed detection with optical reflection measurement. BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE PEST & DISEASES, 1996, Brighton. **Proceedings**... Brighton, 1996. v. 1, p. 443-444

WANG, N.; ZHANG, N.; WEI, J.; STOLL, Q.; PETERSON, D. E. A real-time, embedded, weed-detection system for use in wheat fields. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 276-285, 2007. http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.08.007

WARTENBERG, G.; SCHMIDT, H. Optoelectronic sensors an alternative for weed detection. **Landtechnik**, v. 54, n. 6, p. 340-341, 1999.