

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **AGRICULTURA DE PRECISÃO. PARTE II: DIAGNÓSTICO, APLICAÇÃO LOCALIZADA E CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS**

**J. P. MOLIN<sup>1</sup>**

#### **RESUMO**

A expansão comercial da aplicação de conceitos de agricultura de precisão nos países mais desenvolvidos tem gerado muitas expectativas. A sua utilização demanda a coleta de enormes quantidades de informação que devem ser analisadas para então obter-se uma possível interpretação dos fatos relacionados à variabilidade espacial e temporal que se evidenciam em cada porção da lavoura. A partir dessa análise é possível se fazer o uso de técnicas de aplicação localizada dos insumos como uma alternativa de otimização da produção agrícola. Porém muitos questionamentos existem com relação à conversão econômica dessa nova técnica. Esse trabalho objetiva apresentar e discutir esses pontos com base nas informações disponíveis na literatura internacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** agricultura de precisão, variabilidade espacial, economia.

#### **PRECISION FARMING. PART II: DIAGNOSTIC, SITE SPECIFIC MANAGEMENT AND ECONOMICS.**

#### **SUMMARY**

The commercial expansion of precision farming on developed countries has created some new expectation. Its use implies an enormous amount of data and those data have to be analyzed for some possible interpretation of the phenomena related to the spacial and temporal variability on each piece of land. The agricultural production may be optimized by making a site specific management from those analysis. Nevertheless, questions remain regarding to the economical point of view of the new technology. This paper presents those topics based on the information available in the international literature.

**KEYWORDS:** precision farming, spatial variability, economy.

---

<sup>1</sup> Professor Doutor, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Pesquisador do CNPq. Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, fone (019)4294165, e-mail: jpmolin@carpa.ciagri.usp.br

## **INTRODUÇÃO**

A evolução natural está levando a informatização ao meio rural. Esse processo iniciou com os métodos de administração e comercialização. Hoje novos níveis de tomada de decisão podem ser geridos via informatização.

A agricultura de precisão surge como uma nova demanda de informática na agricultura pois implica na coleta e manipulação de uma grande quantidade de dados que só podem ser gerenciados por métodos computacionais. Todo o embasamento dessa nova tecnologia está na análise da variabilidade espacial dos fatores de produção, especialmente do solo. A partir dessa análise as decisões devem ser tomadas para que se faça então a aplicação dos insumos de uma forma localizada e com dosagens precisas. A tecnologia deve ser, no entanto, validada com base em análises que provem as suas vantagens não apenas econômicas, mas também de benefícios ao meio ambiente por resultar em menor excedente de insumos.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Análise dos dados de variabilidade espacial**

Sistemas de informação geográfica ou GIS (Geographic Information System) permitem a armazenagem, processamento, análise e sintetização de todos os dados relativos à variabilidade espacial. Na medida em que os dados são coletados, cada parâmetro pode ser tratado como uma camada separada de informação. O GIS oferece a possibilidade de se executar operações aritméticas e lógicas por meio da sobreposição da informação contida em diferentes camadas.

HEATWOLE (1996) definiu GIS como um sistema computadorizado que incorpora entrada de dados georeferenciados, administração desses dados para armazenamento e busca, manipulação, análise e emissão dos dados. Como complemento estabelece que um sistema GIS "sabe" o que uma dada representação espacial é, onde está, como se relaciona com o que a cerca e tudo isso amarrado com o fator tempo.

TIM et al. (1995) fizeram uma abordagem bastante ampla do estado da arte em softwares de GIS e projeções para o futuro próximo. Eles consideram que, embora a ferramenta GIS já seja um tanto antiga, muito ainda está por acontecer em termos de aplicações e habilidade do sistema em administrar informações e dados. Os softwares disponíveis são extremamente amplos e poderosos, tendo a agricultura de precisão apenas como mais uma das inúmeras aplicações.

Recentemente tem sido proposta a combinação de softwares de GIS com sistemas de decisão ou DSS (Decision Support System) ou com modelos de desenvolvimento de culturas. MOTZ et al. (1993) reportam a utilização do software PC\_MAPS, desenvolvido pela Texas A&M University, como ferramenta de manipulação de informações. O software permite que o usuário marque graficamente dados geográficos de referência, faça análises geoestatísticas e crie mapas de aplicação diferenciada. HOOGENBOOM et al. (1993) conectaram modelos de simulação de culturas com o software de GIS PC-ARC/INFO. Com isso foi possível simular o desenvolvimento de

culturas para cada pequena cela de um quadriculado da lavoura. A modelagem espacial de culturas utilizando GIS como ferramenta está avançando e se caracterizando como uma linha de pesquisa.

Uma abordagem a respeito das opções comerciais de GIS foi feita por USERY et al. (1995). Eles fizeram uma enquete entre pesquisadores envolvidos com agricultura de precisão, nos Estados Unidos, a respeito do que utilizam e do que desejariam que os GIS oferecessem. Houveram críticas contundentes quanto ao grau de dificuldade e necessidade de treinamento para a utilização dos pacotes. Evidenciou-se, também, o fato de que as aplicações em agricultura de precisão exigem menos complexidade do que aquela que os pacotes comerciais oferecem.

Talvez a resposta de todo esforço na aquisição de dados de mapeamento de variabilidade esteja em correlações que associem os dados coletados (características químicas e físicas do solo, níveis de infestação, etc.) com a produtividade obtida a partir do monitor de colheita. Essa, no entanto não é uma resposta fácil de se obter, nem tão pouco universal. A variabilidade é intrínseca a cada local e condições.

DRUMMOND et al. (1995) investigaram vários métodos de análise multivariada com dados de produtividade de duas safras, uma de milho e uma de soja, em uma área de 25 ha. Foram cruzados dados de fertilidade do solo (fósforo, potássio, pH, matéria orgânica, magnésio, cálcio, CTC e saturação de magnésio) e a espessura da camada superficial do solo. Poucos coeficientes de determinação superaram o valor de 50% e uma análise visual dos mapas de produtividade dos dois anos indicou que a condição climática foi o fator que mais influenciou na produtividade. No primeiro ano a precipitação foi uniforme e abundante, chegando a causar problemas de drenagem, enquanto que na segunda temporada de dados houve uma estresse hídrico ao longo de toda fase de crescimento da cultura. Já HEINIGER & BRAKE (1996) apresentam dados que mostram uma boa tendência de correlação entre produtividade de trigo e pH numa condição particular.

Uma das ferramentas recentemente desenvolvida para manipular matematicamente a variabilidade espacial dos dados é a geo-estatística. A grande maioria dos experimentos agrônômicos selecionam parcelas homogêneas, dessa maneira a significância estatística dos efeitos de tratamentos pode ser determinada. SCHUELLER (1992) menciona que devido à heterogeneidade de campo, muitos dos procedimentos de pesquisa realizados em parcelas, respondem diferentemente em campo.

A amostragem pontual tem mostrado que normalmente existe uma variabilidade muito grande nas propriedades do solo e das culturas. Essa variabilidade cresce com o tamanho da lavoura. A base da geo-estatística, segundo GOERING & HAN (1993), vem da teoria da variabilidade regional de Matheron. Essa teoria diz que a diferença no valor de uma dada variável (do solo, por exemplo) entre dois pontos do campo, depende da distância entre esses dois pontos. A diferença entre os valores da variável tende a ser menor para locais próximos e maior para pontos mais distantes entre si. Essa idéia é representada por semivariogramas como o da Figura 1, onde  $c_0$  é o efeito pepita que mede a variação ao acaso,  $c_0+c$  é o ponto de equilíbrio, além do qual a variabilidade não é mais relacionada à distância entre amostras ( $h$ ) e passa a ser aleatória,  $a$  é o alcance ou distância em que a semivariância atinge o equilíbrio e  $c$  é o patamar ou "still".

A semivariância é estimada pela expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z_i - Z_{i+h}]^2$$

em que,

$\gamma(h)$  - semivariância

n - número de observações separadas pela distância h

$Z_i, Z_{i+h}$  - pares de amostras separadas pela distância h

A densidade de amostras em campo para caracterizar a variabilidade ainda é bastante discutida. WOLLENHAUPT et al. (1994) testaram métodos de amostragens de solo para mapeamento de P e K com fins de correção desses fatores com aplicação localizada de fertilizantes. Utilizaram amostragem pontual em torno das interseções de um quadriculado de 32 m, com 8 amostras misturadas para representar um ponto. Outros métodos consistiram em misturar de 5 a 72 amostras do interior de celas de 32 a 100 m de lado. Os melhores resultados foram obtidos com amostras pontuais e a recomendação foi de que as amostras devam ser coletadas em arranjo triangular ou outro não alinhado. A distância entre pontos seria dependente da variabilidade de cada lavoura mas não deveria exceder 100 m. Já FIXEN (1994) menciona que essa distância deveria ficar entre 60 e 135 m. BULLOCK et al. (1994) testaram dois tamanhos de celas (1 ha e 0,25 ha) para amostragem de solo para pH, P e K e comparando as duas situações não observaram ganhos significativos em economia de fertilizante em aplicação localizada.

A forma de se obter a melhor amostragem em um quadriculado de campo é abordada por WOLLENHAUPT & WOLKOWSKI (1994a). Eles sugerem a tomada de amostra aleatoriamente, dentro de cada cela. Hoje, alguns dos softwares de mapeamento já oferecem a possibilidade de se sortear a posição enquanto percorrendo o campo para a coleta das amostras com navegação via DGPS (Differential Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global Diferencial).

ANDERSON (1995a) propôs um amostrador de solo que pode ser montado em veículos normais, quadriciclos ou tratores para amostragem rápida com acionamento hidráulico. Associado ao coletor, o equipamento oferece um sistema de coleta de dados com identificação das amostras e sua localização via DGPS.

### **Aplicação localizada de insumos**

Após estabelecida uma desejada ação, fruto da análise dos dados, é a vez da operação de campo com a aplicação localizada dos insumos. Considerando a localização do equipamento no campo e o mapa de aplicação preestabelecido, os atuadores dos aplicadores devem ser acionados e responder com relativa rapidez. Os aplicadores devem ser equipados com sistemas de controle que comandam os atuadores para ajustar os dosadores às quantidades desejadas de um dado insumo. Atuadores hidráulicos ou mecânicos podem ser controlados eletronicamente.

SCHUELLER (1992) discute extensivamente algumas das áreas de maior potencial para o controle de aplicação variada. As técnicas de aplicação localizada de fertilizantes e de defensivos tem sido as duas maiores áreas de concentração de esforços

em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. A terceira área seria a de semeadura controlada visando variação de população, controle de profundidade de semeadura de acordo com a umidade do solo e controle localizado de variedades. A quarta área potencial seria a do controle localizado da intensidade de preparo do solo.

Independentemente da origem, por processos naturais de clima e solo ou por diferenças em manejos das culturas, a variabilidade de campo deve ser administrada apropriadamente em agricultura de precisão. Diferentes formas de analisar o problema tem sido propostas. GOERING & HAN (1993) e BLACKMORE (1994) mencionam duas alternativas estratégicas associadas à agricultura de precisão. A primeira seria de se obter produtividades maiores utilizando a mesma quantidade de insumos consumida em aplicação uniforme e a outra seria de se produzir o mesmo que em aplicação uniforme mas com menos insumos.

SCHUELLER (1992) classifica cinco diferentes estratégias de ação para o manejo da variabilidade de campo:

1. Controle homogêneo
2. Controle automático ou por sensor
3. Controle via mapa
4. Controle multi-variado de variabilidade espacial
5. Controle por meio da variabilidade espacial histórica

O controle homogêneo não considera variabilidade do campo. Como exemplo, as amostras de solo são coletadas, misturadas e a análise resulta na recomendação de aplicação uniforme para todo o campo. O comando do atuador do aplicador é único para toda a extensão da lavoura, o que corresponde a uma única posição de regulagem do mecanismo dosador.

A utilização de um sensor para o controle automático do processo não é novidade na área de máquinas agrícolas. Harry Fergusson o utilizou quando inventou o sistema de compensação do engate de três pontos do trator. A premissa era de fazer variar a profundidade de aração para manter constante a força de tração. No caso presente o sensor é qualquer dispositivo que quantifica a variabilidade e informa o controle do atuador que fisicamente ajusta a dosagem.

Com o uso da estratégia de controle via mapa o sensoriamento e a aplicação são efetuados em etapas distintas. Uma dada propriedade do solo ou da cultura é quantificada e as informações geram o mapa de variabilidade. O campo é então dividido em celas e a dosagem do referido insumo é atribuída a cada uma por meio de modelos ou decisões, gerando então o mapa de aplicação. As coordenadas de campo e as taxas de aplicação são armazenadas na memória do controle que comanda o atuador a ajustar o mecanismo dosador para a devida dosagem em cada local do campo. Esse sistema exige equipamento de localização do aplicador no campo, bem como de equipamento que armazene o mapa de variabilidade e o mapa de aplicação.

O sistema de controle multivariado difere do anterior por utilizar múltiplos mapas de variabilidade, ou seja, mais do que uma variável de campo é levada em consideração. A combinação desses mapas gera o mapa de aplicação para cada ponto da lavoura.

No controle por variabilidade histórica as informações baseiam-se em dados anteriores numa seqüência histórica da área. Com isso, fatores como variações climáticas podem ser considerados. O mapa de aplicação é então gerado baseado nessa seqüência de informações.

Muitos autores consideram apenas duas estratégias de controle da aplicação localizada dos insumos. GAULTNEY (1989) e GOERING & HAN (1993), por exemplo, consideram a ação por controle automático ou por mapa. O controle automático implica em uma ou mais variáveis sendo medidas por sensores e esse sinal controlando o aplicador, como representado na Figura 2a. Como o sensoriamento e a aplicação são executados ao mesmo tempo, o processo deve ser rápido e preciso para que a dose desejada seja aplicada no local certo (NEUHAUS & SEARCY, 1993; SCHUELLER, 1992; GOERING & HAN, 1993). Uma importante vantagem desse sistema é o fato de estar identificando a necessidade e aplicando o insumo sem lapso de tempo, o que em muitos casos é uma fonte de variação. A rigor o sistema não necessita de um método de localização, no entanto, o registro da aplicação é uma informação histórica importante, o que demanda um sistema de localização e medição do fluxo do insumo aplicado.

O sistema de aplicação localizada de insumos controlada por mapa, representado na Figura 2b, divide o campo em isolinhas ou celas e a quantidade a ser aplicada varia entre elas. Esse método exige sistema de localização tanto para a obtenção dos dados quanto para equipar o veículo aplicador e a correspondência entre os dois é crucial para a precisão da aplicação. Nesse caso pode haver comprometimento na qualidade das informações que variam com o tempo. GAULTNEY (1989) alerta para o fato de que esse método exige uma quantidade bastante grande de dados a serem coletados, armazenados e manipulados. Além disso a precisão depende da proximidade entre os pontos amostrais. Por outro lado o controle por mapas permite planejamento e decisões antes da aplicação dos insumos. O autor aponta para o fato de que algumas variáveis como matéria orgânica e drenagem do solo não variam de ano para ano. Isso significa que a não repetição de mapas dessas variáveis se justifica economicamente, uma vez que um mesmo mapa de uma mesma área pode servir a longo prazo.

A combinação dos dois métodos anteriores parece ter as melhores chances no futuro próximo. Um exemplo seria um aplicador de fertilizante equipado com um sensor de nitrato associado ao mapa de propriedades físicas do solo.

Um aplicador de fertilizante nitrogenado líquido foi proposto e testado por WHITNEY et al. (1995) para a cultura do trigo e utilizando sensores de radiação espectral, como descritos por STONE et al. (1995). O aplicador foi composto por vários conjuntos de bicos ao longo de uma barra transversal. Cada conjunto possuía oito bicos que faziam a aplicação em uma linha da cultura. Essa proposta embasou-se na definição do tamanho da cela para aplicação de nitrogênio por cobertura em trigo com a utilização de sensores em tempo real. O tamanho dessa cela, segundo SOLIE et al. (1995), seria de  $0,57 \text{ m}^2$ .

Um pulverizador para aplicação de herbicidas em doses variadas foi desenvolvido por PAICE et al. (1995), na Inglaterra. Os testes mostraram que é possível ajustar a dosagem com uma margem de erro de  $\pm 5\%$  do valor desejado. Quando injetando o princípio ativo, o tempo de retardo entre a injeção e a chegada da mistura nos bicos resultou em  $3,5 \pm 0,5 \text{ s}$ . A distância percorrida entre o comando para uma troca na dosagem e a sua chegada nos bicos girou em torno de 11 m. Esse sistema foi aprimorado e é apresentado por MILLER & STAFFORD (1995), podendo injetar instantaneamente dois tipos de herbicida, imediatamente antes dos bicos e com um tempo de retardo de 0,2 segundos. Tempo de retardo ainda menor (0,1 s) é o que foi alcançado por BENNETT & BROWN (1995) com um sistema que utiliza a injeção do

princípio ativo direta e independentemente para cada bico da barra pulverizadora. MOTZ & SEARCY (1995) utilizaram a técnica de pré-alimentar o sistema com informação de mapa, para compensar o tempo de retardo na injeção direta de defensivos agrícolas.

A variabilidade espacial de plantas invasoras tem induzido a novas técnicas por parte da indústria. HOLMBERG (1996) reporta experiências de várias companhias produtoras de herbicidas que a partir de 1993-94 vem testando aplicação com doses variadas de seus produtos. As doses normalmente baseiam-se na variação do índice de matéria orgânica e CTC (capacidade de troca catiônica) do solo. KVIEN et al. (1995) também descrevem experiências com a aplicação localizada de herbicida em culturas como soja, amendoim e algodão. Eles geraram os mapas de localização das áreas infestadas por meio de deslocamento com veículo equipado com DGPS e um software de mapa. Com esses mapas, o computador de bordo do aplicador comanda a aplicação localizada.

GANDRUD et al. (1993) descrevem um sistema que governa a aplicação de materiais granulados a lanço pelo controle da rotação do mecanismo dosador. No entanto pouca informação é dada a respeito do desempenho do equipamento. ANDERSON (1995b) menciona que em 1987 já era disponível no mercado americano uma semeadora pneumática de fluxo contínuo com variação do fluxo de sementes por atuador linear de acionamento manual. Motores hidráulicos substituíram os atuadores lineares nesse mesmo produto em 1994. Ele passou a ser também equipado com DGPS e mapeamento digital do campo para aplicação localizada de outros materiais sólidos como fertilizantes.

Um sofisticado sistema de aplicação localizada de sólidos ou líquidos é descrito por MONSON (1995). O sistema de controle é acoplado a veículos aplicadores que são equipados com tanques para aplicação simultânea de até 9 produtos secos, ou tanques para até 6 produtos líquidos.

Um sistema relativamente simples de regulagem de dosadores para semeadoras de fluxo contínuo foi proposto por BAHRI (1995). Ele propôs, inicialmente, um atuador hidráulico que aumentava ou diminuía o fluxo de sementes de trigo dentro dos dosadores de cilindro canelado. Numa segunda etapa foi proposto um sistema acionador independente da velocidade linear da máquina. Foi utilizado um moto-variador controlado por um potenciômetro. O tempo de resposta ao comando de variação do fluxo de sementes foi de 5,6 s no primeiro sistema e de 3 a 9 s para o segundo sistema, dependendo da magnitude da mudança.

A mudança de variedades para diferentes condições de solo e relevo pode ser uma alternativa em algumas culturas. WHITE et al. (1996) propuseram uma semeadora de fluxo contínuo com três compartimentos de sementes para três variedades de trigo. A seleção das variedades é feita em função do relevo do terreno. O sistema, monitorado por DGPS, aciona a troca de variedades com a máquina em operação, no campo.

Também a aplicação localizada de água e nutrientes, via irrigação por pivô central, já foi proposta. CAMP & SADLER (1995) equiparam dois pivôs com um sistema que subdivide sua extensão em setores de 10 m de comprimento, sendo então possível tratar cada pequeno setor da lavoura individualmente, variando vazão e velocidade de avanço do pivô.

## **Sistemas de localização no campo**

A agricultura de precisão tem como premissa a aplicação localizada dos insumos e na dose correta. É imprescindível a correta localização do equipamento de campo para a coleta de dados em tempo real como produtividade, características físico-químicas do solo ou coleta de amostras para posterior análise. Da mesma forma, a determinação da localização do aplicador é crítica para a deposição da correta dose de fertilizantes, corretivos, sementes e defensivos.

SCHUELLER (1992) sugere o agrupamento dos sistemas de localização em três grupos: 1. direção e distância; 2. triangulação de ondas eletromagnéticas e 3. satélite (LORAN-C, GPS, GLONASS). ROCKWELL & AYERS (1994) descreveram um método de localização de veículos no campo baseado em um sistema que utiliza um sensor de distância e um outro de ângulo de esterçamento. Concluíram que a precisão desse sistema é limitada, resultando em erros não compatíveis com a aplicação localizada. Também descreveram um sistema de localização por triangulação de microondas eletromagnéticas que são refletidas e retornadas ao veículo para determinação do seu posicionamento. Obstáculos como construções, árvores e elevações podem bloquear o sinal e significam sérias limitações desse sistema.

De acordo com SHROPSHIRE et al.(1993) e SCHUELLER (1992) GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global) é considerado hoje o sistema mais adequado de posicionamento para aplicações agrícolas. O sistema compara o sinal emitido por satélites e aquele gerado no receptor de GPS. A partir da posição conhecida dos satélites e o tempo que o sinal demora para percorrer a distância entre os dois, o receptor determina a sua posição na superfície da terra (latitude, longitude e altitude). Esse sistema já oferece precisão abaixo de 1 m em alguns conjuntos de equipamento e, de maneira geral, na ordem de 1 a 5 m, com o uso de GPS diferencial (DGPS), o que é considerado suficiente na maioria das aplicações em agricultura de precisão.

## **Análises e considerações econômicas**

Como a prática de agricultura de precisão implica em assumir novos custos com investimento em equipamentos e instrumentação, a linha do lucro deve ser identificada de alguma maneira. Como a tecnologia dos equipamentos envolvidos evoluiu numa velocidade muito grande, a obsolescência passa a ser um custo adicional importante. Para LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1995) esses equipamentos podem ser considerados ultrapassados depois de dois ou três anos.

FIXEN (1994) analisou o que denominou de potencial de produtividade do solo, com base nas suas características químicas. Observou casos em que a variabilidade espacial de pH, P e K reduziu o potencial de produtividade do solo em algumas áreas a 73% e a média geral das áreas amostradas ficou em 88%, quando consideradas como áreas uniformes.

HAMMOND (1994) observou que em várias áreas testadas não houve economia de fertilizante. O que houve foi uma diminuição significativa no erro de dosagem, ou seja, extensas áreas receberiam menos do que o recomendado e outras mais, se em aplicação convencional (uniforme). Uma análise com celas de 4, 1 e 0,25 ha em

aplicação localizada de fertilizantes mostrou que a cela de 4 ha resultou no maior lucro em um estudo de caso em Illinois, EUA (HORNBAKER et al. 1993).

O custo da aplicação localizada, incluindo a amostragem e análise, varia em função do quadriculado das amostragens e cresce rapidamente para celas com menos de 60 m de lado, conforme demonstrado por WOLLENHAUPT & WOLKOWSKI (1994b). Trabalhando em pequenas parcelas, STONE et al. (1995) fizeram comparações entre aplicação fixa e variada de nitrogênio em trigo. Embora não tenham observado diferença significativa em produtividade, obtiveram redução na aplicação de nitrogênio de até 50%.

Uma abordagem bastante abrangente da resposta econômica das técnicas de agricultura de precisão é apresentada por LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1995). De uma análise de vários estudos do gênero, ficou evidente a incipiente quantidade de informação e inadequada metodologia adotada na maioria dos trabalhos. De maneira geral os custos da obtenção das informações e do treinamento do pessoal envolvido não foram considerados. Problemas como alta fertilidade inicial das áreas experimentais resultaram em ganhos desprezíveis em produtividade, restando como maior benefício a economia na aplicação de fertilizantes de baixo custo. A diluição de custos fixos em períodos curtos e fixação de quadriculados muito pequenos para as amostragens também contribuíram para a obtenção de custos elevados. De maneira geral os resultados econômicos levantados não apontaram lucratividade.

WHITNEY et al. (1995) fizeram simulações e uma análise econômica da aplicação localizada de nitrogênio em cobertura em trigo, guiada por sensor em tempo real e a compararam com a aplicação de taxa uniforme. Considerando o custo do fertilizante e a perda de produtividade causada pela deficiência de nitrogênio, sugeriram que a aplicação uniforme resultaria em um custo direto e indireto de 26,85 dólares por hectare maior que a aplicação localizada com celas de 0,56 m<sup>2</sup>. Esse valor representa 75% do custo da adubação nitrogenada em questão.

Em muitos casos a aplicação localizada de insumos deve ser considerada após uma boa análise das condições correntes. Uma interessante análise econômica é feita por YULE & CROOKS (1996) a respeito das perdas em culturas como trigo e cevada como consequência da falta de uma regulação apropriada em aplicadores de fertilizantes a lanço, na Inglaterra. Coeficientes de variação (CV) na distribuição transversal da ordem de 7,6% resultaram em benefício econômico da ordem de 15 a 17 libras esterlinas por hectare quando comparados com máquinas mal calibradas e com CV da ordem de 28,9%.

Como foi apontado por LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1995), a definição do nível de detalhamento necessário para a tomada de decisões, bem como a escala temporal e espacial para a coleta de dados são questões ainda sem uma resposta precisa e que afetam sensivelmente o custo do sistema e conseqüentemente, a sua rentabilidade. Os mesmos autores apontam para mudanças que poderão advir e que devem ser consideradas como hipóteses a serem observadas na medida em que a tecnologia for se desenvolvendo para então serem quantificadas e seus efeitos incorporados nas análises de custos. A agricultura de precisão terá um efeito agregador, resultando em aumento do tamanho das propriedades em função da automação na coleta de dados e tomada de decisões. Da mesma forma, a vinculação direta entre produtores, fornecedores de insumos e transformadores da produção poderá gerar novos e mais eficientes métodos de produção.

## CONCLUSÕES

A tomada de decisão com relação às dosagens de insumos a serem aplicados na produção agrícola tende a mudar seu curso nos próximos anos. As recomendações tendem a basear-se na variabilidade espacial detectada por sensores específicos. Esses procedimentos geram enormes quantidades de dados que só podem ser tratados por métodos computacionais relativamente sofisticados.

A partir da análise de dados e decisão da devida dosagem os insumos podem então ser aplicados de maneira localizada e com dosagens embasadas na variabilidade espacial observada. Vários métodos de aplicação localizada de diferentes insumos vem sendo propostos e alguns já estão disponíveis no mercado.

Questionamentos com relação ao aspecto econômico da nova tecnologia continuarão, tendo em vista a incipiência das informações disponíveis. Os resultados sugerem que a agricultura de precisão será uma técnica sem grandes generalizações, exigindo o estudo detalhado de cada caso, tanto na tomada de decisões para a aplicação localizada dos insumos, bem como na interpretação dos resultados financeiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, N. W. *Soil sampling for site-specific farming*. St. Joseph, ASAE Paper 95-1751, 7p. 1995a.
- ANDERSON, N. W. *The Terranova VRS variable rate system*. St. Joseph, ASAE Paper 95-1754, 7p. 1995b.
- BAHRI, A. *Modulating wheat seeding rate for site specific crop management*. Lincoln, 1995. 157p. Tese (PhD Dissertation) - University of Nebraska-Lincoln.
- BENNETT, K. A., BROWN, R. B. *Improving direct injection for spatially variable herbicide application*. St. Joseph, ASAE Paper AETC 95-106, 16. 1995.
- BLACKMORE, S. Precision farming: an overview. *Agricultural Engineer*, St. Joseph, Autum 1994, p.86-88.
- BULLOCK, D. G., HOEFT, R. G., DOLMAN, P., MACY, T., OLSON, R. Nutrient management with intensive soil sampling and differential fertilizer spreading. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v.78, n.4, p.10-2, 1994.
- CAMP, C. R., SADLER, E. J. Site-specific center pivot irrigation system. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE,1995, p.15.
- DRUMMOND, S. T., SUDDUTH, K. A., BIRRELL, S. J. *Analysis and correlation methods for spatial data*. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-1335, 22p. 1995.

- FIXEN, P. E. Site-specific management impacts P and K use and productivity. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v.78, n.4, p.3-4, 1994.
- GANDRUD, D., WOLFF, G., HAUGEN, N. *Computer controlled metering of granular material*. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1549, 14p. 1993.
- GAULTNEY, L. D. Prescription farming based on soil property sensors. St. Joseph, ASAE Paper No. 89-1036, 9p. 1989.
- GOERING, C. E. e HAN, S. *A field information system for SSCM*. Warrendale, SAE Paper No. 932422, 13p. 1993.
- HAMMOND, M. W. Comparison of phosphorus and potassium utilization with conventional and variable fertility management. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v.78, n.4, p.22-3, 1994.
- HEATWOLE, C. D. *Introduction to Geographic Information Systems*. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1996, Phoenix. Continuing Education Session # 10. (Notas do curso).
- HEINIGER, R. W. e BRAKE, S. Large-scale precision farming: balancing the books and the environment. *GPS World*, suplemento "Precision Farming", Eugene, julho 1996, p.18-23.
- HOLMBERG, M. Variable rates with consistent control. *Successful Farming*, Des Moines, p.34-5, fevereiro 1996.
- HORNBAKER, R. H., HERTZ, C. A., HIBBARD, J. D. *A preliminary assessment of the economics of variable rate technology for applying phosphorus and potassium in corn production*. Urbana: Farm Economics Facts & Opinions, Cooperative Extension Service, University of Illinois at Urbana-Champaign, outubro 1993. 6p. (Issue 93-14).
- HOOGENBOOM, G., LAL, H., GRESHAM, D. D. *Spatial yield prediction*. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-3550, 11p. 1993.
- KVIEN, C., WATERS, D., USERY, L. Farming in the information age. *GPS World*, suplemento "Precision Farming", Eugene, p.10-19, dezembro 1995.
- LOWENBERG-DEBOER, J., SWINTON, S. M. *Economics of site-specific management in agronomic crops*. W. Lafayette: Purdue University, 1995, 25 p. (Staff Paper 95-14).
- MILLER, P. H., STAFFORD, J. V. Patch spraying for cost effective weed control. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE, 1995. p.22.

- MOTZ, D. S. e SEARCY, S. W. Performance of a map-based precision sprayer. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE,1995. p.24.
- MOTZ, D. S., SEARCY, S. W., NEUHAUS, P. E. *PC-MAPS, a tool for site specific crop management*. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-3556, 9p. 1993.
- MONSON, R. J. *The Falcon control system for Soilection*. St. Joseph, ASAE Paper 95-1753, 20p. 1995.
- NEUHAUS, P. E., SEARCY, S. W. *Variable planting density and fertilizer rate application system*. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1554, 14p. 1993.
- PAICE, M. E. R., MILLER, P. C. H. e BODLE, J. D. An experimental sprayer for the spacially selective application of herbicides. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v.60, p.107-16, 1995.
- ROCKWELL, A. D., AYERS, P. D. Variable rate sprayer development and evaluation. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v.10, n.3, p.327-333, 1994.
- SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production. *Fertilizer Research*, The Hague, v.33, p.1-34, 1992.
- SHROPSHIRE, G. J., PETERSON, G. J., FISHER, K. *Field experience with differential GPS*. St. Joseph , ASAE Paper No. 93-1073, 14p. 1993.
- SOLIE, J. B., RAUN, W. R., WHITNEY, R. W., STONE, M. L., RAUN, W. R., RINGER, J. D. *Agronomic based field element size and sensing strategy for nitrogen application*. St. Joseph, ASAE Paper No. AECT 95-131, 17p. 1995.
- STONE, M. L., SOLIE, J. B., RAUN, W. R., TAYLOR, S. L., RINGER, J. D., WHITNEY, R. W. *Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat*. St. Joseph, ASAE Paper No. AECT 95-133, 37p. 1995.
- TIM, U. S., N'JIE, N-M., LIAO, H-H. *GIS software development: speculation of what the future holds in store*. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-3616, 16p. 1995.
- USERY, E. L., POCKNEE, S., BOYDELL, B. Precision farming data management using Geographic Information Systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Falls Church, v.61, n.11, p.1383-91, 1995.
- WHITE, J. L., WHITCRAFT, J. C., THOMPSON, J. C., PETERSON, C. L. *A variable variety grain drill for wheat production*. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1021, 24p. 1996.

WHITNEY, R. W., STONE, M. L., SOLIE, J. B., RAUN, W. R. *Influence of variable-rate system design on gross economic return*. St. Joseph, ASAE Paper No. AECT 95-138, 19p. 1995.

WOLLENHAUPT, N. C., WOLKOWSKI, R. P., CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v.7, n.4, p.:441-8, 1994.

WOLLENHAUPT, N. C., WOLKOWSKI, R. P. Grid soil sampling. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v.78, n.4, p.6-7-9, 1994a.

WOLLENHAUPT, N. C., WOLKOWSKI, R. P. Cost associated with variable rate phosphorus and potassium applications. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v.78, n.4, p.8-9, 1994b.

YULE, I. J., CROOKS, E. Precision farming: the price of imperfection - a case study using fertilizer diistribution. *Landwards*, London, Spring 1996, p.5-9, 1996.

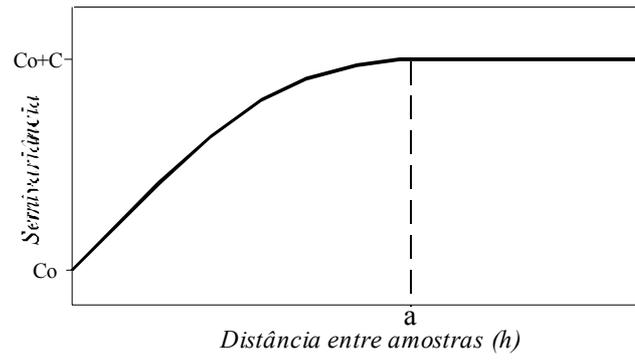


FIGURA 1. Exemplo de um semivariograma mostrando os parâmetros envolvidos na equação da semivariância.

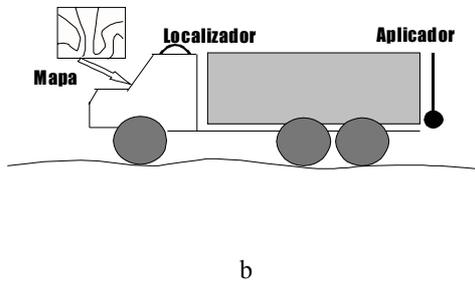
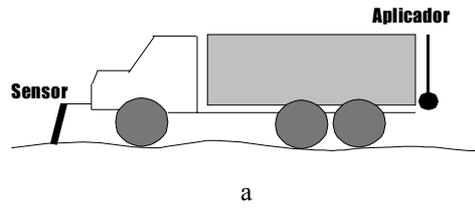


FIGURA 2. Esquema de um sistema automático em que o sensor controla o sinal para o aplicador em tempo real (a) e de um sistema de aplicação de insumos controlada por mapa digitalizado (b).