

VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO EM PLANTIO DIRETO¹

R. L. GOMIDE²

INTRODUÇÃO

Dentre as questões levantadas pelos técnicos e agricultores quando se avalia a conveniência de implementar as técnicas de agricultura de precisão, usualmente questiona-se sobre qual a expectativa de aumento da renda líquida que se espera obter com a adoção desta tecnologia. Uma vez que toda intervenção no processo produtivo implica em alterações nos custos e nos benefícios, torna-se importante avaliar a magnitude destas mudanças com vistas a subsidiar o processo de decisão. Sem considerar as implicações externas envolvidas na adoção desta técnica, espera-se que, pelo lado dos benefícios, deva haver um incremento proveniente do aumento de rendimento e da redução de custos. Uma das vantagens oferecidas pela agricultura de precisão é a possibilidade de medir, identificar, ordenar e interferir, no momento oportuno, nos fatores que limitam os rendimentos.

A agricultura de precisão permite, pelo uso de delimitação de lavouras por coordenadas georreferenciadas, um planejamento mais racional do manejo de nutrientes, pragas, doenças, umidade do solo e plantas daninhas, além de seleção de cultivares em função de sua adaptabilidade às diferentes condições identificadas nas áreas cultivadas. A expectativa de redução de custos está principalmente relacionada ao fato de que os insumos agrícolas somente serão aplicados onde de fato se faz necessário e não, indiscriminadamente, em toda a extensão da área cultivada como tradicionalmente é feito.

Pelo lado dos custos envolvidos na agricultura de precisão pode-se destacar aqueles relacionados à obtenção de informações, análise das informações e à implementação de mudanças. Nos custos relativos à obtenção de informações, destacam-se equipamentos e software, gerenciamento, serviços contratados, dentre outros. É fundamental, portanto, que se quantifique adequadamente todos os custos e todos os benefícios advindos da implementação desta tecnologia. O critério relevante que sinaliza no sentido de adota-la é, obviamente, que os benefícios sejam maiores ou, pelo menos, iguais aos custos. Outro aspecto relevante, embora, muitas vezes, de difícil quantificação, diz respeito à fatores externos. Dentre eles, destacam-se a preservação ambiental e a melhoria no sistema gerencial. A preservação ambiental esta diretamente relacionada à utilização racional de fertilizantes, defensivos agrícolas e água de irrigação. Com relação à melhoria no sistema gerencial, é de se esperar que o rigoroso controle requerido no exercício da agricultura de precisão irá gerar grande número de informações relevantes, até então desconhecidas, e que poderão ser usadas pelo segmento responsável pela gerência da atividade.

O objetivo desta palestra é elaborar análise de custo/benefício da implementação das técnicas de agricultura de precisão. Especificamente, buscar-se-á avaliar, em termos econômicos, as técnicas alternativas de monitoramento e intervenção que conduzam ao maior incremento na renda líquida. Para isso, usar-se-á como exemplo os resultados do trabalho de um grupo de pesquisadores de diferentes instituições conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, onde se busca estudar a viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão em uma área irrigada por pivô central (38 ha), cultivada sob condições de plantio direto, onde esta sendo realizado o monitoramento georreferenciado de alguns atributos do sistema de produção relacionados ao contínuo solo-planta-atmosfera, procurando identificar e quantificar aqueles atributos que melhor descrevem a variabilidade da área cultivada. A análise de viabilidade econômica de emprego de técnicas de agricultura de precisão neste sistema de produção esta sendo conduzida por meio de levantamento de todos os custos envolvidos no processo de implementação destas técnicas, cobrindo alternativas em todas as etapas, desde o diagnóstico e mensuração dos fatores limitantes de rendimento, até o acompanhamento de

¹ Palestra escrita para apresentação no XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001, Mabu Hotel & Resort, Foz do Iguaçu-Paraná, 31 de julho a 03 de agosto de 2001.

² Engenharia de Sistemas Agrícolas: instrumentação e automação, Ph.D. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

todas as fases do sistema de produção até a colheita. Na apropriação dos custos do sistema de produção estão sendo considerados tanto os custos fixos quanto os variáveis.

DEMANDA PARA UTILIZAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

No Brasil, principalmente nos últimos dez anos, os processos e sistemas de produção agrícolas têm sido os principais focos de interesse no que concerne o controle e a sistematização de coleta e uso de dados e informações. Isso requer inevitavelmente a utilização de tecnologia envolvendo a instrumentação, a automação e o sensoriamento remoto. As fotografias aéreas têm sido bastante empregadas para planejamento agrícola, mapeamento de solos e de uso da terra e, também, previsão de safras. Com o advento dos satélites de recursos naturais, de maior resolução, um grande avanço vem ocorrendo às aplicações em projetos agrícolas de larga escala e em estudos de cultivos extensivos com relação ao monitoramento de atributos de sistemas de produção. Mais recentemente, com a tecnologia de agricultura de precisão é possível a organização e manutenção de bancos de dados espaciais e temporais que são importantes para o desenvolvimento de técnicas visando o uso racional de recursos naturais e insumos agrícolas, com conseqüente redução de custos dos sistemas de produção e impactos ambientais, assegurando a sustentabilidade do empreendimento.

Na agricultura de precisão, a variabilidade do solo no campo é um dos fatores mais importantes, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e de água para as culturas. Isso demanda a coleta automática de dados e informações georreferenciados, requerendo a utilização intensiva do sistema de posicionamento global (GPS). A princípio é muito importante o estabelecimento do nível de precisão requerida para o GPS. Daí, um dos primeiros passos, é a obtenção do mapeamento da área agrícola explorada, principalmente no que concerne ao tipo de solo, fertilidade, pH, disponibilidade de água e nutrientes, dentre outros, uma vez que esses dados vão servir de base para todas as análises e interpretações da área cultivada, vindo a constituir em informações para o gerenciamento e operação de sistemas de produção.

Os mapas de produtividade, obtidos por meio de combinadas equipadas com antena GPS e sensores eletrônicos para medição de fluxo de massa e teor de umidade de grãos, são também excelentes fontes de informação e diagnóstico das condições de produção encontradas nas áreas cultivadas. É importante ressaltar que variações das condições climáticas local podem ser a razão da variação de produtividade em uma mesma área de um ano agrícola para outro. A quantificação dessa variabilidade, tanto espacial quanto temporal, permite identificar áreas com maior potencial produtivo, nas quais pode valer a pena um maior investimento em insumos agrícolas para maximização da produtividade. Quanto às áreas com menor potencial produtivo, medidas corretivas visando a melhoria da produtividade, podem ou não ser tomadas, dependendo do fator a ser corrigido e da viabilidade econômica da correção. Sistemas de informação geográfico (SIG) estão sendo utilizados para o armazenamento, tratamento, análise, interpretação e visualização das informações espaciais coletadas nas áreas. A análise dos dados permite a racionalização dos recursos naturais e a otimização de uso e aplicação de insumos agrícolas, por meio da geração de mapas de aplicação localizada destes insumos, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal encontrada nas áreas cultivadas. Com isso é possível a aplicação de quantidade correta de insumos de forma diferenciada em toda a extensão da área (aplicação com taxa variada).

IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Com o advento da mecanização de várias práticas culturais, de diferentes sistemas de produção agrícola, principalmente os de larga escala, extensas glebas cultivadas têm sido tratadas de maneira uniforme. Isso traz a tona um dos maiores problemas que os técnicos e agricultores enfrentam para traçar um plano de gerenciamento e estratégias de manejo destes sistemas, a variabilidade espacial e temporal do solo com relação a determinadas características físico-químicas e biológicas dessas áreas. De modo geral, a aplicação de fertilizantes, de água e de defensivos agrícolas é feita em toda a extensão do campo com base em valores médios de fertilidade, de disponibilidade de água no solo e de incidência de pragas e doenças. Isto faz com que áreas com maiores níveis de fertilidade e

disponibilidade hídrica no solo sejam adubadas e irrigadas em excesso, respectivamente, e áreas com solos menos férteis e menor conteúdo de umidade não sejam corrigidas aos níveis desejados. O mesmo ocorre com as taxas de aplicação de agroquímicos para o combate as pragas, plantas daninhas e doenças que são geralmente calculadas com base no maior grau de infestação, resultando na aplicação excessiva em áreas com baixos níveis de infestação. A adoção de tratamento uniforme destas práticas, com base em valores médios de parâmetros usados no manejo, resulta em perdas econômicas para os agricultores, além de provocar danos ao meio ambiente, como a contaminação dos recursos hídricos (lençol freático, rios, lagos). O reconhecimento desta grande variabilidade está na própria divisão destas áreas em campos menores, numa agricultura mais avançada, com o objetivo de se buscar sítios específicos com características mais homogêneas. Os problemas resultantes da variabilidade espacial, mesmo em áreas mais extensas, podem ser contornados com o uso de técnicas de agricultura de precisão, visando a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas pelas culturas.

A agricultura de precisão requer o investimento em instrumentação e automação de processos e sistemas agrícolas. Este investimento é ainda muito incipiente no Brasil. Com o uso de microprocessadores, sensores, atuadores, "dataloggers", dispositivos de microeletrônica, GPS, sensoriamento remoto e microcomputadores portáteis é possível melhorar este quadro e buscar alternativas para o desenvolvimento e melhoria de sistemas de produção agrícola, visando a aquisição, a transferência e o armazenamento de dados, bem como o controle e a automação desses sistemas. O objetivo maior é melhorar o rendimento, a qualidade e o custo do produto final, de tal forma que o mesmo seja mais competitivo no mercado.

Partindo-se da premissa de que os recursos naturais são finitos, muitos dos quais não são renováveis, que os preços de insumos agrícolas têm aumentado e que a competitividade de mercado tem se tornado mais acerrada com a globalização, pode-se deduzir e aferir que qualquer sistema de exploração desses recursos precisa ser cada vez mais eficiente, em termos de uso de insumos, de melhoria da qualidade de vida e de conservação ambiental. Daí a agricultura de precisão passa a ter um papel cada vez mais relevante para possibilitar intervenções nesses sistemas, de tal modo que os mesmos tornem sempre mais aprimorados e competitivos. Critérios de decisão, como por exemplo, o de quando aplicar a água de irrigação e das quantidades de água requeridas pelos sistemas agrícolas irrigados podem ser melhor estudados por meio de sistemas de monitoramento automático da necessidade hídrica e do status de água das plantas, fazendo uso de sensoriamento remoto. As medições automáticas requerem registros de elementos ambientais do sistema solo, água, planta e atmosfera, possibilitando investigações relacionadas a evaporação de água do solo, transpiração das plantas e sensibilidade ao estresse hídrico ao longo do ciclo da cultura. As informações e os conhecimentos obtidos levam ao uso e o manejo mais eficiente dos recursos água, solo, nutrientes e energia. Além da condução de pesquisas que visem o aprimoramento desses sistemas agrícolas, é também fundamental que os resultados obtidos sejam disponibilizados de forma eficiente e ágil, para permitir sua utilização subsequente pelos vários setores envolvidos na cadeia produtiva. Dentro dessa ótica, a elaboração de bancos de dados bem estruturados e de fácil acesso é tão importante quanto a obtenção dos dados.

HISTÓRIA E ESTADO DA ARTE DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

A primeira companhia a produzir uma máquina comercial para mapeamento de produtividade de grãos foi a Massey Ferguson, possibilitando o monitoramento instantâneo de todas as operações realizadas pela máquina de colheita, gravando as informações relativas a tempo e localização da produtividade (latitude e longitude). Em seguida, vieram os projetos da John Deere, Case, AGCO e New Holland, que estão disponíveis nos mercados Europeu e Norte Americano e, mais recentemente, no Brasil. Para os sistemas de monitoramento instantâneo de produtividade de grãos, os seguintes componentes são encontrados na maioria das combinadas, disponíveis no mercado mundial, que operam dentro do conceito de agricultura de precisão: sensores para medir o fluxo de grãos, o teor de umidade de grãos e a velocidade de colheita, indicador da posição do cabeçote de colheita, monitor de funções das operações e antenas GPS.

Os métodos para medir fluxo de grãos variam, mas a maioria dos sistemas usados para monitorar produtividade de grãos é montada na trajetória do fluxo de grãos limpos, onde geralmente o sensor é montado no topo do elevador de canecas. Um sensor do tipo capacitância é o mais usado para medir o teor de umidade dos grãos. Com relação a medição da velocidade de deslocamento da combinada, quatro tipos de sensores são disponíveis no mercado: a) No eixo da roda motriz, sensores magnéticos medem a velocidade, registrando os giros do eixo da roda motriz. Entretanto, este método está sujeito a erros, devido ao problema de patinagem das rodas. Além disso, a deflexão do pneu devido a carga que o depósito da máquina vai recebendo, durante a colheita, reduz o raio de rolamento das rodas motrizes; b) Radar, o radar é um sensor montado na estrutura da combinada, próximo ao solo, que emite um sinal de microondas direcionado para o solo, o qual é refletido de volta, após atingir o solo e, com o movimento relativo estabelecido entre a combinada e o chão, produzirá uma mudança de frequência no sinal, que é captado pelo sensor de velocidade. A precisão da leitura pode ser afetada pela rugosidade da superfície, produzida por restos de cultura ou plantas daninhas; c) Ultrassom, o ultrassom é um sensor montado na estrutura da combinada, próximo ao solo, que emite ondas de som de alta frequência, direcionado para o solo, que é refletido de volta, e com o movimento relativo estabelecido entre a máquina e o chão produzirá uma mudança de frequência no sinal, captado pelo sensor de velocidade; d) GPS, o sistema de medição de velocidade calcula o deslocamento da combinada baseado no efeito do movimento do veículo, pelas ondas de frequência de sinal de rádio, que são recebidas pelo satélite. Neste caso, a precisão da estimativa da velocidade está relacionado com a precisão de posicionamento do aparelho de recepção do sinal.

O indicador de posição do cabeçote de colheita é um sensor que emite um sinal para o monitor quando o cabeçote de colheita está na posição levantada, mostrando a interrupção de colheita, como por exemplo nas viradas no final das linhas. Este sensor ajuda a controlar o cálculo da área colhida, evitando que o sistema de monitoramento de grãos colhidos seja desligado, emitindo apenas um sinal de interrupção de coleta, no mapa de colheita, a posição.

O monitor de funções de operações é montado na cabina da combinada, ao qual é conectado todos os sensores, permitindo monitorar todas as operações que estão sendo medidas na máquina, para o cálculo do mapa de produtividade de grãos. Além disso, este monitor permite ao operador fornecer informações ao sistema, quando por exemplo, um sensor de largura de cabeçote de corte não for instalado, mas que seja importante no cálculo da produtividade. Uma outra possibilidade é a referência do campo que está sendo colhido, fornecendo um nome do local para posteriormente facilitar na avaliação do mapa comparativo de produtividade de grãos.

As antenas GPS determina a posição da máquina com base na medida da distância entre o aparelho receptor e os satélites no espaço. Cada satélite transmite um sinal contendo sua posição e o tempo. O aparelho receptor determina o tempo que o sinal leva entre satélite e o receptor. Os erros na determinação da distância entre os satélites e o receptor são devidos a erros na determinação do tempo pelo aparelho receptor, na posição e no tempo emitido pelo satélite e na transmissão do sinal.

Durante a colheita mecânica, os sistemas de coleta, armazenamento e tratamento de dados são utilizados como unidade de processamento. Nesta unidade, um programa de processamento e análise dos dados, o SIG, é usado no tratamento das informações e é composto de unidade de processamento com bastante capacidade de memória e armazenamento, utilizando computadores de alta resolução, digitalizadores e impressoras ou plotters. Basicamente, são as seguintes etapas do SIG: coleta, armazenamento e elaboração de uma tabela de dados, com latitude, longitude, teor de umidade, produtividade (kg/ha), transformação dos dados e análise e interpretação dos dados.

Os mapas de produtividade de grãos são produzidos através das informações recebidas dos sensores instalados na combinada, processados por um software (SIG), referenciados por um sistema de posicionamento (GPS) e integrado a um sistema de armazenamento de dados de produtividade. Para facilitar o entendimento deste mapa, em uma área de estudo, geralmente é indicado as diferenças de produtividade de grãos por meio de cores. Um fato importante a ser considerado neste mapa é a indicação da variabilidade espacial da área, onde as intervenções feitas na condução do sistema de produção da cultura, como por exemplo no caso de fertilizantes, tornam-se evidentes. Este mapa da área colhida, é usado na divisão da área em diferentes sítios específicos e também na obtenção de informações de campo, para posteriormente poder intervir nesta área, de forma diferenciada. Este modelo de intervenção caracteriza a agricultura de precisão e permite uma série de operações

subsequentes a serem realizadas, de forma bastante precisa, em razão da tecnologia disponível para os equipamentos agrícolas.

No que diz respeito a viabilidade econômica, os estudos envolvendo o uso de técnicas de agricultura de precisão têm focado mais as mudanças no custo de entrada de insumos agrícolas, tais como fertilizantes, herbicidas, etc., e ignorado os custos de investimentos. O custo de capacitação de "capital humano" é freqüentemente omitido, e esses podem incluir as taxas relativas a workshop e cursos de curta duração. Os custos fixos anuais envolvem os custos relativos às ferramentas disponíveis para agricultura de precisão e dependem diretamente do preço e vida útil dos equipamentos, softwares, banco de dados e a destreza do operador para manejar os equipamentos. Até o momento, a adoção da técnica de agricultura de precisão não tem sido vantajosa financeiramente com as culturas de soja, milho e trigo, exceto com as culturas de elevado retorno financeiro, tais como hortaliças, batata e sementes.

Os sensores de umidade, baseados na reflexão e luz, são similares aos sensores de matéria orgânica e também podem ser baseados em propriedades elétricas. A resistência elétrica pode ser relacionada com o teor de umidade do solo. Entretanto, outros fatores tais como textura e concentração de sal também afetam as propriedades elétricas. A chave para correlacionar as propriedades elétricas às propriedades tais como umidade, está nos métodos usados para análise dos sinais dos sensores. A maioria dos sensores para medir matéria orgânica se baseia na reflexão da luz pela superfície do solo, sendo esse um método que tem a vantagem de ser relativamente simples e que tem provado ser útil na tecnologia de aplicação variável. Dependendo do teor de matéria orgânica, o solo se apresenta com cor tendendo para o marrom, o que permite claramente a distinção do verde refletido pela folhagem das plantas. Quanto mais escura for a cor do solo, maior o teor de matéria orgânica e menor a quantidade de luz recebida por reflexão pelo sensor. O primeiro sensor ótico utilizado na avaliação do teor de matéria orgânica no solo, baseava-se na reflexão de uma estreita faixa de luz infravermelha (1630 a 2650 nm, com 52 nm de banda de passagem), e destinava-se a controlar a taxa de aplicação de herbicida pré-emergente no solo. A energia difusamente refletida pela superfície do solo era capturada por um fotodetector, condicionada por um pré-amplificador de tensão alternada, convertida em tensão digital e armazenada em um computador, sendo o coeficiente de determinação em relação ao valor real do teor de matéria orgânica tão elevado quanto 0,89 (SUDDUTH, et al., 1994).

Os sensores de fertilizantes para determinação das quantidades de nutrientes no solo, à medida em que a máquina se desloca no campo, especialmente os nutrientes altamente lixiviáveis, como é o caso do nitrogênio, apresentam grande potencial para sensível benefício econômico. Neste particular, existe um sensor comercial que mede os nutrientes potenciais e é utilizado como parte de sistema automático de aplicação variável de nitrogênio. Esse sensor mede a impedância elétrica dentro de um volume de solo. O sinal elétrico é correlacionado com a concentração de íons na solução do solo. Entre os íons que afetam a leitura do sensor está o nitrato (NO_3^-).

Os sensores de plantas daninhas que detectem com precisão, em tempo real, os pontos de infestação (como também pode ser o caso para doenças ou pragas), podem ser usados para controle da taxa de aplicação de agroquímicos, o que resulta em menor consumo do produto e menor contaminação do meio ambiente (pulverização somente sobre o local infestado). FELTON et al. (1991) estudaram o reconhecimento de ervas daninhas baseados na forte reflexão, da luz infravermelha próxima, por plantas verdes, e a fraca reflexão pelo solo e matéria morta. Um emissor de radiação infravermelha foi colocado na estrutura da máquina e em cada bico pulverizador existia um sensor que transmitia a informação da existência, ou não, de erva daninha na rua da cultura. Solenóides controlados por uma CPU comandavam a abertura dos bicos de pulverizadores, resultando numa redução de 90% da área pulverizada e mais de 90% de ervas daninhas mortas. Sabe-se também que plantas com deficiência de nutrientes, ou doenças, refletem a luz de forma diferente de plantas saudáveis, o que pode permitir o uso destes tipos de sensores na detecção de deficiências nutricionais ou doenças nas culturas. Vários pesquisadores têm tentado também identificar ervas daninhas no campo, usando câmeras de vídeo de alta resolução acopladas a computadores e softwares apropriados.

No que concerne a distribuição de sementes, algumas culturas são sensíveis ao espaçamento e à população de plantas ou "stand". Equipadas com sensores de umidade, uma semeadora pode colocar a semente a uma profundidade ótima para a germinação baseado no conteúdo de umidade do solo. Uma semeadora com profundidade de plantio variável utiliza um sensor para determinar o teor de água do solo durante a semeadura. Determinando-se o teor de água versus a profundidade, a

semeadora pode automaticamente ser ajustada para semear na melhor profundidade para a germinação. A estrutura da semeadora tem potencial elétrico de terra e um eletrodo isolado da sua estrutura produz um sinal elétrico que é utilizado por uma válvula controlada eletronicamente (EVC), a qual, conhecendo a posição da roda de profundidade (definida pelo transformador diferencial linear variável), aciona o cilindro hidráulico e define a nova posição de acordo com a umidade do solo e os parâmetros do algoritmo de controle.

Semeadoras em linha ou de precisão podem ser transformadas em máquinas de aplicação variável ajustando-se a velocidade angular do mecanismo dosador de sementes. As semeadoras de precisão convencionais utilizam uma roda de terra para acionar o mecanismo dosador e esta é conectada ao mecanismo dosador por meio de uma corrente que proporciona uma relação de transmissão constante entre a velocidade de deslocamento da máquina e o prato dosador ou outro sistema capaz de dosar sementes. Isso faz com que o espaçamento entre sementes seja constante para uma faixa de velocidade de deslocamento. Para semeadoras de precisão, a densidade de sementes depositada no solo é determinada pelo espaçamento entre as linhas de plantio e o espaçamento entre sementes em cada linha. A densidade de sementes pode ser modificada variando-se o espaço entre sementes, uma vez que a distância entre linhas é fixa. A densidade variável de sementes pode ser obtida separando ou desconectando o sistema de dosagem da semeadora da roda de terra. Pelo desacoplamento da roda motriz e do sistema de dosagem, e usando-se um outro mecanismo para gerar o movimento, a densidade de sementes aplicada pode ser variada.

Os aplicadores de defensivos agrícolas, devido as implicações ambientais, hoje possui a sua aplicação de pesticidas com mais precisão e controle. O grande problema enfrentado pelos produtores rurais é que a aplicação do produto a uma taxa inferior à taxa necessária, resulta num controle de pragas e doenças deficitário, e a aplicação a uma taxa excessiva, pode resultar numa ação tóxica para a cultura e o excesso pode permanecer por longo tempo no solo e acabar contaminando espelhos d'água e lençóis freáticos. O problema é sério e piora quando se constata que no campo, o controle da taxa de aplicação de pesticidas é muito precário. Ao avaliar a precisão de aplicação à taxa desejada de 37 pulverizadores a campo, OZKAM (1986) detectou que somente 20% dos pulverizadores estudados estavam com uma taxa dentro de 5% de variação do valor desejado e calibrado. Dos outros pulverizadores, 44% estavam com taxa acima da desejada e 56% abaixo da desejada.

Dentro da filosofia de aplicar somente o necessário e no local exato, as técnicas de aplicação a taxa variável encontram grandes desafios. A aplicação de pesticidas pode ser afetada, entre outras variáveis, pelas condições do solo, cultura e variações climáticas ao longo do ano em determinado local. Se em um ano seco pode ser possível o controle de pragas e doenças por meio de pulverização somente nas áreas em que se sabe estão infestadas ou contaminadas, em anos úmidos pode ser preferível adotar a estratégia de pulverizar uniformemente toda a área.

Diversas possibilidades para controlar a taxa de aplicação de produtos químicos têm sido propostas. O processo tradicional é a pressurização das linhas de aplicação, e bicos, a uma pressão bem maior que a necessária, e a intercalação de uma válvula reguladora de pressão que permite variar seu valor. Para determinado bico, a pressão determina a vazão e o tamanho das gotas pulverizadas. Com o advento da tecnologia aplicação de taxa variável, os pulverizadores tradicionais receberam algumas modificações em seu circuito de pulverização. O depósito ficou somente para colocação de água e o produto ativo passou a ser colocado em um depósito separado, sendo daí introduzido na linha pressurizada por meio de um dosador.

Nos países desenvolvidos, a maioria dos pulverizadores, sejam acoplados a tratores ou automotrizes, já saem de fábrica, ou pode-se adquirir como opcional, com sistemas para aplicação de agroquímicos a taxa variável. O sistema compõe-se de um computador central que por meio de sensores monitora a velocidade de deslocamento e a vazão do produto, e a partir destes dados e da taxa de aplicação desejada controla a pressão de trabalho e a abertura dos bicos de pulverização.

Os sistemas para aplicação a taxa variável devem permitir o controle de infestação de ervas daninhas não uniformemente distribuídas no campo, facilitar a aplicação sob condições variadas de temperatura, vento, velocidades de trabalho, tipo de produto a aplicar e taxas proporcionais às necessidades de cada local. Além disto, estes sistemas devem permitir variar a taxa de aplicação sem alterar as características desejáveis das gotas resultantes da combinação bico/pressão de trabalho, ou seja, o espectro de gotas e ser capaz de identificar corretamente os pontos de aplicação dentro do

campo, seja por meios de sensores que façam isso em tempo real ou por meio de mapas com definição destes pontos.

ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

A avaliação da viabilidade econômica de utilização de técnicas de agricultura de precisão é muito importante, uma vez que possibilita a análise de custo/benefício do emprego dessas técnicas alternativas de monitoramento e intervenção nos sistemas de produção, sendo um indicativo do incremento de renda líquida dos produtores. Um exemplo de análise econômica será discutido com base nos resultados do trabalho de um grupo de pesquisadores, de diferentes instituições, conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, onde buscou-se estudar a viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão em uma área irrigada por pivô central (38 ha), cultivada sob condições de plantio direto (Gomide et al., 2000). Nesta área foi realizado o monitoramento georreferenciado de alguns atributos do sistema de produção relacionados ao contínuo solo-planta-atmosfera, procurando identificar e quantificar aqueles atributos que melhor descrevem a variabilidade da área cultivada.

A análise de viabilidade econômica de emprego de técnicas de agricultura de precisão neste sistema de produção foi conduzida por meio de levantamento de todos os custos envolvidos no processo de implementação destas técnicas, cobrindo alternativas em todas as etapas, desde o diagnóstico e mensuração dos fatores limitantes de rendimento, até o acompanhamento de todas as fases do sistema de produção, chegando a colheita. Na apropriação dos custos do sistema de produção foi considerado tanto os custos fixos quanto os variáveis. Estes custos dizem respeito à obtenção das informações, análise das informações e à implementação das mudanças. Dentre os custos relativos à obtenção e análise das informações, destacam-se os custos de equipamentos e “software”, gerenciamento, serviços de terceiros e, obviamente, o custo do dinheiro. Na implementação das mudanças foram computados principalmente, os custos relacionados aos insumos e sua aplicação. As estimativas de receitas levaram em conta as produtividades alcançadas com as alternativas analisadas.

A área experimental irrigada por pivô central (38 ha) foi plantada no primeiro ano com milho (Figura 1) em condições de sistema de plantio direto, usando o híbrido triplo BR 3151, com espaçamento entre fileiras de 0,70 m, originando uma densidade de plantio de 50.000 plantas/ha. A adubação de plantio foi recomendada de acordo com a análise química do solo.

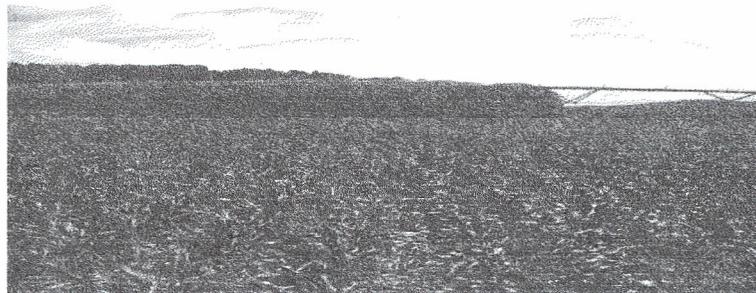


Figura 1. Sistema de produção de milho, em plantio direto, na área experimental de 38 ha, irrigada por pivô central, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 2000.

Uma série de atributos relacionado ao contínuo solo-planta-atmosfera foram monitorados nesta área com georreferenciamento. A área esta localizada a 19° 28' de latitude sul, 44° 15' de longitude oeste e 732 m de altitude. O solo da área é um Latossolo vermelho escuro, textura argilosa. A área tem sido cultivada com feijão e milho, num sistema de produção envolvendo a rotação de culturas, em condições de plantio direto. Os resultados obtidos têm permitido a geração de diferentes mapas de caracterização da área de produção, tais como: localização da área com as curvas de nível, textura, malha de amostragem, matéria orgânica, fertilidade do solo, compactação, granulometria, população de plantas daninhas, incidência de pragas e doenças. O monitoramento dos atributos foi feito com o

uso de tecnologia de aquisição automática de dados, com interface direta in loco, e posterior transferência, armazenamento, tratamento e análise dos dados (com o Sistema de Informação Geográfica - SIG).

O trabalho tem permitido a implantação de técnicas de agricultura de precisão, envolvendo a utilização de equipamentos, instrumentos, sensores, atuadores, máquinas e implementos agrícolas, disponibilizados por meio de contrapartidas dos parceiros envolvidos, com o objetivo de estudar as metodologias para o monitoramento de atributos de sistemas de produção, sob condições de plantio direto, enfatizando-se a questão de variabilidade espacial e temporal.

Dentre os dados obtidos destacam-se o levantamento plani-altimétrico e mapeamento do solo da área, usando uma malha de amostragem de 25 m x 25 m. As amostras de solos foram retiradas nas interseções desta malha, com um trado de 5 cm de diâmetro, na profundidade de 0-20 cm, georreferenciadas por meio de um sistema de posicionamento global, com precisão sub-métrica (DGPS). As análises de fertilidade de solo foram realizadas de acordo com as metodologias definidas em Embrapa (1997) e os seguintes elementos foram determinados: pH em água, Ca, Mg, K e H+Al (em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), P (em mg dm^{-3}) e matéria orgânica (em dag kg^{-1}). As amostras de densidade, porosidade e disponibilidade de água no solo foram programadas para ser retiradas após a colheita do milho de fevereiro de 2000 para direcionar os locais de amostras e reduzir custos. A resistência a penetração mecânica foi determinada em toda área com um penetrógrafo de cone automático, com medidas realizadas em malhas aproximadas de 25 m x 25 m e 50 m x 50 m.

Os mapas de fertilidade para malha de 25 m x 25 m indicaram que há necessidade de melhorar a eficiência de aplicação de fertilizantes na área (taxa variada). Estes mapas permitiram dividir a área de 38 ha, do pivô central, em diferentes níveis de fertilidade de solo. Os resultados para fósforo (P) indicaram níveis médio e alto de P em cerca de 94 % da área (47 e 47 %, respectivamente, Figura 2). No restante da área (6 %), os resultados para P foram baixo. Os resultados para magnésio (Mg) mostraram níveis baixo e médio de Mg em aproximadamente 27 % e 73 % da área, respectivamente (Figura 3). Já para matéria orgânica (M.O.), os níveis médio e alto foram encontrados nas partes mais elevadas da área do pivô (58 % e 8 % da área, respectivamente, Figura 4). Os níveis baixo de M.O. foram encontrados nos 34 % restantes da área, coincidindo com as partes mais baixas do pivô central. Estes resultados obtidos de variabilidade de fertilidade na área afetam bastante a quantidade de fertilizante a ser aplicada na área, sendo um indicativo da necessidade de se trabalhar com taxas de aplicação diferenciada na área, uma vez que os dados e os mapas demonstram que a área não pode ser considerada homogênea.

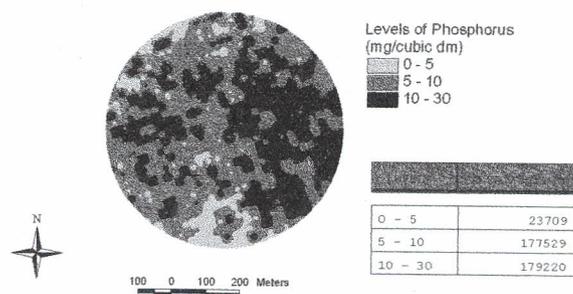


Figura 2. Mapa de classes de Fósforo da área experimental, de acordo com a malha de amostragem de 25 m x 25 m, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 2000.

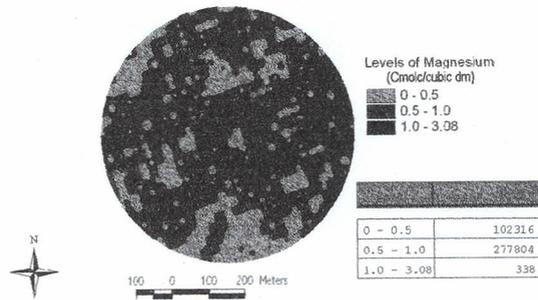


Figura 3. Mapa de classes de Magnésio da área experimental, de acordo com a malha de amostragem de 25 m x 25 m, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 2000.

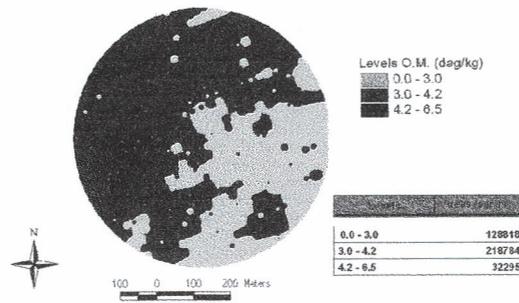


Figura 4. Mapa de Matéria Orgânica da área experimental, de acordo com a malha de amostragem de 25 m x 25 m, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 2000.

O primeiro mapa de produtividade de milho foi gerado em parceria com a AGCO do Brasil, que disponibilizou o equipamento de colheita com o sistema automático de aquisição de dados Field Star, equipado com um sensor de absorção de raios gama no elevador de grãos limpos da combinada (Figura 5). A cultura foi colhida em fevereiro de 2000 e os níveis de produtividade de grãos na área variou de 3,2 a 11,3 t/ha (Figura 5). O mapa de produtividade indicou maiores níveis de produção de grãos em cerca de 66 % da área colhida, onde os níveis de M.O. variaram de médio a alto (Figura 4), correspondendo às partes mais elevadas do campo.

A análise econômica do primeiro ano do trabalho foi realizada com base nos dados de produtividade da área e no levantamento de todos os custos envolvidos no processo de implementação do sistema de produção agrícola, levando-se em consideração a condição de sistema irrigado e também a questão de uso de técnicas de agricultura de precisão, obtendo informações desde o diagnóstico e mensuração dos fatores limitantes do rendimento da cultura até a colheita. Na apropriação dos custos, foram considerados tanto os custos fixos quanto os variáveis. Esses custos dizem respeito à obtenção das informações, análise das informações e à implementação das mudanças. Dentre os custos relativos à obtenção e análise das informações, destacam-se aqueles referentes a equipamentos e “software”, gerenciamento, serviços de terceiros e, obviamente, o custo dos recursos financeiros.

A Tabela 1 fornece o custo de produção para um ha da cultura do milho, sob condições de plantio direto, usando alta tecnologia, inclusive a agricultura de precisão (Matoso e Washington, 1989). Os custos estão atualizados para fevereiro de 2000 e representam a condição de média de vários produtores.

Tabela 2. Resultados operacionais, receitas, ponto de equilíbrio e taxas de retorno para produção de um ha de milho sob condições de plantio direto em sistemas irrigado (Matoso e Washington, 1989). Atualizado para fevereiro de 2000.

Plantio Direto - Alta Tecnologia - Irrigado

R\$ 1,00-Mai/00

0,183333333	Produtividade (Kg/ha)	5.735,10
	Preço (R\$/Kg)	0,18
	Receita Total (R\$)	1.051,44
	Margem Bruta (R\$)	248,58
	Margem Líquida (R\$)	0,00
	Ponto de Equilíbrio s/ Custo Variável (Kg/ha)	4.379,21
	Ponto de Equilíbrio s/ Custo Total (Kg/ha)	5.735,07
	Taxa de Retorno s/ Custo Variável	1,31
	Taxa de Retorno s/ Custo Total	1,00

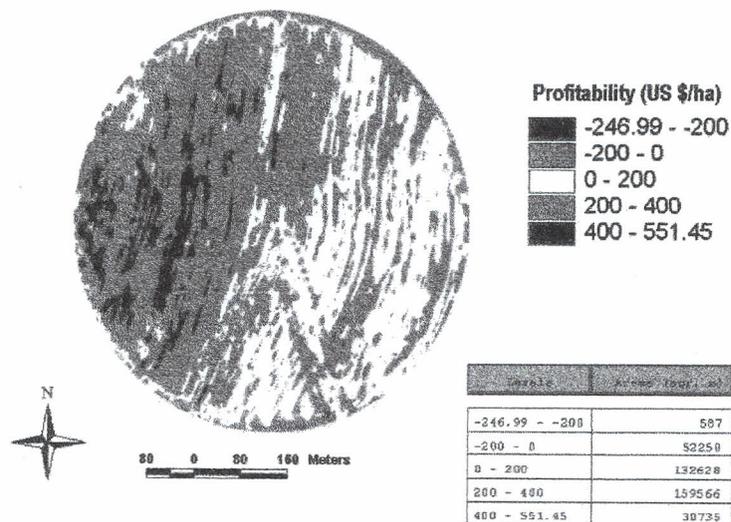


Figura 6. Mapa de lucratividade para o sistema de produção de milho irrigado, sob condição de plantio direto, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 1999/2000 (Colheita em fevereiro de 2000).

O mapa da Figura 7 mostra as áreas onde se obteve lucro ou prejuízo. As áreas de lucro correspondem àquelas onde as receitas totais são suficientes para, pelo menos, cobrir os custos totais de produção, ou seja, custos fixos mais custos variáveis. Cerca de 86 % da área apresentaram lucro, enquanto que 14 % apresentaram prejuízo.

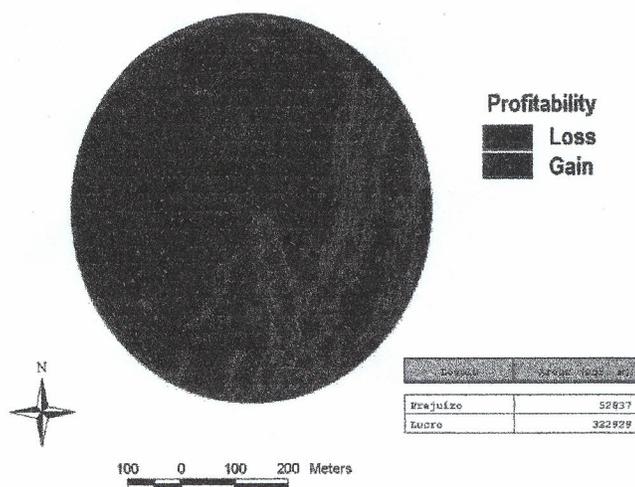


Figura 7. Mapa ilustrando as áreas de lucro e prejuízo para o sistema de produção de milho irrigado, sob condição de plantio direto, Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG, 1999/2000 (Colheita em fevereiro de 2000).

RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

A avaliação da viabilidade econômica de utilização de técnicas de agricultura de precisão possibilita uma análise de custo/benefício da introdução destas técnicas tanto no gerenciamento como na operação e intervenção de sistemas de produção agrícolas, constituindo um importante indicativo do incremento de renda líquida de produtores.

A análise econômica conduzida na área irrigada por pivô central (38 ha), cultivada sob condições de plantio direto, da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, envolvendo pesquisadores de diferentes instituições, indica alguns pontos importantes sobre a viabilidade econômica do uso de técnicas de agricultura de precisão em sistemas de produção agrícolas, a saber:

- É imprescindível o monitoramento georreferenciado de alguns atributos do sistema de produção relacionados ao contínuo solo-planta-atmosfera, de tal forma a identificar e quantificar a variabilidade da área cultivada;
- O levantamento de todos os custos envolvidos no processo de implementação destas técnicas, cobrindo desde o diagnóstico e mensuração dos fatores limitantes de rendimento, acompanhando todas as fases do sistema de produção, até chegar a colheita, é também importante;
- Na apropriação dos custos do sistema de produção, levar em consideração os custos fixos e variáveis, relacionados à obtenção de dados, análise das informações e à implementação de mudanças;
- Dentre os custos relativos à obtenção e análise das informações, destacam-se os custos de equipamentos e “software”, gerenciamento, serviços de terceiros e, obviamente, o custo do dinheiro. Na implementação de mudanças é muito importante computar, os custos relacionados aos insumos agrícolas e sua aplicação.

O sistema de produção sob condições de plantio direto, irrigado por pivô central (38 ha) e usado como exemplo, permite as seguintes conclusões:

- Os mapas de fertilidade permitem uma análise e divisão da área de produção em diferentes classes de fertilidade do solo. A fertilidade do solo da área não é homogênea e pode ser melhorada com o tratamento diferenciado da área com base na aplicação de fertilizantes a taxa variada;

- O mapa de produtividade mostra níveis de rendimento mais elevados em cerca de 66 % da área irrigada, correspondendo as partes mais altas do campo onde os níveis de matéria orgânica foram mais elevados;
- O sistema de produção apresentou lucro e prejuízo em cerca de 86 % e 14 % da área irrigada, respectivamente. As áreas de lucro correspondem àquelas onde as receitas totais são suficientes para, pelo menos, cobrir os custos totais de produção, ou seja, custos fixos mais custos variáveis. Grande parte da área de produção gera receita suficiente para cobrir os custos totais de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUERNHAMMER, H., ed. Global Positioning Systems in Agriculture **Computers and Eletronics in Agriculture, Amsterdam**, v.11, n.1, 1994.
- BALASTRIERE, L.A.; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura de milho. **Revista de Engenharia Rural**, v.8, n.1, p.97-111., 1998.
- BARBOZA M. M., MILAN, M.; COELHO, J.L.D.. Planning of an Agricultural Machinery System, **Computers in Agriculture**. Orlando: ASAE.1998
- Carr, P.M., G.R. Carlson, J.S. Jacobsen, G.A. Nielsen, and E.O. Skogley. 1991. A farming by soils, not fields: a strategy for increasing fertilizer profitability. **Journal of Production Agriculture** 4: 57-61.
- Doerge, T. 1999. Yield monitors create on-and off-farm profit opportunities. **Crop Insights**, Pioneer Hybrid International, 9, 14: 1-4.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª. ed. Rio de Janeiro, 212 pages.
- FEKETE, A. Fertilizer application rate control for precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CUMPUTES IN AGRICULTURE, 6. 1996, **Cancun**. Proceedings. **St. Joseph: ASAE, 1996. p. 557-562**
- Finck, C. 1998. Precision can pay its way. **Farm Journal**, January, p. 10-13.
- FRANÇA, G.E.; MANTOVANI, E.C., QUEIROZ, D.M.; ORLANDO, R.C.; FILHO, A. F.C.B. Comparison of the Systems of Phosphorus Recommendation Based on Average Soil Test and Spatial Variability Maps . In Workshop Phosphorus Acquisition Efficiency in Marginal Soils. Outubro 17-22, 1999. Sete Lagoas, MG, Brasil. No prelo.
- FRANÇA, G.E;MANTOVANI, E.C;QUEIROZ, D.M;ORLANDO, R.C. Comparação de entre dois Métodos de Recomendação de Fósforo, Baseando-se a Aplicação na Média e em Mapas de Variabilidade Espacial. In: O Estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil: L. A. Balastreire,2000. Piracicaba, SP. 224p.
- GOMIDE, R. L.; MATOSO, M.J., QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C. Economic analysis of a precision agriculture system under Brazilian Irrigated Field conditions. ASAE Paper n. 001015 ASAE International Meeting. Milwaukee, USA. 2000. St. Joseph, MI, USA. 10p.
- GOMIDE, R.L.; MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M. Estratégias da Pesquisa e da Indústria para Utilização de Agricultura de Precisão na Região Centro-Oeste do Brasil. In: **XXIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Uberlândia, MG, 21 a 25 de maio, 2000, pp. 16.
- GUPTA, R.K.; MOSTAGHIMI, S.; MCCLELLAN, P.W.; ALLEY, M.M.; BRANM, D.E. Spatial variability and sampling strategies for NO₃-N, P and K determinations for site specific farming. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph,v.40, n.2,p.337-342, 1997.
- HOWARD, B.; . ALBRIGO, A.; WHEATON, B.; CASTLE, F. ZAZUETA, R. PEART, J. FEGUNSON E . MARTSOLF. D. 1998. Decision Information Systems for Citrus. **Computers in Agriculture Proceedings**. Orlando. ASAE
- KERR, D.V. J. CHASELING E R.T. COWAN. 1998. The development and evaluation of a knowledge based decision support system for Northern Australian dairy farms. **Computers in Agriculture Proceedings**. Cancun. ASAE
- Lowenberg-DeBoer, J. and A. Aghib. 1999. Average returns and risk characteristics of site specific P and K Management: Eastern Corn belt On-Farm-Trial results. **Journal of Production Agriculture** 12: 276-282.

- Lowenberg-DeBoer, J. and M. Boehlje. 1996. Revolution, evolution or dead-end: economic perspectives on precision agriculture. In: P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson, eds., Precision Agriculture: **Proc. Of the 3rd. Int. Conf.** Madison, WI:ASA/CSSA/SSSA. Pages 923-944.
- Lowenberg-DeBoer, J. and S.M. Swinton. 1997. Economics of site-specific management in agronomic crops. ASA/CSSA/SSSA. In: **The site specific management for agricultural systems**. Pages 369-396.
- MAKEPEACE, R. J. Benefits and limitations of precision farming. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE: PESTS & DISEASES, 1996, Brighton, UK. **Proceedings...**Farnham: British Crop Protection Council, 1996. v. 3, p. 1235-1242.
- MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; QUEIROZ, D. M.; TORRE NETO, A.; PEDROSO JÚNIOR, M.; SANTOS, W. Utilização de instrumentos e técnicas de agricultura de precisão para o aumento de eficiência dos processos de produção agrícola. In: **O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil**, II Simpósio Sobre Agricultura de Precisão, Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia Rural/ESALQ/USP, 2000. p.212.
- MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; TORRE NETO, A.; QUEIROZ, D. M.; PEDROSO JÚNIOR, M.; SANTOS, W. Desenvolvimento, ajuste e aplicação de técnicas de agricultura de precisão para o aumento de eficiência e redução de impactos ambientais de sistemas de produção agrícola sob condições de plantio direto. Projeto 030-01/99, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 1999. 228 p.
- MANTOVANI, E.C.; FRANÇA, G.E.; QUEIROZ, D. M.; GOMIDE, R.L Grid Sampling methodology for fertilizer application under the LED soil in Brazil. ASAE Paper n.001111. ASAE International Meeting. Milwaukee, USA. 2000. St. Joseph, MI, USA. 7p.
- MANTOVANI, E.C.; SVERZUT, C.B. Soil penetrometer resistance map of a Dark Red Latosol(LED) measured by an electronic penetrometer and a GPS. ASAE Paper n. 001110. ASAE International Meeting. Milwaukee, USA. July 2000. St. Joseph, MI, USA. 5p.
- Mattoso, M. J. and L.C.S Washington. 1989. Modelo para estimativa de custos de produção de culturas irrigadas: caso do milho irrigado por pivô central. **Circular Técnica No. 1**, Janeiro, Embrapa, Centro Nac. de Pesquisa de Agricultura Irrigada, CNPAI, Parnaíba, PI. Pages 22.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.2, p.97-107, dez. 1977.
- NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O.; JÜRCHIK, P.; KÜHN, G.; HOPMANS, J.W. Precision agriculture: challenges and opportunities of instrumentation and field measurements. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, 1996, São Carlos-SP, **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1996.
- NIELSEN, D.R.; TILLOTSON, P.M.; VIEIRA, S.R. Analysing field-measured soil water properties. **Agricultural Water. Management.**, Amsterdam, v.6, p.93-109, 1983.
- OLIVEIRA, M.F.; PRATES, H.T.; MANTOVANI, EC.; ORLANDO, R.C. Efeito da Variabilidade Espacial do pH e da Matéria Orgânica na Retenção do Diferencial do Imazaquin. In: O Estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil: L.. A. Balastreire,2000. Piracicaba, SP. 224p.
- ORLANDO, R. C.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L. Uso de técnicas de geoestatística para a definição de grade de amostragem de solo em agricultura de precisão. In: **O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil**, II Simpósio Sobre Agricultura de Precisão, Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia Rural/ESALQ/USP, 2000. p.137.
- PERRY, C.D.; THOMAS, D.L.; VELLIDIS, G.; DURRENCE, J.S. Integration and coordination of multiple sensor and GPS data acquisition for precision farming systems. ASAE Annual International Meeting. **Proceedings...** n.973143, 1997.
- ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E., ed. **Precision agriculture: proceedings of the 3rd International Conference**, June 1996. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1996.
- ROTZ, C.A., H.A. MUTHAR E J.R. BLACK. 1993. A multiple crop machinery selection algorithm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 6, p. 1644-1649, 1993.
- SARAIVA, A. M. **Um modelo de objetos para sistemas abertos de informações de campo para agricultura de precisão – MOSAICO** São Paulo: USP-Escola Politécnica, 1998. 235p. Tese Doutorado.

- SCHUELLER, J.K. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. **Fertilizer Research**, Hague, v.31, p.1-34, 1992.
- SCHUELLER, J.K. Impediments to spatially-variable field operations. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, n.14, p.249-253, 1996.
- SCHUELLER, J.K. Machinery and systems for spatially-variable crop production. St Joseph: ASAE, 1998 (ASAE Paper, 881608) Trabalho apresentado no ASAE Annual International Meeting
- SCHUELLER, J.K. Thechnology for precision agriculture. European Conference on Precision Agriculture, 1 p.33-44. Set., 1997.
- STAFFORD, J.V. Spatially variable field operations. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v.14, n.2/3, 1996.
- STAFFORD, J.V.; LE BARS, J.M., AMBLER, B. A hand-held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v.14, n.2/3, p.235-247, 1996.
- STONE, M.L.; SOLIE, J.B.; RAUN, W.R.; WITNEY, R.W.; TAYLOR, S.L.; RINGER, J.D. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deviciencies in winter wheat. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.39, n.5, p.1623-1631, 1996.
- Swinton, S.M. and J. Lowenberg-DeBoer. 1998. Evaluating the profitability of site specific farming. **Journal of Production Agriculture** 11: 439-446.
- Swinton, S.M. and J. Lowenberg-DeBoer. 1999. Profitability of site specific farming. In: South Dakota State University, Site Specific Management Guidelines. 4pp.
- TORRE-NETO, A.; CRUVINEL, P.E.; SLAETS, J.F.W.; CRESTANA, S. Remote monitoring of environmental variables for modeling of pesticide transport in soil. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.13, n.1, p.115-122, 1997.
- USA-NRC. **Precision agriculture in the 21st century**: geospatial and information technologies in crop management. Washington: National Academy Press, 1997. 149 p.
- WEATHERLY, E.T.; BOWERS, C.G. Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.40, n.2, p.295-305, 1997.