

Capítulo 4

MÁQUINAS E OPERAÇÕES UTILIZADAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Evandro Chaturni Mantovani¹¹
Daniel Marçal Queiroz¹²
Gutemberg Pereira Dias¹³

4.1. INTRODUÇÃO

4.1.1. Visão geral da agricultura brasileira

O nível de informação na agricultura brasileira tem aumentado, devido à participação de agricultores em feiras, reuniões, excursões técnicas nacionais e internacionais, bem como ao seu acesso aos meios de comunicação. Nesse sentido, a informação instantânea constitui um instrumento predominante para a rápida transformação do meio rural e o sucesso disso é evidente em algumas regiões brasileiras, como no Sudeste. Nos últimos cinco anos, o Brasil passou a sediar as principais empresas mundiais produtoras de máquinas agrícolas, fato este que contribui para que o agricultor brasileiro utilize o mesmo nível de tecnologia de equipamentos agrícolas usados por agricultores europeus e americanos. Essa abertura de mercado facilitará a aquisição dos equipamentos a um custo compatível com o mercado interno, promovendo, consequentemente, a qualidade de trabalho de nossos equipamentos.

Há alguns anos, o processo de inflação e a economia muito fechada constituíam o quadro do País, impossibilitando prever a dimensão das conseqüências que o atraso tecnológico poderia acarretar no processo de competitividade do mercado agropecuário. O conceito de auto-suficiência, na

¹¹ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, CEP 35700-970, Sete Lagoas, MG, E-Mail: evandro@cnpmc.embrapa.br.

¹² Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa, MG, E-Mail: queiroz@mail.ufv.br.

¹³ Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa, MG, E-Mail: gpdias@mail.ufv.br.

produção de todos os produtos de consumo, deu lugar ao processo de competitividade por melhores preços. Assim, culturas como o arroz irrigado, trigo, algodão e outras tiveram sensível redução de área plantada, pelo fato de existirem mercados externos que oferecem esses mesmos produtos, em nosso mercado, a custos muito abaixo daqueles praticados no Brasil.

Com a estabilização da moeda brasileira e a abertura de mercado, o Brasil compete de modo semelhante no mercado mundial, independentemente de seu setor agrícola estar ou não tecnologicamente preparado. Essa necessidade de manter-se no mercado e, ao mesmo tempo, adequar-se para se tornar competitivo, levou o País a dar saltos tecnológicos sem tempo para melhor absorver a tecnologia disponível. Em alguns casos, o País corre o risco da não-disponibilidade de informações necessárias à utilização dessa tecnologia, que, nos países de origem, foi sendo introduzida gradativamente e com assistência técnica constante no meio agrícola.

Nos últimos anos, a indústria brasileira tem respondido positivamente, melhorando a eficiência de utilização de seus equipamentos agrícolas, haja vista, em todo o País, uma variedade muito grande de equipamentos providos de mecanismos eletro-eletrônicos para controle de operação e com facilidade de uso, bem como os sistemas de distribuição de sementes por mecanismo pneumático, os pulverizadores com distribuição uniforme em toda a barra, as colhedoras automotrizes providas de sistema de compensação de declividade, de cilindros axiais e cabinas climatizadas, dentre outros, o que demanda operadores treinados, no sentido de melhor utilização desse potencial tecnológico. Por outro lado, existe uma mão-de-obra sem qualificação, pouco treinada e de baixa escolaridade, além de condições de trabalho desfavoráveis. Além disso, poucos técnicos em assistência técnica, em mecanização agrícola dedicam-se a projetos de dimensionamento, a fim de adequar a demanda de máquinas e equipamentos ao cronograma da área e culturas a serem trabalhadas. Assim, principalmente na região Centro-Oeste, têm-se verificado equipamentos subdimensionados, que operam sob cronograma muito apertado, em que a quantidade de trabalho (ha/h) predomina sobre a qualidade. Tal situação favorece a quebra de equipamentos que operam em condições de baixa tecnologia de manejo e eficiência de campo inferior à recomendada.

O grande desafio que a agricultura brasileira tem no momento é a necessidade de produzir alimento para abastecimento do mercado interno e para exportação, a um custo competitivo com o de países desenvolvidos.

Neste sentido, a falta de capitalização de nossa agricultura e a falta de uma política agrícola consistente, tem provocado um efeito negativo, a ponto de muitos agricultores não conseguirem a eficiência necessária para manejar o

sistema, aumentando com isso, o custo de produção e, conseqüentemente, por sucessivos fracassos ou frustrações de safra terem que abandonar a atividade agrícola. Enquanto isso, nos Estados Unidos e na Europa, nota-se uma intensa modificação no meio rural, através do uso intensivo de tecnologia de ponta, voltada para aumentar a capacidade de trabalho da propriedade e a precisão dos equipamentos, visando a racionalização do uso de recursos naturais e redução do efeito nocivo no meio ambiente. Esse trabalho tem sido possível graças ao uso de automação, instrumentação e ferramentas de suporte à tomada de decisão. Tudo isso começa agora a ser disponibilizado no mercado brasileiro, o que demandará uma ação rápida da pesquisa e assistência técnica, na viabilização do processo de informação, treinamento para utilização, e interpretação de dados gerados .

Em geral, um equipamento é desenvolvido para uso específico, utilizando-se uma série de testes de laboratório e de campo para dar respaldo às indicações de uso. Pelo fato de estar distribuída numa área de dimensões continentais, constituída por regiões distintas, a agricultura brasileira apresenta diferenças significativas relativamente a solo, clima e condições de uso, razão pela qual ela demanda mais pesquisas de campo, a fim de dar suporte aos diferentes equipamentos que estão sendo disponibilizados no mercado nacional. Em razão da carência de informações e de técnicos em mecanização que orientem a aquisição de equipamentos, estes estão sendo amplamente comercializados enquanto os testes são realizados pelos próprios agricultores, durante o período de safra. Conseqüentemente, a inadequação dos equipamentos a uma determinada situação gera frustração durante o uso, determinando sua exclusão do mercado .

4.1.2. Agricultura de precisão e sua contribuição

A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. A tecnologia, que se encontra em constante desenvolvimento, modifica as técnicas existentes e incorpora novas técnicas que fornecem ferramentas aos especialistas em manejo agrícola. Integra, significativamente, a computação, a eletrônica e elevados níveis de controle. Portanto, agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada como a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local. Assim, uma completa compreensão sobre o processo é alcançada, favorecendo a aplicação.

de modo a atingir um determinado objetivo. Tal objetivo não significa, necessariamente, a obtenção de máxima produtividade, mas a otimização do retorno financeiro dentro de restrições impostas pelo meio ambiente.

Além disso, as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a idéia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade.

A agricultura de precisão não implica numa técnica de manejo específica. Ela possibilita ao profissional responsável pelo manejo melhor entendimento e maior controle sobre os sistemas de tratamento dos campos de produção. A agricultura de precisão está sendo desenvolvida como um sistema integrado, envolvendo técnicas de manejo (de plantio, de aplicação de defensivos, de colheita e outras), que podem ser planejadas e incorporadas a programas computacionais, a fim de tornar as práticas consistentes, especialmente quando se considera o impacto ambiental.

O conceito de agricultura de precisão não é novo. Na realidade, as práticas agrícolas são utilizadas desde os tempos em que pequenas áreas eram cultivadas e grande parte do trabalho era feito manualmente, incluindo o tratamento individualizado para uma planta, ou pequenas áreas. Com o aumento das áreas cultivadas e o desenvolvimento da mecanização agrícola, tornou-se impossível o tratamento individualizado das plantas e grandes áreas passaram a ser trabalhadas de maneira uniforme.

O início da mecanização agrícola propriamente dito é atribuído ao desenvolvimento das segadoras, que ocorreu em 1830, para facilitar a colheita. Após o aparecimento das segadoras e, praticamente na mesma época, desenvolveram-se as trilhadoras. Em 1870, aproximadamente, surgiram os primeiros tratores acionados por motores a vapor. A primeira colhedora autopropelida, acionada por um motor a vapor, surgiu em 1886. Os primeiros tratores, acionados por motores de combustão interna, que alcançaram sucesso, surgiram em 1910, aproximadamente. Desde então, a mecanização agrícola esteve em constante evolução, provocando grande aumento na produtividade do trabalho rural. Tal transformação foi tão acentuada que, em 1900, enquanto um trabalhador rural produzia alimentos e fibras para oito pessoas, em 1990 sua produção atendia cem pessoas.

O desenvolvimento de pesquisas em agricultura de precisão iniciou-se praticamente a partir de 1980. Nos primeiros dez anos, as pesquisas

concentravam-se na área de desenvolvimento de sensores. Com o aparecimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), a partir de 1990, houve um enorme aumento no número de pesquisas voltadas para a agricultura de precisão. Em geral, todos os grandes centros de pesquisas em Engenharia Agrícola e Agricultura estão trabalhando no desenvolvimento de técnicas para agricultura de precisão. As indústrias de máquinas agrícolas têm acompanhado esse desenvolvimento, sendo que atualmente há um grande número de indústrias fabricando máquinas e sistemas de controle, bem como empresas especializadas no desenvolvimento de *softwares* para agricultura de precisão. Tal interesse pela agricultura de precisão assemelha-se àquele relativamente à energia, que ocorreu nos anos 70. A grande diferença é que a popularização da *Internet*, ocorrida a partir de 1992, intensificou a troca de informações entre os grupos de pesquisas, e entre os grupos de pesquisa e os meios de produção. Em diversos endereços na *Internet*, há disponibilidade de relatos de experiências que estão sendo desenvolvidas em agricultura de precisão, bem como relatos de fornecedores de equipamentos e *software* sobre as características dos produtos em oferta no mercado.

A agricultura de precisão constitui uma ferramenta de grande potencialidade, que proporcionará ao agricultor o mapeamento do solo, de aplicação de insumos e das atividades de colheita, considerando a área de modo diferenciado, a fim de racionalizar o uso de insumos e o consumo de energia. A preocupação mundial em relação à aplicação dessa tecnologia refere-se à grande disponibilização de informação, requerendo técnicos com experiência em interpretação dos dados, coletados sob forma de mapas.

O objetivo da agricultura de precisão consiste em manusear pequenas áreas, dentro do campo de produção, visando reduzir o uso de produtos químicos e aumentar a produtividade. O atendimento às necessidades do solo e das culturas em desenvolvimento tanto pode beneficiar economicamente os fazendeiros, como também melhorar as condições ambientais nas quais ele e seus vizinhos vivem.

A variabilidade do solo, dentro de um campo de produção, é a causa de muitas outras fontes de variabilidade, além de influenciar, diretamente, diversos parâmetros, como a disponibilidade de nutrientes, o suprimento de água e as condições relacionadas ao crescimento das raízes das plantas. Populações de plantas daninhas, os insetos e as doenças são, também, influenciados pelas características dos solos. A textura do solo, por exemplo, está relacionada à sua capacidade de retenção de água. A profundidade de uma camada impermeável determina a profundidade que as raízes das plantas atingirão.

As características das culturas e do solo variam no espaço (distância e

profundidade) e no tempo. Enquanto certas características do solo variam pouco, no tempo, como a textura e o teor de matéria orgânica, outras variam rapidamente, como o teor de nitrato (NO_3) e a umidade. A variabilidade nas características do solo e das plantas, no tempo, afeta algumas tomadas de decisões na agricultura de precisão, ou seja:

- qual propriedade amostrar ?
- quando amostrar ?
- com que frequência amostrar ?
- como responder à variabilidade medida ?

A frequência da amostragem pode ocorrer em intervalos de meses ou anos, como no caso de correção do solo. Entretanto, quando a característica muda rapidamente, pode ser interessante para o fazendeiro medir a variabilidade em tempo real e fornecer, instantaneamente, o insumo necessário, sem a amostragem prévia. A aplicação de insumos a uma taxa constante freqüentemente baseia-se nas propriedades medidas em amostras compostas de solo, que são coletadas para representar uma característica média de todo o campo. Quando a produtividade dentro de um campo não varia, muito pouco incentivo deve existir para a adoção de técnicas de agricultura de precisão, porém, se uma alta variação é detectada na produtividade, a adoção dessas técnicas pode ser benéfica. Os insumos que, hoje, podem exigir aplicação em taxa variável são: os fertilizantes, os pesticidas e sementes.

4.2. MÁQUINAS E SISTEMAS DE APLICAÇÃO VARIÁVEL

O manejo de culturas em locais específicos é o termo que descreve, melhor e amplamente, o emprego da variabilidade de parâmetros do solo e das culturas para a tomada de decisão quanto à aplicação de insumos, em quantidade que proporcione maior produtividade. O processo que utiliza equipamentos, os quais realizam a aplicação de insumos a taxa variável, é denominado tecnologia de taxa variável.

A aplicação em taxas variáveis baseia-se em dois métodos:

- a) uso de mapas;
- b) resposta de sensores, em tempo real.

4.2.1. Uso de mapas

A aplicação dos insumos baseia-se em mapas elaborados e armazenados

por meios eletrônicos, que contêm informações sobre as propriedades dos campos de produção. Esse método determina a posição da máquina dentro do campo e relaciona essa posição à quantidade de insumo a ser aplicada, informação esta obtida no mapa. A quantidade de insumo a ser aplicada é definida em termos de volume do produto a ser aplicado por unidade de área ou, de peso do produto a ser aplicado por unidade de área, ou ainda, em termos do número de sementes por unidade de área.

Em alta velocidade de trabalho, o sistema de controle da máquina pode utilizar os dados relativos ao que será aplicado nos próximos passos, a fim de ajustar a quantidade de produto a ser aplicada. Esse processo leva em consideração a velocidade de trabalho e o tempo que a máquina consome para ajustar-se ao novo fluxo do produto a ser aplicado.

Os mapas de produtividade da cultura podem ser utilizados como ponto de partida, a fim de avaliar as causas da variabilidade de produtividade, bem como verificar as causas passíveis de modificação e as respostas econômicas e de impacto ambiental que o sistema de manejo em locais específicos pode trazer.

No caso de plantas daninhas, a técnica é aplicável, pois elas têm mobilidade limitada, crescem e desenvolvem-se em locais mais ou menos definidos e apresentam pouca mudança a cada ano.

Uma das formas de mapeamento dos focos de plantas daninhas é constituída por fotografias aéreas ou outros meios de sensoriamento remoto, porém o uso de uma unidade de GPS portátil permite identificar, inclusive, as espécies, facilitando a seleção do herbicida apropriado, além da vantagem de evitar as dificuldades na interpretação de imagens.

No caso de doenças e pragas, embora o uso de mapas seja possível, as mudanças temporais nas populações dos organismos causadores, bem como a mobilidade desses organismos, limitam sua utilização.

4.2.2. Resposta de sensores em tempo real

Neste método, os insumos são aplicados com base em informações obtidas, em tempo real, por meio de sensores, sendo as mesmas utilizadas para controlar, eletronicamente, as operações de campo. Os sensores determinam as propriedades do solo ou da cultura, à medida que a máquina desloca-se. Os dados obtidos são usados, automaticamente, pelo sistema de controle, no ajuste da quantidade de fertilizante ou herbicida.

Os sensores devem fornecer dados, continuamente, para o sistema

controlador, de modo a possibilitar a variação da quantidade de insumos ao longo de pequenas áreas, dentro dos campos de produção. Esse método não precisa, necessariamente, de um sistema de posicionamento, embora os sensores usados para controlar automaticamente as máquinas possam ser usados, também, para coleta dos dados. Assim, quando gravados e georeferenciados, os dados podem ser usados em aplicações de taxas variáveis, ou na elaboração de mapas destinados ao controle de outras operações de campo.

Os sensores para aplicação, em tempo real, de insumos geralmente têm um problema de sincronização com o mecanismo de dosagem e distribuição do insumo aplicado. Em geral, o sensor deve ser montado à frente do trator ou máquina autopropelida, para que o mecanismo de distribuição tenha o tempo necessário ao ajuste do novo valor da taxa de aplicação. Por exemplo, se uma máquina desloca-se a 2 m/s, será necessário que o sensor esteja, pelo menos, 2 m à frente do mecanismo de distribuição, se o tempo de atraso na resposta do mecanismo de distribuição for um segundo.

4.2.3. Comparação entre os métodos

As vantagens da aplicação variável, com o uso de mapas, relativamente ao uso de sensores, são:

- a) possibilita a aplicação a uma taxa variável de insumos, apesar da atual deficiência de sensores no monitoramento de todas as condições de solo e plantas;
- b) determina a quantidade total de produto a ser aplicada, antes que a máquina vá para o campo, evitando a ocorrência de falta de produto durante a aplicação no campo ou o excesso de produto, relativamente ao recomendado;
- c) processa e analisa os dados amostrados com antecedência, assegurando a exatidão do método;
- d) determina a quantidade de produto a ser aplicada antecipadamente, permitindo ao controlador compensar qualquer variação que porventura ocorra.

Algumas desvantagens do uso de mapas relativamente ao sensores são:

- a) exige a utilização de um sistema de posicionamento (tipo sistema de posicionamento global diferencial) para determinar a localização do equipamento no campo;
- b) as amostras devem ser coletadas e os resultados armazenados e

- processados, usualmente, por meio de um sistema de informação geográfica:
- c) exige um software especializado para produzir um mapa de controle;
 - d) podem ocorrer erros na aplicação, resultantes de erros no registro da localização dos pontos amostrados e na determinação da posição da máquina aplicadora, à medida em que ela desloca-se pelo campo;
 - e) os mapas de aplicação são contínuos, porém são produzidos a partir de dados descontínuos, tomados a partir de um número limitado de pontos no campo, os quais podem conduzir a erros na estimativa das condições entre os pontos;
 - f) os sistemas baseados em mapas não se adaptam bem para o controle de aplicações baseadas em características do solo, que variam rapidamente (NO_3 e umidade do solo, por exemplo). Enquanto o mapa não foi, ainda, processado, as condições do solo podem estar variando.

4.2.4. Sensores/transdutores para sistemas de taxa de aplicação variável em tratos culturais

Compactação do solo - para a determinação da textura do solo, tem sido sugerido um tipo de penetrômetro de cone, que se move horizontalmente no solo. Outra opção consiste na utilização de sinais acústicos, produzidos por uma ferramenta de corte movendo-se através do solo. Como terceira opção, utiliza-se um cinzel instrumentado, para prever a força de tração necessária a diferentes tipos e condições de solo. A força exigida para tracionar uma ferramenta de preparo do solo, como é o caso de um cinzel, depende da geometria, da profundidade de trabalho e da velocidade de deslocamento da ferramenta, bem como da densidade, do teor de água e da textura do solo. Se essa ferramenta trabalhar a velocidade e profundidade constantes e se a umidade do solo for determinada independentemente, é possível estabelecer uma função que relacione a textura e a compactação do solo à força exigida para tracionar a ferramenta. Outra forma de avaliação da existência de camadas compactadas consiste em sensores, baseados na medida da condutividade elétrica do solo, obtida por indução eletromagnética (SUDDUTH et al., 1994), sendo os dados coletados em malhas de 3 por 6 m, ao longo de toda a área em estudo.

Profundidade de trabalho - os sensores utilizados na determinação da profundidade de trabalho dos implementos de preparo de solo são importantes ferramentas de suporte aos sistemas de controle daqueles implementos.

Umidade do solo - os sensores utilizados para determinar o teor de água do solo são baseados na condutividade elétrica, capacitância, técnicas espectrofotométricas e reflectância nuclear magnética. Dentre as técnicas espectrofotométricas, incluem-se as que utilizam princípios óticos, infravermelho e espectrometria de microondas. Embora a resistência elétrica possa ser relacionada ao teor de umidade do solo, outros fatores, como a textura e a concentração de sal, também afetam as propriedades elétricas, sendo que a chave para correlacionar as propriedades elétricas às propriedades, tais como a umidade, está nos métodos utilizados na análise dos sinais dos sensores. WEATHERLY e BOWERS Jr. (1997) descrevem um sistema para variação da profundidade de plantio, baseado na resistência do solo, segundo o qual uma tensão de corrente alternada de 27mV pico-a-pico e 1250Hz é aplicada à entrada de um amplificador operacional e o ganho é definido pela variação da resistência elétrica do solo (Figura 4.1).

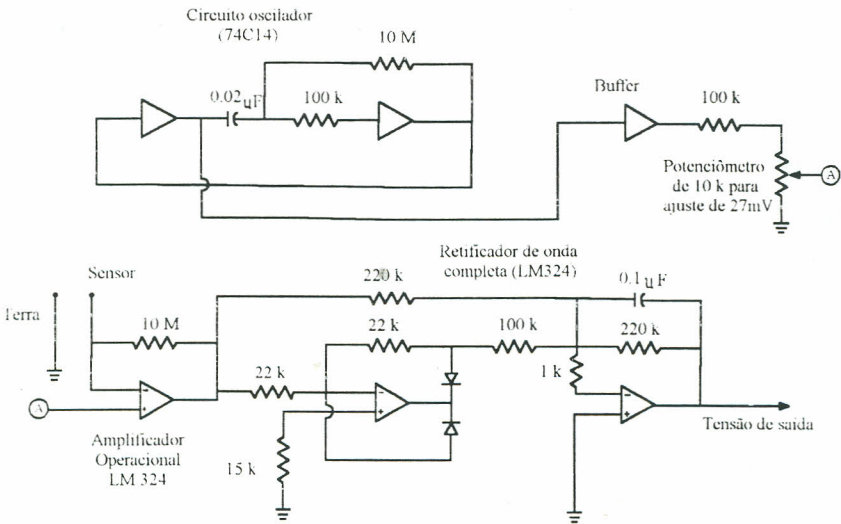


FIGURA 4.1. Circuito para determinação de umidade baseado em resistência elétrica do solo.

Matéria orgânica do solo - o teor de matéria orgânica no solo pode ser utilizado como indicador de produtividade, na adoção de estratégias de aplicação de nitrogênio em forma de taxa variável. Além disso, durante a aplicação de herbicida em pré-emergência, seu teor determinará a fixação de herbicida pelo solo; logo, determinará a efetividade do herbicida. Conhecendo-se o teor de

matéria orgânica pode-se, então gerenciar a taxa de aplicação do produto.

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 que foi utilizado na avaliação do teor de matéria orgânica no solo baseava-se na reflexão de uma estreita faixa de luz infravermelha (1.630 a 2.650 nm, com 52 nm de banda de passagem), e destinava-se a controlar a taxa de aplicação de herbicida pré-emergente no solo (a matéria orgânica pode fixar parte do herbicida, reduzindo sua eficiência no controle das plantas daninhas). 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). Um sensor desenvolvido na Universidade de *Purdue, Indiana, EUA*, e atualmente licenciado para a empresa americana Tyler Benson MN, compõe-se de um fotodiodo rodeado por seis diodos emissores de luz vermelha (LEDs). A luz emitida pelos LEDs para a superfície do solo é detectada pelo fotodiodo e a intensidade do sinal é correlacionada com a quantidade de matéria orgânica.

A umidade do solo pode afetar a intensidade de luz refletida, mas no caso de solo úmido o efeito é pequeno (MORGAN, 1995). Outra variável é a composição mineral do solo que, independentemente do seu teor de matéria orgânica, pode afetar a reflexão de luz e, por consequência, a exatidão dos valores medidos para matéria orgânica.

Fertilizantes - talvez a mais importante categoria de sensores de solos seja a que detecta o teor de nutrientes, porém, poucos sensores que trabalhem em tempo real estão disponíveis. Os fertilizantes são um dos insumos mais caros e um dos mais utilizados nos campos de cultivo; sua deficiência pode reduzir o crescimento da cultura e a qualidade do produto; a superdosagem, por sua vez, pode reduzir a produtividade e a qualidade do produto. Por exemplo: superdosagem de nitrogênio aumenta o crescimento vegetativo, mas reduz a produção de grãos em culturas como o trigo e o centeio; superdosagem ou resíduo em excesso de culturas anteriores podem reduzir a sacarose em

beterraba açucareira.

Sensores para determinação das quantidades de nutrientes no solo, à medida em que a máquina se desloca no campo, especialmente para nutrientes que lixiviam no solo, como é o caso do nitrogênio, têm potencial para produzir um sensível benefício econômico. Existe um sensor comercial que mede os nutrientes potenciais e é utilizado como parte de sistema automático de aplicação variável de nitrogênio. O 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^-).

Estudos recentes mostram que as propriedades químicas do solo tem uma distribuição espacial que se aproxima muito da distribuição lognormal (Zhang et al., Bahri et al., citados por HAN et al., 1997) e que dois componentes da textura (argila e silte) têm correlação com o teor de NO_3^- , N, P e K do solo. Essa correlação tem sido utilizada para locação de pontos de coleta de amostras para análise de fertilidade, usando-se métodos estatísticos apropriados. Tem sido observado que o fósforo e o potássio apresentam variabilidade espacial moderada, e a densidade de amostragem de solo mais adotada hoje é de 2,7 pontos amostrais/hectare ou malhas de 61 por 61m. Essa densidade pode ser reduzida em 25 % para o fósforo e 50 para o potássio sem perda de precisão na análise. Deve-se observar que a variabilidade espacial e a correlação espacial de propriedades do solo é que definirá o melhor esquema de amostragem (HAN et al., 1997).

Um dos problemas advindos da aplicação excessiva de fertilizantes é que, no caso dos nitratos, esses podem ser lixiviados, atingindo lençóis freáticos, muitas vezes fontes de consumo humano, e, no caso do fósforo, esse é um contaminante de lagos, sendo transportado junto com o solo nos processos erosivos.

Plantas daninhas – os sensores que detectem com precisão, em tempo real, os pontos de infestação de plantas daninhas (ou 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 plantas 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, resultando numa

redução de 90% da área pulverizada e mais de 90% de plantas 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 desses tipos de sensores na detecção de deficiências nutricionais ou doenças nas culturas. Vários pesquisadores têm tentado também identificar plantas daninhas no campo, usando câmeras de vídeo acopladas a computadores e *softwares* apropriados (Guyer et al.; Woebbecke et al.; Tian et al.; Zhang et al., citados por GOPALAPILLAI e TIAN, 1997).

Fluxo – os sensores de fluxo são mecanismos que medem a quantidade de matéria que se move no interior de um duto, ou qualquer outra seção de passagem do material, por unidade de tempo. Os medidores de fluxo podem ser projetados para medir o fluxo de sólidos, substâncias líquidas com resíduos ou líquidos limpos. Alguns sensores de fluxo medem o fluxo volumétrico (volume por unidade de tempo), outros medem o fluxo de massa (massa por unidade de tempo).

Células de carga equipadas com extensômetros elétricos de resistência têm sido utilizadas para monitorar a variação de massa em distribuidores de esterco sólido e líquido, permitindo verificar se a taxa de distribuição está dentro dos limites estabelecidos para a distribuição. Geralmente são posicionadas na barra de engate da máquina, entre esta e a barra de tração do trator, principalmente em distribuidores de esterco de um só eixo, avaliando a massa existente a qualquer instante pela medida do momento gerado pela carga em relação ao pino de engate.

Torque – os extensômetros elétricos de resistência também têm sido utilizados na determinação do torque. Quando posicionados em parafusos sem-fim de distribuidores de esterco sólido para, em conjunto com a célula de carga no pino de engate, monitorarem a taxa de aplicação do esterco no campo.

Pressão – os sensores de pressão são mecanismos que têm como saída um sinal elétrico proporcional à pressão de um fluido e são usados em sistemas de aplicação, medindo a pressão de um líquido ou gás. Muitos sensores de pressão medem o movimento ou a flexão de um diafragma metálico. São usados em pulverizadores, para regular a aplicação e o sinal de saída e devem sempre ser compatíveis com a entrada do controlador do pulverizador (a pressão de operação do fluido não deve também exceder a faixa de pressão do sensor).

Velocidade - alguns sensores de velocidade medem a velocidade angular de eixos (tacômetros) e são utilizados para controlar a velocidade, como, por

exemplo, do rotor de uma colhedora. Mas eles não fornecem a velocidade real de deslocamento se utilizados no eixo de uma roda onde existe deslizamento entre a roda e a superfície de rolamento. Radar ou medidores de velocidade por ultra-som são mais apropriados para a determinação da velocidade real, e medem essa velocidade mesmo que haja deslizamento da roda. Esses equipamentos medem a velocidade por meio de ondas de rádio ou ondas de som refletidas pelo solo.

Os sensores usados para aplicação, em tempo real, de insumos têm geralmente um problema de sincronização com o mecanismo de dosagem e distribuição desse insumo. De modo geral, o sensor deve ser montado à frente do trator ou máquina autopropelida, para dar ao mecanismo de distribuição tempo suficiente para ajustar cada novo valor de taxa de aplicação. Por exemplo, se uma máquina se desloca a 2 m/s, o sensor precisa estar a pelo menos dois metros à frente do mecanismo de distribuição, se o tempo de atraso na resposta do mecanismo a um novo valor de taxa for de um segundo.

4.2.5. Atuadores e controladores

Controladores - são dispositivos que comandam as decisões de variação da taxa de aplicação na máquina. Microprocessadores lêem os dados de entrada dos sensores existentes (como, por exemplo, a velocidade), dados de entrada do usuário (por exemplo, a largura de faixa de distribuição) e calculam a taxa de aplicação com base em um algoritmo que contém os parâmetros de exigência (kg/ha, l/ha e outros). O algoritmo é uma seqüência de procedimentos e cálculos que relaciona os dados de entrada (sensores, mapas e entradas via console) com saídas na forma de tensão ou corrente elétrica, ou pulsos elétricos, que controlam bombas responsáveis pela vazão do produto, fluxo de ar responsável pelo transporte de material, ou válvulas que liberam ou interrompem a saída do produto que está sendo aplicado. Muitos controladores executam tantas funções e têm tantos componentes quanto os computadores pessoais. Têm, de modo geral, microprocessador(es), memórias para armazenagem de dados ou instruções, portas para comunicação serial ou paralela e uma interface de comunicação visual (tela, teclado e outras). Muitos controladores usam a porta serial (geralmente com o protocolo de comunicação padrão RS-232) para comunicação com computadores e/ou o cartão denominado Cartão de Memória para Computadores Pessoais da Associação Internacional (PCMCIA), para receber dados de entrada ou mapas de aplicação de insumos. Muitos controladores, no entanto, só permitem a operação manual, por meio de botões

de comando, para mudar os valores de taxas de aplicação do(s) insumo(s). TOFTE e HANSON (1991) descrevem um pulverizador da Micro-Track Systems em que quatro bombas de injeção do produto podem ser usadas independentemente e simultaneamente e que até sete barras de pulverização podem ser controladas.

Atuadores - são dispositivos que respondem ao sinal dos controladores para regular a quantidade de material aplicado na área de cultivo. A ação do atuador geralmente é a distensão ou contração de uma haste mecânica, a rotação de um eixo, a abertura ou fechamento de uma porta ou válvula ou a mudança de velocidade, seja de um eixo motriz da máquina ou da própria roda motriz do veículo. Esses movimentos permitem variar a vazão de um produto, aumentar ou diminuir a profundidade de plantio ou de sub-solagem, aumentar ou diminuir a pressão numa linha com fluidos e diversas outras funções.

Válvulas solenóides - uma das alternativas para controlar a vazão ou aplicar o produto em pontos localizados tem sido a inclusão de uma válvula solenóide (vide esquema da Figura 4.2), com o bico incorporado, que só permite a aplicação durante sua abertura sobre os locais desejados. Algumas dessas válvulas são acionadas por tensão tipo corrente contínua, mas na forma pulsante (ondas quadradas), de tal forma que uma seqüência com maior número de pulsos garante maior tempo de fechamento ou abertura da válvula, dependendo se ela é normalmente fechada ou normalmente aberta.

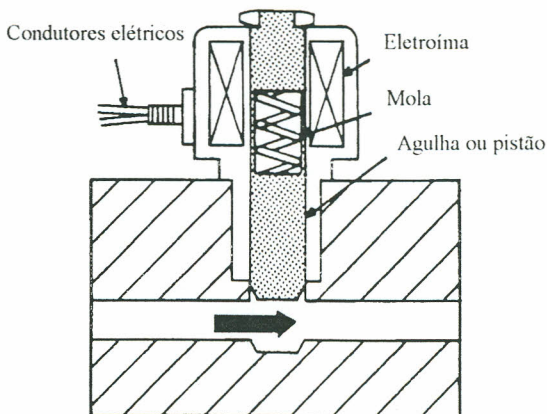


FIGURA 4.2. Válvulas solenóides responsáveis pela abertura do orifício e vazão nos bicos.

Atuadores lineares - desses, os mais comuns são os que utilizam cilindros pneumáticos ou hidráulicos, visando modificar a posição de determinada peça da máquina (Figura 4.3).

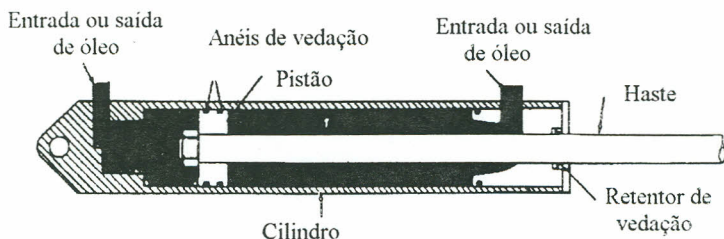


FIGURA 4.3. Atuador linear tipo cilindro hidráulico de dupla ação (empurra e puxa).

Bombas peristálticas - um atuador que modifica a velocidade de um eixo e, com isto, modifica a vazão de um produto na forma líquida é a bomba peristáltica (Figura 4.4a), pois, como se observa, o volume entre dois roletes sucessivos da bomba é constante e o aumento da rotação por unidade de tempo implica em bombeamento de maior volume por unidade de tempo. Quanto à precisão do valor da vazão obtida com esses atuadores, WAY et al. (1990) avaliaram duas bombas peristálticas para verificar o efeito da temperatura e da pressão na precisão de medida da taxa de aplicação de herbicida e concluíram que elas podem levar a erros de 41 a 111% na taxa desejada (a temperatura teve maior efeito no erro).

Bombas de deslocamento linear - BENNETT e BROWN (1997) desenvolveram um sistema para aplicação de herbicida a taxa variável, em que a medida do herbicida era feita por bombas com atuadores lineares (Figura 4.4b). Em cada bico do pulverizador havia uma bomba para dosagem do produto, sendo o tempo de resposta do sistema igual a 0,9s e o coeficiente de variação da vazão nos bicos em condição de regime permanente igual a 0,68%.

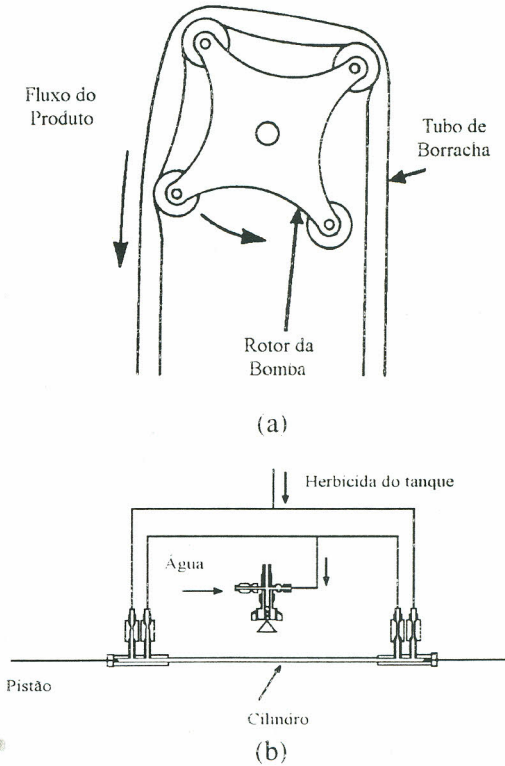


FIGURA 4.4. Bomba peristáltica (a) e bomba de deslocamento linear (b).

Como o produto ativo é introduzido na linha pressurizada, já dosado para aplicação, deve haver tempo suficiente para que haja a mistura do produto com a água do tanque principal. Sendo a introdução do produto muito próxima ao bico, o tempo para mistura pode não ser suficiente, e necessitar de um misturador que garanta a homogeneidade da mistura.

Motor hidráulico - o uso do motor hidráulico para controle da velocidade de acionamento de um eixo motriz é a forma mais comum de variação na taxa de aplicação de produtos químicos na forma sólida e na distribuição de sementes, quando se pretende variar o espaçamento entre as plantas (vide esquema na Figura 4.5). Uma bomba é acionada pelo controle remoto do trator e essa aciona o motor hidráulico. Uma válvula solenóide é intercalada no circuito para controlar a vazão do óleo que vai para o motor hidráulico, associada a uma

válvula aliviadora de pressão. Um sensor de rotações é colocado no eixo motriz do motor para retroalimentação (“*feedback*”) do sistema e um sinal de corrente de largura de pulso modulado é utilizado para abrir a válvula, controlando a rotação do motor por meio do fluxo de óleo. De acordo com o valor de rotação desejado, uma tensão elétrica variando de zero a um valor correspondente à vazão máxima é aplicado ao gerador de pulso modulado e a válvula permanecerá por maior ou menor tempo aberta em função desse controle.

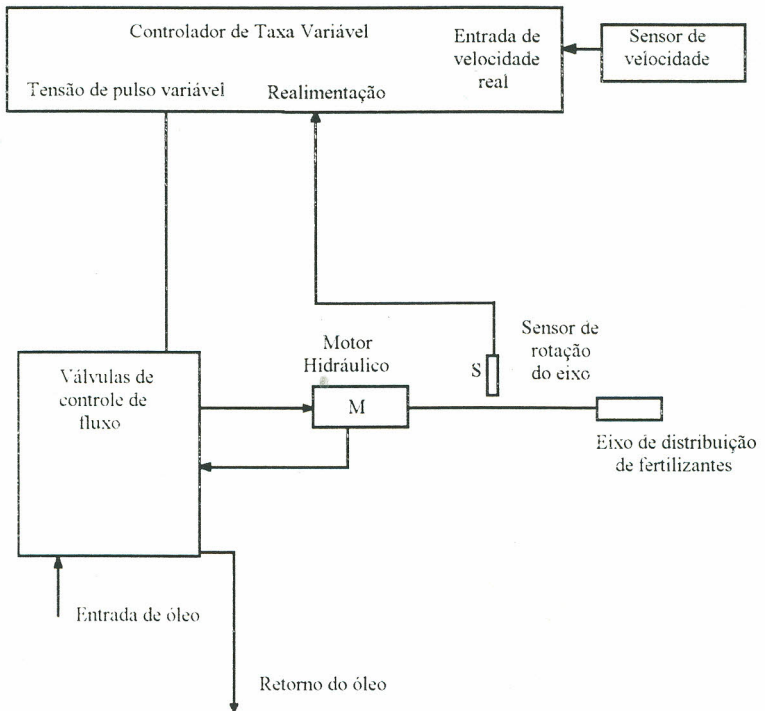


FIGURA 4.5. Esquema do funcionamento do motor hidráulico controlado por motor elétrico.

4.2.6. Preparo do solo

A profundidade de preparo do solo é uma das formas de variar o preparo, visando resolver problemas de compactação. Além disso, a quantidade de resíduos na superfície do terreno pode ser variada com base nas características do solo, para otimizar a temperatura e umidade para o crescimento das plantas em sistema de preparo conservacionistas.

Várias pesquisas têm demonstrado a importância da compactação do solo na produtividade de certas culturas, recomendando que este seja trabalhado com subsoladores sempre que o valor de sua densidade ou a resistência à penetração atinja determinados valores críticos. Por ser uma operação de alto custo, seria desejável executá-la somente nos locais onde fosse realmente necessário, pois, de antemão, sabe-se que determinados pontos são mais sujeitos à compactação que outros (carreadores e cabeceiras de manobra).

Sensores para localização de camadas compactadas incluem aqueles que determinam a textura, umidade e resistência mecânica à penetração do solo. A descompactação localizada se faz, portanto, percorrendo-se a área com o subsolador equipado com sensores para uso em tempo real, que, no momento em que detectarem a camada compactada comandam o abaixamento do subsolador ou por meio de mapas que contenham as coordenadas de todos os locais que devem ser descompactados.

4.2.7. Plantio

4.2.7.1. Aplicadores de fertilizantes e produtos químicos secos

Dentre os aplicadores de produtos químicos de taxa variável incluem-se aqueles que aplicam corretivos e fertilizantes na forma sólida (granulados, pó ou na forma de sais), denominados espalhadores e aplicadores pneumáticos. Os espalhadores são normalmente utilizados para aplicar somente um produto de cada vez por meio de um ou dois discos giratórios localizados na parte traseira do aplicador (Figura 4.6). Uma correia transportadora, ou corrente, transfere material de um depósito e alimenta os discos giratórios. Os grânulos passam através de um registro ajustável, o qual controla a quantidade de produto que cai sobre os discos giratórios. A taxa de aplicação do produto químico pode ser ajustada por meio da modificação da abertura do registro ou modificando-se a velocidade da correia transportadora. Geralmente, o registro é colocado em uma posição e a velocidade do transportador é ajustada para variar a taxa de

aplicação a uma dada velocidade de deslocamento. O mecanismo motor usado para controlar a correia transportadora é semelhante ao utilizado para semeadoras com densidades de plantio diferentes.

Os aplicadores pneumáticos têm depósitos localizados centralmente e tubos de ar que saem dos depósitos para o ponto de descarga (Figura 4.7). Os produtos químicos são transportados pelo fluxo de ar e distribuídos por placas deflectoras, na saída do sistema. Um ou vários produtos podem ser misturados e dosados à medida que a máquina se desloca com controladores de dosagem existentes em cada depósito.

A adubação orgânica por meio de esterco, composto, e outros produtos sólidos deve ser tal que a quantidade aplicada atenda às necessidades da cultura, maximizando a disponibilidade de nutrientes, e, ao mesmo tempo, minimizando o potencial de poluição do solo e das águas. Como exemplo, um distribuidor de esterco desenvolvido pela New Holland North America, Inc. é descrito por GLANCEY et al. (1997). O equipamento descarrega o produto pela parte traseira, é suportado por um eixo com dois pneus de alta flutuação, articulados em cada ponta, e pode transportar até cinco toneladas de esterco.

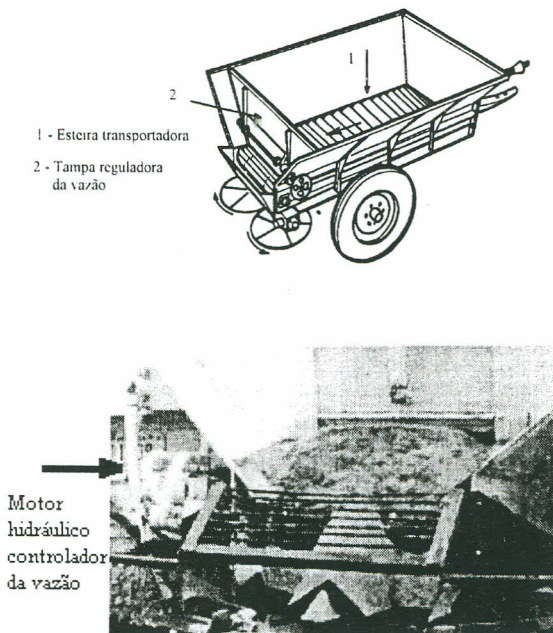


FIGURA 4.6. Distribuidor de produtos químicos na forma sólida, tipo espalhador

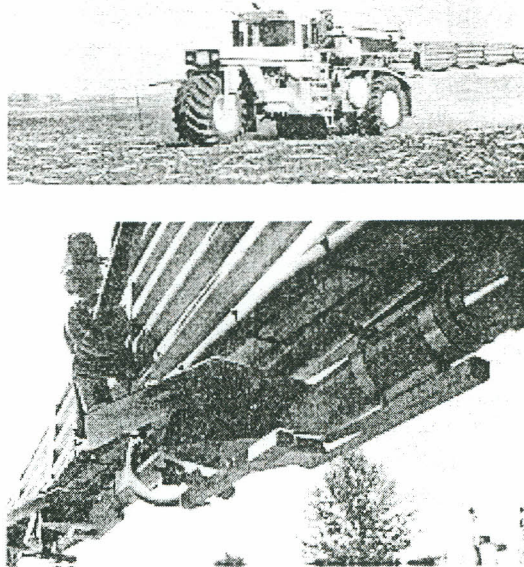


FIGURA 4.7. Distribuidor de produtos químicos na forma sólida, tipo pneumático.

O circuito hidráulico do distribuidor consta de uma bomba acionada pela TDP do trator, um comando de vazão do óleo e um motor hidráulico acoplado aos eixos sem-fim ou parafusos sem-fim que transportam o material até o ponto de saída dos depósitos da máquina. A velocidade dos sem-fim, que controlam a taxa de aplicação pode ser mudada de forma manual ou por meio de um microcontrolador. De posse da velocidade de trabalho, largura ou faixa de aplicação e taxa recomendada, o microcontrolador comanda a vazão do óleo para se atingir a vazão recomendada. A vazão é monitorada por meio de extensômetros posicionados no eixo do sem-fim motriz (torque) e no engate da barra de tração (momento provocado pela massa ainda existente no vagão).

Os dados de entrada são a largura de distribuição e a taxa de aplicação desejada. O tempo de resposta do sistema de controle da taxa de aplicação é da ordem de 60 segundos, o que faz com que, para um distribuidor com 12 m de largura de espalhamento, deslocando-se a 9,6 km/h, ande 160 m até que a taxa de aplicação seja atualizada, o que resulta em que a menor área ou grade de amostragem que pode ser atualizada quimicamente está em torno de 0,2 hectare (GLANCEY et al., 1997).

4.2.7.2. Distribuição de sementes

Algumas culturas são sensíveis ao espaçamento e à população de plantas ou estande. Equipadas com sensores de umidade, uma semeadora pode colocar a semente a uma profundidade ótima para a germinação, com base no conteúdo de umidade.

Uma semeadora com profundidade de plantio variável (vide esquema na Figura 4.8) 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.

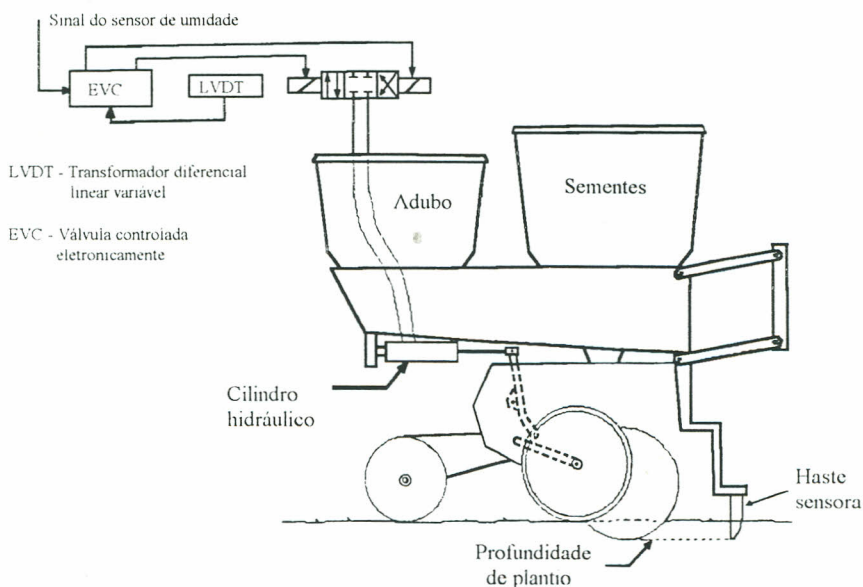


FIGURA 4.8. Variação da profundidade de plantio com base na umidade do solo.

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.

A calibração das semeadoras de precisão é realizada no campo, no início da semeadura. O espaçamento dentro de cada linha é a variável medida para determinar se a semeadora está colocando a semente no solo na densidade desejada. O processo pode ser um pouco desgastante, uma vez que um certo número de sementes precisa ser descoberto para realmente se determinar o espaçamento médio entre sementes dentro da linha.

Outras semeadoras podem permitir modificação da variedade a ser semeada. Isso requer um depósito extra ou divisões nos depósitos já existentes e equipamentos de controle e atuadores, para modificar a variedade durante o percurso da máquina no campo.

4.2.7.3. Sistema de taxa de aplicação variável para sementes/fertilizantes (NEUHAUS e SEARCY, 1993)

Neste sistema, foram posicionados no trator um módulo composto de uma interface para o usuário, um sistema de localização, um sensor de velocidade de deslocamento e um computador. No implemento, foi posicionado outro módulo, composto de um controlador de vazão do fertilizante, um controlador do número de sementes distribuídas e um módulo controlador do implemento. O computador recebia a informação da localização e da velocidade, determinava sua posição no campo e, com base no mapa de aplicação, determinava o que deveria ser feito. O módulo controlador do implemento recebia do computador a informação da velocidade de deslocamento, do espaçamento entre sementes

e da taxa de aplicação de fertilizantes e determinava as modificações que deveriam ser feitas na regulagem do sistema. Um sistema de comunicação conectava o módulo do trator ao módulo do implemento.

A comunicação entre o trator e o implemento seguiu a norma SAE J1939, que define o padrão de rede de comunicação para veículos, sendo feita utilizando-se uma porta serial RS-232 para conectar os dois módulos.

O sistema de posicionamento usava o processo da triangularização, com sinais de microondas, e a velocidade era medida por um radar.

A unidade de semeio era uma semeadora de duas linhas, cuja única modificação permitida era a rotação do prato dosador. O sistema de transmissão que ligava a máquina à roda de terra foi desativado e o prato dosador de sementes era conectado a um eixo movido por um sistema de suprimento de potência.

O sistema de aplicação de fertilizante era composto por um tanque de 570 litros de fertilizante nitrogenado líquido, uma bomba centrífuga e um controlador do volume de fertilizante aplicado. A vazão de fertilizante era controlado por um sinal que podia variar entre zero e cinco volts. A voltagem de entrada era utilizada pelo sistema de monitoramento para determinar o ponto de regulagem ideal. A voltagem de entrada determinava qual dos dez valores de ganhos deveriam ser utilizados, a partir de uma tabela pré-determinada, para modificar o ponto de regulagem. O ponto de regulagem desejado era armazenado na memória EEPROM do controlador. Os valores de ganho eram facilmente modificados para uma variedade de situações. Os valores iniciais eram de 0,0 a 1,8, com incrementos de 0,2, e esses foram os valores de ganho utilizados no trabalho. Nesse sistema, a tensão de entrada era fornecida por um conversor digital-analógico. Um sensor de fluxo colocado no controlador fornecia o sinal de retroalimentação e a unidade era conectada diretamente ao radar, para obtenção da velocidade de deslocamento.

O mapa de aplicação era constituído de pontos do contorno do campo e uma malha uniforme sobreposta a ele, tendo uma taxa de aplicação de sementes e uma taxa de aplicação de fertilizantes para cada célula da malha.

O computador recebia a informação da posição do trator no campo, determinava no mapa em qual célula da malha o trator estava trabalhando, se o trator estava entrando em uma nova célula e, em caso positivo, verificava se as dosagens de sementes e/ou fertilizantes precisavam ser modificadas. Se as dosagens precisassem ser modificadas, os novos valores de dosagem eram enviados para o módulo controlador do implemento. Junto com essa informação, o programa computacional enviava também, a cada segundo, a velocidade de deslocamento do sistema obtida com uso do radar. Os sinais de entrada vinham do módulo do trator, pelo cabo de comunicação serial, e a saída era o sinal de

largura de pulso modulado para a válvula solenóide e a tensão para o controlador de aplicação de fertilizantes.

A unidade central de processamento (CPU) do controlador do módulo localizada no implemento tinha capacidade para executar quinhentas mil instruções por segundo. Um programa computacional foi desenvolvido em linguagem assembler e gravado na EEPROM dessa CPU e as constantes que descreviam as características da semeadora eram facilmente modificadas nessa EEPROM. O programa rodava continuamente, até que um sinal de interrupção era recebido do computador. A informação era manipulada e armazenada na memória.

O controle da semeadora era feito com base no espaçamento desejado entre sementes, na velocidade de deslocamento, no número de sementes por revolução do prato, no número de pulsos do motor hidráulico contado durante um determinado intervalo de tempo e um fator de conversão pré-calculado. A velocidade era transmitida para a CPU, em decâmetros por hora, e o espaçamento entre sementes, em milímetros. O número de sementes por revolução do prato era enviado uma única vez pelo módulo do trator, durante a inicialização do sistema. O módulo do trator enviava a informação referente à velocidade de deslocamento a intervalos de um segundo e o espaçamento entre sementes era enviado sempre que uma modificação na dosagem de sementes era identificada.

O fator de conversão era calculado para a configuração da semeadora e armazenado na EEPROM, para permitir alterações quando a relação de transmissão ou o intervalo de tempo de contagem eram modificados. A configuração da semeadora usada foi de quatro revoluções do motor hidráulico para cada revolução do prato dosador e o intervalo de tempo para contagem dos pulsos de retroalimentação foi de 0,25 segundos. O codificador fornecia 20 pulsos por revolução do motor hidráulico. Dessa forma, tinha-se:

$$\frac{10.000 \text{ mm}}{1 \text{ dam}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{20 \text{ pulsos}}{1 \text{ rev. do motor}} \cdot \frac{4 \text{ rev. do motor}}{1 \text{ rev. do prato}} \cdot \frac{1 \text{ s}}{4 \text{ períodos de amostragem}} =$$

$$= 55,556 \frac{\text{mm} \cdot \text{h} \cdot \text{pulsos}}{\text{dam} \cdot \text{rev. do prato} \cdot \text{período de amostragem}}$$

Esse fator de conversão, mais o número de sementes por revolução do prato, o espaçamento entre sementes requerido e a velocidade instantânea foram usados para calcular o número de pulsos para o período de tempo escolhido. Esse fator de conversão não se modificava para uma dada configuração da

máquina. Assim que o número de sementes por revolução do prato dosador (por exemplo, 36) era recebido, o fator de conversão era usado para determinar todos os cálculos subsequentes de espaçamento entre sementes:

$$= 55,556 \frac{\text{mm} \cdot \text{h} \cdot \text{pulsos}}{\text{dam} \cdot \text{rev. do prato} \cdot \text{período de amostragem}} \cdot \frac{1 \text{ rev. do prato}}{36 \text{ sementes}}$$

$$= 1,54 \frac{\text{mm} \cdot \text{h} \cdot \text{pulsos}}{\text{dam} \cdot \text{período de amostragem} \cdot \text{sementes}}$$

A qualquer momento que o valor da velocidade de deslocamento e espaçamento entre sementes era recebido (por exemplo, 483 dam/h e 38 mm/ semente), o número de pulsos por período de amostragem era determinado.

$$= 18 \frac{\text{pulsos}}{\text{período de amostragem}}$$

Esse número era armazenado na memória RAM e comparado com o valor real de pulsos do codificador, contados para se determinar o erro na velocidade angular do motor. Esse procedimento utilizava números inteiros, o que resultava em pequena perda de precisão, devido aos erros de arredondamento (19,9 era arredondado para 19, assim como 19,1 era arredondado para 19). Esse erro foi compensado adicionando uma unidade ao valor de pulsos ideal calculado acima.

O motor hidráulico foi calibrado e a curva de resposta foi linearizada em três faixas. O nível de tensão inicial, calculado quando uma nova dosagem de sementes ou uma nova velocidade era recebida, tinha um elevado valor de ganho, para fazer com que a velocidade angular do prato dosador chegasse ao valor correto o mais rápido possível. Após a tensão inicial de saída, o valor do ganho do loop de retroalimentação era reduzido, para manter a regulação até que um novo valor de velocidade ou dosagem fosse recebido.

O controle do fertilizante era feito com base na transmissão pelo módulo do trator, da dosagem requerida, de um fator de resolução pré-calculado e da velocidade de deslocamento. Essa taxa de aplicação era mais fácil de ser controlada, porque o sistema controlador do implemento tinha uma unidade de radar e um sensor de fluxo para obtenção do sinal de retroalimentação. A velocidade de deslocamento era necessária para permitir o desligamento remoto do sistema se o aplicador ainda estivesse movimentando, por exemplo, quando o aplicador estava sendo manobrado no final da linha. Quando a CPU recebia

um valor zero para a velocidade, o monitor do aplicador recebia uma tensão igual a zero, parando a aplicação.

O fator de resolução era calculado dividindo-se o máximo valor de um número de 8 bits, 255 (o conversor digital-analógico trabalhava com 8 bits) pela dosagem máxima de fertilizante a ser aplicada. Essa máxima taxa de aplicação dependia da necessidade estabelecida pelo usuário. Para se estabelecer essa dosagem máxima, era obtido o valor mediano da faixa a ser aplicada (por exemplo, 350 kg por hectare). A máxima taxa de aplicação era obtida multiplicando-se esse valor por 1,8.

$$350 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 1,8 = 630 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \quad \Rightarrow \quad \frac{255}{630 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}} = 0,40 \frac{\text{ha}}{\text{kg}}$$

Se a velocidade transmitida pelo módulo do trator não era zero, o programa armazenado na CPU do controlador do implemento verificava se existia uma nova regulagem de vazão a ser implementada. Se uma nova dosagem precisasse ser implementada (por exemplo 210 kg por hectare), esse valor era multiplicado pelo fator de resolução, para se determinar o valor que seria enviado pelo conversor digital-analógico.

$$0,40 \frac{\text{ha}}{\text{kg}} \cdot 210 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 84$$

Esse novo valor era armazenado na memória RAM e usado no próximo passo do loop, para atualizar o conversor digital-analógico e o controlador do fertilizantes. Esse valor calculado era transformado pelo conversor digital-analógico em um sinal na faixa de 0 a 5 volts, produzindo um sinal de saída de 1,6 volts.

4.2.8. Tratos culturais

4.2.8.1. Aplicadores de defensivos agrícolas

Devido às implicações ambientais, a aplicação de pesticidas é hoje mais fiscalizada do que em qualquer época anterior. 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 cursos 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 de 37 pulverizadores em campo, OZKAM (1986) detectou que somente 20% dos pulverizadores estudados estavam com uma taxa dentro de 5% de variação ao valor desejado e calibrado. Dos outros pulverizadores, 44% estavam com taxa acima da desejada e 56% abaixo da desejada. RIDER e DICKEY (1982) já haviam detectado, em Nebraska, EUA que, de 1.979 propriedades analisadas, somente ¼ delas estavam com a vazão de pulverização dentro da variação de 5%. Ainda em Nebraska, GRISSO et al. (1985) detectaram que 92% dos agricultores só faziam a calibração de pulverizadores uma vez por ano e que a principal causa de erros de aplicação era a falta de calibração.

Dentro da filosofia de aplicar somente o necessário e no local exato, as técnicas de aplicação a taxa variável (vide esquema da Figura 4.9) 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 de 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.

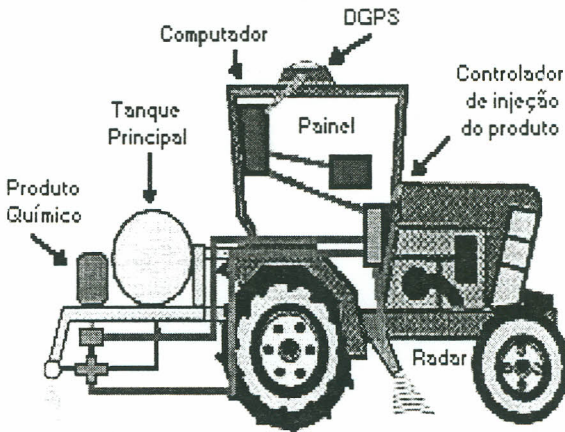


FIGURA 4.9. Esquema de um pulverizador para aplicação localizada (SEARCY, 1997)

Nos países desenvolvidos, a maioria dos pulverizadores, sejam acoplados a tratores ou automotrizas, já saem de fábrica, ou pode-se adquiri-los como opcionais, 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 desses 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 plantas 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 desses pontos.

O sistema comercial denominado *Capstan's Synchro* é um sistema controlador de fluxo que consta de um conjunto de válvulas, normalmente abertas (uma para cada bico pulverizador), acionadas por solenóides alimentados com tensão de 12V, pulsos com formato de ondas retangulares de 60 Hz e consumo

de corrente por válvula igual a 0,625A. Quando não acionadas, o fluxo em cada válvula é máximo, e para qualquer acionamento das válvulas o fluxo passa a ser diretamente proporcional ao tempo no ciclo da tensão no qual a válvula fica aberta. O sistema se aplica até 48 válvulas ou bicos, ou três barras de 16 válvulas ou bicos, e as válvulas são afixadas diretamente no corpo de cada bico (GOPALAPILLAI e TIAN, 1997). O sistema pode ser adaptado a qualquer pulverizador comercial.

Um protótipo desenvolvido no Instituto de Pesquisa de Silsoe, na Inglaterra (Frost, 1990, Stafford e Miller, 1993), injeta o pesticida diretamente na linha de pulverização, evitando a sua mistura no tanque. O uso deste sistema permite a aplicação de herbicida em três níveis de concentração ou a aplicação de três tipos diferentes de herbicida em cada aplicação. A barra de pulverização é dividida em segmentos de dois metros de largura e cada segmento é alimentado separadamente pelo sistema, ou seja, a faixa mínima de controle ou de aplicação a taxa variável é de dois metros de largura. O controle é feito por meio de um computador portátil e o tempo de atraso na resposta do sistema é de 5 segundos (BLACKMORE e PARKIN, 1997).

Como o produto ativo é introduzido na linha pressurizada, já dosado para aplicação, deve haver tempo suficiente para que haja a mistura do produto com a água do tanque principal. Sendo a introdução do produto muito próxima ao bico, o tempo para mistura pode não ser suficiente, e necessitar de um misturador que garanta a homogeneidade da mistura. Na Figura 4.10 é apresentado um exemplo de misturador que pode ser incorporado à linha de pulverização, garantindo uma mistura perfeita.

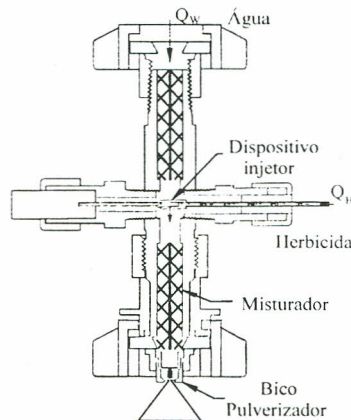


FIGURA 4.10. Misturador água/produto, tipo estático, incorporado à linha de pulverização

Falhas inerentes aos sistemas de taxa de aplicação variável

Uma das fontes de erros nos sistemas de taxa de aplicação variável é o tempo que o sistema leva desde o momento em que recebe a informação do controlador/computador do valor de uma nova taxa de aplicação até o momento em que o produto chega efetivamente na cultura e local desejados para aplicação. FROST (1990), ao avaliar um sistema de aplicação de pesticidas tipo taxa de aplicação variável, com água e pesticida colocados em tanques separados, misturados em uma bomba de membrana, dosados por outra bomba e daí levados para bico, encontrou que o tempo de atraso variava de três a oito segundos. Entre as sugestões para a redução desse tempo de atraso, em aplicadores de pesticidas, estão: aumentar a taxa de fluxo, reduzir o diâmetro da mangueira na barra de pulverização e diminuir a dependência da liberação do produto da velocidade de avanço da máquina (exemplo, abaixando o bico pulverizador).

Outra falha também bastante séria pode ser a variabilidade da deposição do produto sobre o solo ou folhagem da cultura ou planta daninha. VIDRINE et al. (1975) ao compararem a aplicação de agroquímicos pelo método de taxa de aplicação constante e a taxas variáveis, encontraram que a variabilidade na deposição é maior no sistema taxa de aplicação variável. Além disso, há um erro transiente na aplicação sempre que, por qualquer motivo, houver variação na velocidade de deslocamento da máquina.

O que se espera para o futuro

Relativamente aos benefícios para o meio ambiente, a adoção da tecnologia de agricultura de precisão tem sido discutida, mas não há até o momento quantificação das verdadeiras vantagens ou redução do impacto ambiental que a tecnologia trará.

Para se discutir o que seria desejável em termos de versatilidade, confiabilidade e precisão de um equipamento de taxa de aplicação variável, e qual deveria ser o direcionamento que a tecnologia deveria seguir, tome-se, como exemplo, um pulverizador de barras para produtos líquidos, dos modelos mais simples. As funções e os tipos de sensores, controladores e atuadores abordados estão somente dentro de um cenário provável, ressaltando-se que todos eles, e inclusive os métodos de controle, poderão ser outros e não os aqui abordados.

O equipamento deverá ter com certeza um sensor para medir a verdadeira velocidade de deslocamento da máquina, baseado provavelmente em radar, usado para fornecer este dado ao computador/controlador, já que a taxa de aplicação é função da velocidade.

A tendência na aplicação do produto líquido aponta para o uso de injetores

que colocam o produto diretamente na linha de pulverização, o mais próximo possível do bico pulverizador. O(s) produto(s) é(são) colocado(s) em depósito(s) independente(s) e é(são) bombeado(s) na medida da necessidade, e automaticamente misturado(s) com a água que vem do depósito ou tanque principal. A principal vantagem desse método é a segurança, pois, dessa forma, evita-se o contágio durante a mistura do produto com a água no tanque principal. Além disso, existe a possibilidade de aplicar mais de um produto com a mesma máquina. O tanque principal deverá ter um sensor de nível, que sempre informará ao computador/controlador a quantidade de água ainda existente a qualquer momento. Um sensor de fluxo informará ao computador a taxa de aplicação e este “feed back” permitirá o ajuste fino da taxa de aplicação. A taxa de aplicação e a posição do veículo serão continuamente registradas no computador, para um histórico sobre onde o(s) produto(s) foi(foram) aplicado(s) e a quantidade dos mesmos, para registro no GIS.

A inspeção de campo para identificação da presença de pragas e/ou doenças deverá ser feita pelo produtor, sempre munido de uma unidade de GPS portátil, de tal forma que, após identificada(s) as pragas e/ou doenças, e feita uma avaliação de sua intensidade ou densidade de insetos em cada parcela, o mapa com esses dados possa ser descarregado no GIS, para a área sob controle.

O *software* de GIS deverá examinar os dados e correlacioná-los com as condições climáticas do momento e estimadas para os dias seguintes, com a fase de desenvolvimento ou “idade” da cultura, histórico da cultura e aplicações químicas já efetuadas. O *software* deve modelar o desenvolvimento da cultura e o resultado esperado da ação da doença ou praga na produtividade da cultura (exemplo, o PESTDEC para lagarta da soja, MISHOE e WILKERSON, 1992). O principal objetivo é avaliar o custo de aplicação do produto para controle da doença ou praga, sob diversos cenários possíveis:

- aplicação uniforme sobre toda a área;
- aplicação somente nos focos de infestação;
- não aplicar.

Assumindo que esse sistema indique que a aplicação do produto de controle deva ser somente nas áreas infestadas, diversos mapas deverão ser, então, introduzidos no computador/controlador do equipamento de aplicação variável: 1-coordenadas dos pontos de contorno da área, incluindo estradas e cursos d’água existentes; 2-coordenadas dos pontos de contorno da cultura; 3-coordenadas de cada linha de plantio da cultura; 4-coordenadas dos pontos de localização das infestações e nome dos insetos ou doenças. À medida que o veículo se aproximar da área que deve receber a pulverização, a bomba principal iniciará seu funcionamento e as válvulas dos bicos começarão a pulverizar

água. A bomba injetora do produto na linha pressurizada será acionada no tempo próprio, levando-se em conta o tempo de atraso para que o produto chegue ao bico e seja ejetado e, na medida em que o veículo se aproximar do final da área que está sendo pulverizada, a saída do produto será encerrada. Após sair água o suficiente para “limpar” as tubulações, as válvulas dos bicos também serão fechadas. Na Figura 4.11, apresenta-se um esquema dos componentes que devem integrar o sistema.

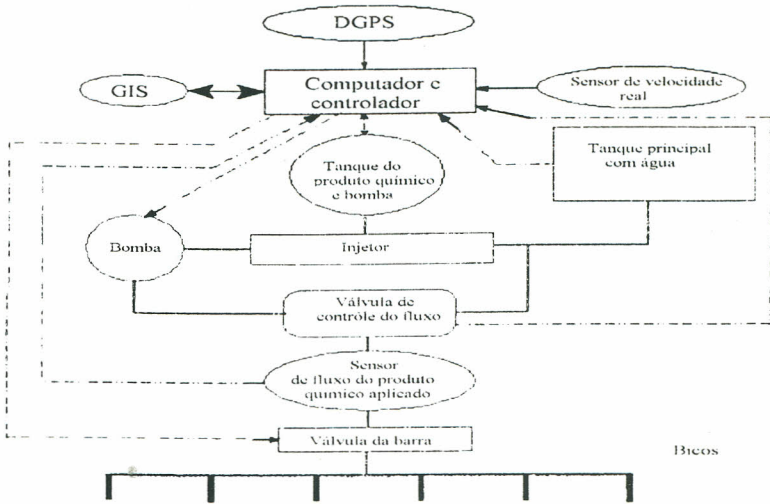


FIGURA 4.11. Esquema dos componentes do sistema de aplicação a taxa variável.

4.3. MÁQUINAS DE COLHEITA E MAPAS DE PRODUTIVIDADE

4.3.1. Colhedora e seus sensores

A colheita mecânica, um dos componentes do sistema de produção, é, sem dúvida, a operação que mais tem se beneficiado com a tecnologia da agricultura de precisão. Os comandos, controles e/ou monitoramentos que nos equipamentos convencionais de colheita eram realizados manualmente, agora podem ser realizados automaticamente, através de sensores instalados em diferentes partes da colhedora, que facilitam todo o processo de campo. Para mostrar o avanço tecnológico que o processo de colheita vem adquirindo, é

importante descrever não só o equipamento, mas também os benefícios que foram incorporados a praticamente todas as operações mecânicas e de tomada de decisão que são realizadas durante o sistema de produção.

A colhedora automotriz utilizada na agricultura de precisão e as contribuições que vêm sendo incorporadas ao sistema de produção são descritas a seguir, em quatro componentes, com as suas respectivas funções:

- a) colhedora automotriz e seus sensores;
- b) sistema de posicionamento e transmissão de dados;
- c) sistema de coleta, armazenamento e tratamento dos dados;
- d) mapeamento e monitoramento da área colhida.

Colhedora automotriz e seus sensores

De acordo com BLACKMORE (1994), a Massey Ferguson foi a primeira companhia a produzir uma colhedora comercial para mapeamento de produtividade dos grãos. Esse sistema possibilitou o monitoramento instantâneo de todas as operações realizadas pela máquina de colheita, gravando as informações em um tempo pré-determinado, incluindo a localização da colhedora em latitude e longitude, com a sua respectiva produtividade. Em seguida vieram, os projetos da John Deere, AGCO, New Holland, e Case, que estão disponíveis no mercado Europeu e dos Estados Unidos e, mais recentemente, no Brasil. Na Figura 4.12, é apresentado um esquema dos sistemas que têm sido implantados nas colhedoras de grãos.

Para o sistema de monitoramento instantâneo da produtividade dos grãos, os seguintes componentes são encontrados na maioria das colhedoras disponíveis no mercado mundial, que operam dentro do conceito de agricultura de precisão:

- 1) sensor para medir o fluxo de grãos;
- 2) sensor para medir o teor de umidade dos grãos;
- 3) sensor para medir a velocidade de colheita;
- 4) indicador da posição do cabeçote de colheita;
- 5) monitor de funções das operações;
- 6) antenas GPS.

A descrição dos componentes utilizados na colhedora automotriz é feita a seguir, de acordo com MORGAN e ESS (1997):

1) Sensor para medir o fluxo de grãos

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. O sensor para medir o fluxo de grãos é tipicamente montado

no topo do elevador de canecas de grãos limpos. Os tipos de sensores utilizados são:

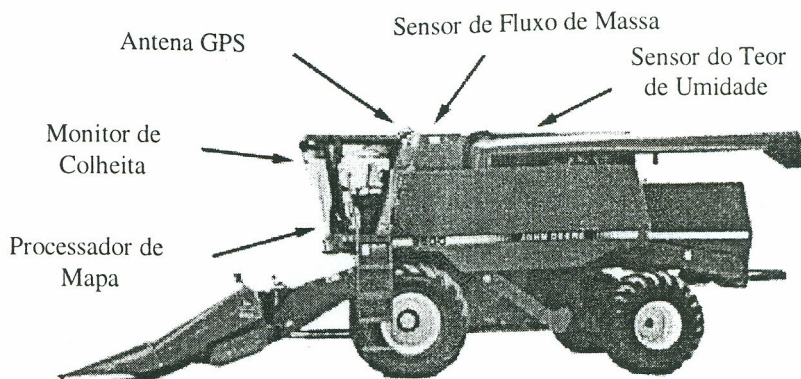


FIGURA 4.12. Distribuição dos diferentes componentes na colhedora (MORGAN e ESS, 1997).

i) Sensor de impacto

O fluxo de grãos pode ser sentido colocando-se uma placa de impacto na trajetória deste fluxo e medindo-se a força aplicada, tanto pelo impacto do grão como pelo deslocamento da placa, que ocorre quando o grão atinge a mola de carga da placa. Os métodos de medição da força e do deslocamento são muito semelhantes. A força é medida por uma célula de carga, em que um extensômetro elétrico de resistência é soldado nesta, para registrar, através de sinais elétricos, as deformações sofridas durante o impacto na placa.

ii) Sensor de deslocamento de placa

Um potenciômetro pode ser usado para medir o deslocamento de uma placa de impacto que é atingida por um fluxo de grãos. A distância que a placa de impacto é deslocada é proporcional ao fluxo de grãos para ambos, para sensores do tipo força e tipo deslocamento.

iii) Sistema radiométrico

É um outro procedimento para medir fluxo de grãos, que mede a intensidade de radiação de energia. Esse sistema de monitoramento de produtividade, que usa uma fonte radioativa isotópica-Americium 241 e um sensor, está disponível no comércio europeu, há vários anos.

A fonte radioativa irradia e direciona a radiação para o sensor. A intensi-

dade de radiação detectada pelo sensor é máxima quando não há nada obstruindo sua passagem. Qualquer obstrução entre a fonte radioativa e o sensor vai diminuir a intensidade de radiação detectada pelo sensor. No monitoramento da produtividade do grão, a redução de intensidade é dependente da quantidade de grãos entre a fonte e o sensor. Quanto menos radiação o sensor detecta, maior é a massa de grãos fluindo entre a fonte isotópica e o sensor. O sistema mede a massa de grãos e a medição não é afetada pelo tipo de grão. Quando a massa de dados é combinada com os dados de velocidade, na qual os grãos fluem através do sensor, os dados de massa podem ser convertidos em uma taxa de fluxo de massa (t/h). O armazenamento dos dados de produtividade realizado pelo sistema é expresso em t/ha. Na Figura 4.13, é apresentado o esquema de um sistema de determinação do fluxo de grãos utilizando-se um sensor radiométrico.

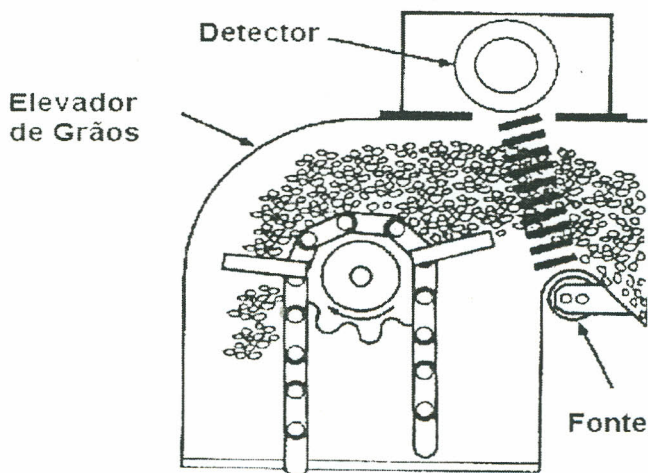


FIGURA 4.13. Sensor radiométrico do fluxo de grãos (MORGAN e ESS, 1997).

iv) Sistema de célula de carga

Alguns dos sistemas de monitoramento de produtividade geralmente pesam o grão quando ele passa através do caracol ou parafuso-sem-fim de transporte de grãos limpos das colhedoras. Como pode ser visto na Figura 4.14, o tubo que recebe o parafuso-sem-fim da colhedora é apoiado por um braço que tem conexão com uma célula de carga. O dado de medida de peso é combinado com os dados de velocidade de colheita, teor de umidade do grão e a largura de corte da plataforma, com a finalidade de estimar a produtividade de grãos por unidade de área colhida.

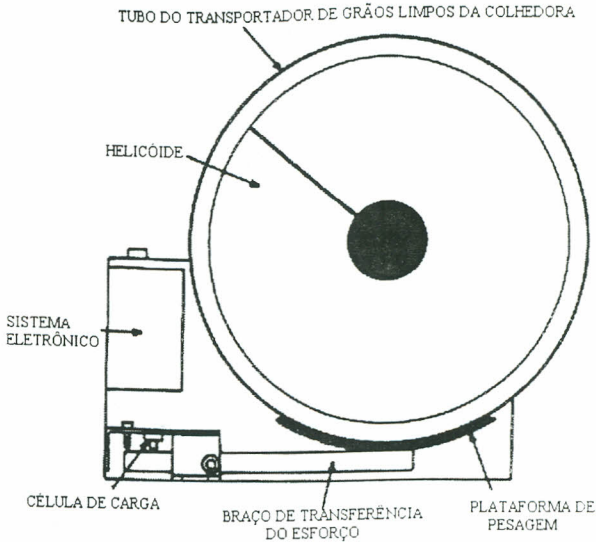


FIGURA 4.14. Sensor do fluxo de grãos com base em célula de carga. (MORGAN e ESS, 1997).

v) Sistema de medição por volume

Uma última categoria de sistema de monitoramento de produtividade do grão mede o volume do grão dentro do sistema de elevador de canecas de grãos limpos. Como mostra a Figura 4.15, esse sistema usa uma fonte de luz e um fotossensor, que detecta o grau ou a condição de carga do elevador de canecas. A radiação de energia é detectada pelo fotossensor e convertida em sinais elétricos. Medidas de períodos de luz e de escuro realizadas pelo fotossensor são usadas para estimar a taxa de fluxo de volume de grãos através do elevador de canecas. Essas medidas são afetadas pelo tipo de grão colhido e pelo teor de umidade. É necessário calcular a densidade aparente do grão colhido para calcular a produtividade do grão com este sistema.

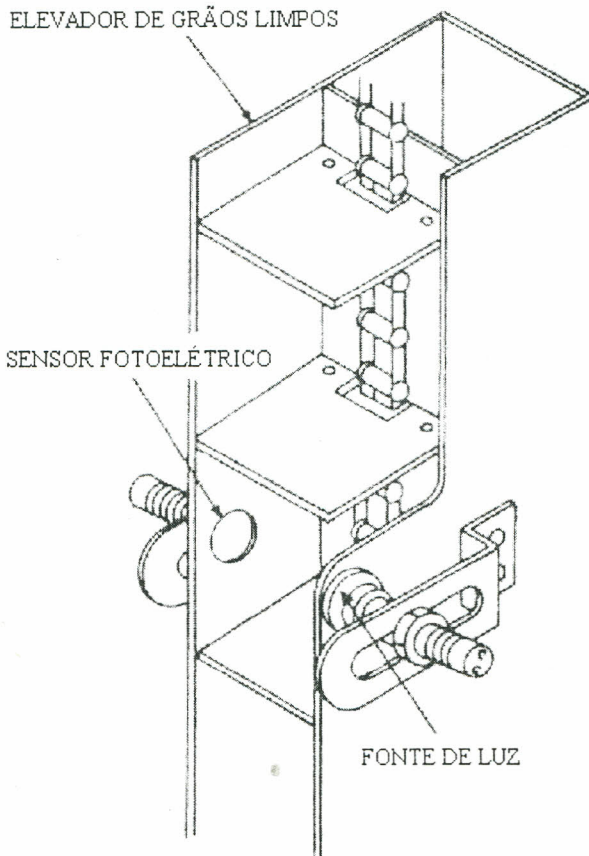


FIGURA 4.15. Sensor de fluxo de grãos com base na determinação do volume de grãos transportado (MORGAN e ESS, 1997).

2) Sensor para medir o teor de umidade do grão

O sensor utilizado para determinar o fluxo de grãos é geralmente colocado no sistema de transporte do grão, dentro do elevador de canecas de grãos limpos, próximo ao sensor que mede o fluxo de massa. O sensor do tipo capacitância é o mais comumente usado para medir o teor de umidade do grão. Quanto maior o teor de umidade do grão maior é a constante dielétrica.

3) Sensor para medir a velocidade de colheita: quatro tipos de sensores são disponíveis no mercado para medir a velocidade de deslocamento da colhedora:

i) No eixo da roda motriz

Através de sensores magnéticos, a velocidade é medida, registrando os giros do eixo da roda motriz, da transmissão da colhedora. A velocidade de saída do eixo da transmissão está diretamente relacionada com a rotação das rodas. Entretanto, esse método está sujeito a erros, devido ao problema de patinação das rodas. Além disso, a deflexão do pneu, devido à carga que o depósito da colhedora vai recebendo, durante a colheita, reduz o raio de rolamento das rodas motrizes.

ii) Radar

O radar é um sensor montado na estrutura da colhedora, próximo ao solo, que emite um sinal de micro ondas direcionado para o solo. Esse sinal é refletido, após atingir o solo, e com o movimento relativo estabelecido entre a colhedora 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 mato.

iii) Ultra-som

O ultra-som é um sensor montado na estrutura da colhedora, próximo ao solo, que emite ondas de som de alta frequência, direcionadas para o solo. Esse sinal é refletido de volta, após atingir o solo, e, com o movimento relativo estabelecido entre a colhedora e o chão, produzirá uma mudança de frequência no sinal, que é captado pelo sensor de velocidade.

iv) GPS

O sistema de medição de velocidade calcula a velocidade de deslocamento da colhedora com base no efeito do movimento do veículo, pelas ondas de frequência de sinal de rádio, que são recebidas pelo satélite. Nesse caso, a precisão da estimativa da velocidade está relacionada com a precisão de posicionamento do aparelho de recepção do sinal.

4) Indicador da posição do cabeçote de colheita

O indicador da posição do cabeçote de colheita é um sensor que emite um sinal para o monitor quando o cabeçote de colheita está na posição levantado, mostrando a interrupção de colheita, como, por exemplo, nas viradas no final das linhas. Esse 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, indicando a posição.

5) Monitor de funções das operações

O monitor de funções das operações é montado na cabina da colhedora, conectado a todos os sensores, e permite monitorar todas as operações que estão sendo medidas, para calcular o mapa de produtividade dos grãos. Além disso, esse monitor permitirá ao operador da máquina 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 a avaliação do mapa comparativo de produtividade dos grãos.

4.3.2. Sistema de posicionamento global - GPS

O sistema de posicionamento global é um sistema baseado em satélites, criado e operado pelo Departamento de Defesa Americano. O sistema tornou-se totalmente operacional em 27 de abril de 1995.

O GPS permite obter a posição 24 horas por dia, em qualquer ponto da terra. O GPS pode ser dividido em três partes: o segmento espacial; o segmento de controle e o segmento do usuário.

O segmento espacial é formado pelos 24 satélites orbitando a 20.200 km acima da superfície da terra. Os satélites completam uma volta em torno da terra a cada 12 horas e estão dispostos em seis diferentes órbitas, com quatro satélites operando em cada uma. Cada satélite é equipado com um transmissor e um receptor de rádio, capazes de enviar e receber ondas de rádio, transmitidas na faixa de 1.200 a 1.500 MHz, e se deslocam na velocidade da luz, ou seja, 300.000 km/s no vácuo. Cada satélite é equipado com quatro relógios atômicos (dois de césio e dois de rubídio). Na realidade, cada satélite necessita apenas um relógio, os outros três são extras.

O segmento de controle é constituído por uma série de estações terrestres que, têm a função de monitorar os satélites. A estação principal está localizada na base aérea de Falcon, localizada em Colorado Springs, estado do Colorado, nos Estados Unidos. As estações de monitoramento medem os sinais das ondas de rádio e enviam essa informação para a estação principal que utiliza essa informação para calcular a órbita exata dos satélites e atualiza os sinais de navegação emitidos por estes.

O segmento do usuário é constituído pela unidade de GPS ou receptor. É usado por uma pessoa ou veículo para determinar a posição do mesmo.

O GPS determina a posição medindo a 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 o satélite e o receptor. Os erros na determinação da distância entre os satélites e o receptor são devido a erros na determinação do tempo pelo aparelho receptor, erros na posição e no tempo emitidos pelo satélite e erros na transmissão do sinal.

Os satélites do sistema GPS transmitem dois sinais de rádio numa banda denominada banda L. O sinal L1, transmitido a 1.575,42 MHz, que transporta dois códigos, um grosseiro/aquisição (C/A) e um código de precisão (P). O sinal L2, transmitido a 1.227,60 MHz, transporta apenas o código de precisão, disponível apenas para uso militar ou para aparelhos receptores autorizados. Quando tanto os sinais L1 como L2 são usados obtém-se o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS), que tem uma precisão de 22 metros horizontalmente e 27,7 m verticalmente. Os sistemas utilizados por civis tem acesso apenas ao sinal L1 e código C/A e é chamado de Serviço de Posicionamento Padrão (SPS), cuja precisão é de 100 m horizontalmente e 156 m verticalmente.

Para se melhorar a exatidão do GPS, pode-se utilizar uma correção diferencial, esse sistema é denominado Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS). Neste sistema, um aparelho receptor é instalado em uma posição fixa, cuja localização é conhecida. Como a posição dos satélites é conhecida, é possível determinar o erro na determinação da estação fixa. A diferença entre a distância exata da estação fixa até o satélite e a distância determinada com base no sinal recebido pelo aparelho receptor da estação fixa é denominada distância de correção diferencial. Se a correção diferencial é calculada para cada sinal de satélite que a estação fixa recebe, essa correção pode ser usada para melhorar a exatidão da posição determinada por aparelhos receptores que se movem próximos á estação fixa. Como os satélites estão em constante movimento, os valores de correção diferencial são válidos apenas para poucos segundos de intervalo. Por essa razão, os valores de correção devem ser constantemente armazenados pela estação fixa para depois serem usados no pós-processamento dos sinais dos receptores móveis. Em certos sistemas, a estação fixa envia o sinal de correção imediatamente para o aparelho receptor criando o que se chama de uma correção em tempo real.

A precisão dos sistemas DGPS pode chegar a 1 cm, entretanto, esses sistemas são muito caros. Os sistemas que têm sido adotados em agricultura de precisão geralmente têm precisão entre um e cinco metros.

Os sinais de correção diferencial em tempo real podem ser obtidos de três fontes: a) sinais de rádio *beacon*; b) sinais de rádio FM; c) sinais de correção

por satélite. Os sinais de rádio beacon geralmente são enviados por estações fixas, quase sempre localizadas na região costeira e normalmente atingem áreas que estão localizadas até 300 km do litoral. Uma segunda possibilidade é a transmissão dos sinais de correção calculados por estações fixas utilizando-se rádios FM. O alcance das rádios FM geralmente não superam 100 km. No Brasil, esse serviço de correção via rádios FM ainda não está disponível. Outra opção é a transmissão dos sinais de correção por meio de satélites geo-estacionários, ou seja, satélites cuja órbita os mantém na mesma posição sobre a terra durante todo o tempo. A transmissão de sinais de correção por satélite geralmente cobre uma área muito maior que os sinais transmitidos por rádio beacon ou por estações de rádio FM. No Brasil há duas empresas fornecedoras de sinais de correção via satélite, a RACAL e a OMNISTAR.

4.3.3. Sistemas de coleta, armazenamento e tratamento de dados

A coleta e o armazenamento de dados são feitos através de um sistema eletrônico de aquisição de dados ou “*data logger*”, instalado na cabina da colhedora. A este sistema são conectados os diferentes sensores de medições de posição, umidade do grão, velocidade de deslocamento, produtividade de grãos, e outros que, através de um programa instalado na caixa de aquisição, começam a gerar dados brutos e em intervalo de tempo pré-determinado. Esses dados são armazenados na memória da caixa ou em cartões magnéticos, sendo depois descarregados em um computador para tratamento dos dados brutos em dados transformados. Como esses dados apresentam a localização geográfica da área de coleta, eles são comumente chamados de dados espaciais, que posteriormente são agrupados em um mapa de produtividade, para se conhecer a condição de produção da área em estudo. Para tratamento dos dados coletados, um Sistema de Informações Geográficas (GIS) é usado, o qual, segundo BERRY (1986) tem a capacidade de processar e integrar informações espaciais. Necessita, para isso, de uma unidade de processamento de dados (hardware) e um programa de tratamento de dados (*software*) para coleta, armazenamento, processamento e uma demonstração (*display*) para os mapas digitalizados. As funções de processamento desse sistema podem ser agrupadas em quatro categorias: mapas de computador, gerenciamento do banco de dados espacial, estatística espacial e modelos cartográficos.

Basicamente, são as seguintes etapas do Sistema de Informação Geográfica:

- coleta de dados;
- armazenamento dos dados;
- tabela de dados : latitude, longitude, teor de umidade, produtividade (kg/ha);
- transformação dos dados;
- análise e interpretação dos dados.

4.3.4. Mapeamento e monitoramento da área colhida

Os mapas de produtividade de grãos são produzidos através das informações recebidas dos sensores instalados na colhedora, processados por um *software*, com base em sistema de informação geográfica, referenciados por um sistema de posicionamento (GPS) e integrados a um sistema de armazenamento de dados de produtividade. Para facilitar o entendimento deste mapa, é mostrado abaixo, na Figura 4.16, o mapa de um campo de produção, onde estão indicadas diferenças de produtividade de grãos, por cores. Um fato importante a ser considerado nesse mapa é a indicação da variabilidade espacial do terreno onde as intervenções, como, por exemplo, a aplicação de fertilizantes, são realizadas no modelo convencional, pois tratam as informações do campo como homogêneas e as recomendações são baseadas na média para distribuição. Como pode ser visto no mapa, em razão da grande extensão de área colhida, há necessidade de dividi-la em diferentes subáreas e obter informações de campo, para, posteriormente, poder intervir, de forma diferenciada. Esse modelo de intervenção caracteriza a agricultura de precisão e permite uma série de operações subseqüentes a serem realizadas, de forma bastante precisa, em razão da tecnologia disponível para os equipamentos agrícolas.

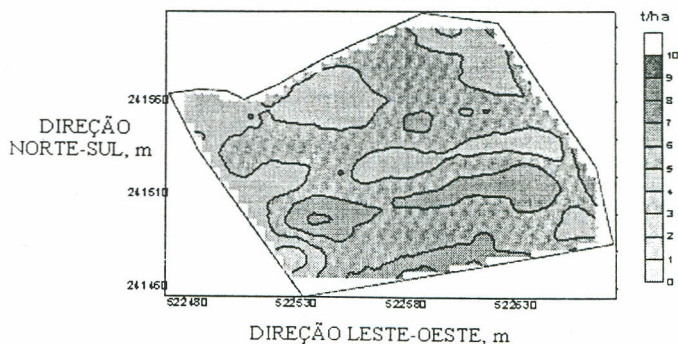


FIGURA 4.16. Mapa de produtividade de trigo, safra 1992, em uma área de 2,9 hectares, obtido por BLACKMORE (1997)

4.4. ANÁLISE ECONÔMICA

Os estudos de agricultura de precisão, disponíveis até a presente data, têm focado as mudanças no custo dos insumos de entrada, tais como fertilizantes ou herbicidas, e têm ignorado os custos de investimentos. Em particular, o custo do “capital humano” é frequentemente omitido, e esses custos podem incluir as taxas relativas a Workshops e cursos de curta duração, tempo que poderia ser dedicado a outras atividades e decisões erradas que são tomadas enquanto se “aprende” a trabalhar com essa nova tecnologia.

O custo anual das ferramentas disponíveis para agricultura de precisão dependem diretamente do preço e da vida útil dos equipamentos, softwares, banco de dados e a habilidade para manejá-los. Até o momento, a adoção da agricultura de precisão não tem sido vantajosa financeiramente nas culturas de soja, milho e trigo (Tabela 4.1), mas somente nas culturas de elevado retorno, como hortaliças, batata e sementes (LOWENBERG-deBOER, 1996).

TABELA 4.1. Retorno devido ao uso de técnicas de PF, para diversas culturas

Autores	Culturas	Insumos	Custos de amostragem e VRA	Retorno econômico
Carr et al.	Trigo e Cevada	N.P.K	Não incluído	Sem condição de avaliar
Fiez et al.	Trigo	N	Não incluído	Potencialmente
Hammond	Batata	P.K	Custos variáveis e fixos	Sim
Lowenberg-DeBoer et al.	Milho	P.K	Variáveis e só taxas fixas	Não
Wibawa et al.	Trigo	N.P	Variáveis e fixos com um ano de amortização	Não
Wollenhaupt e Buchholz	Milho	P.K	Variáveis e fixos com quatro anos amortização	Depende do ganho de produtividade
Wollenhaupt e Wokowski	Milho	P.K	Variáveis e fixos com quatro anos de amortização	Depende da densidade de amostragem
Beuerlein e Schmidt	Milho e Soja	P.K	Custos variáveis e amostragem Equipamentos não incluídos	Não, mas adubação mais eficiente

Fonte: Lowenberg-DeBoer e Swinton, citados por LOWENBER-deBOER (1996).

LONG et al. (1993) estudaram a aplicação de nitrogênio em 41 hectares de cultura de trigo e compararam os custos relativos ao insumo aplicado uniformemente e em aplicação localizada, bem como os custos de amostragem da fertilidade do solo e do mapeamento da produtividade da cultura na área (colhedora equipada com medidor de fluxo, umidade e GPS para localização

das parcelas). Os autores concluíram que, em áreas em que as taxas de aplicação de nitrogênio variam de 22 até 67 kg por ha, a adoção da tecnologia de aplicação a taxas variáveis tem maior retorno, desde que feita com equipamentos convencionais existentes no mercado, e que estes permitam taxas de aplicação modificadas manualmente e unidades de GPS que possam ser programadas para guiar as máquinas no campo. É o uso dos equipamentos convencionais que permite a redução dos custos na aplicação de nitrogênio e torna a tecnologia viável.

Sabe-se que as plantas daninhas competem com as culturas de interesse econômico por água, nutrientes e luz. Contudo, a possibilidade de se disseminar no campo é menor que no caso de pragas, e WILSON e SCOTT, em 1982, já observavam que essas plantas crescem em locais mais ou menos definidos, não cobrindo mais que 40% da área (EARL et al., 1996). O uso de taxa de aplicação variável no controle de plantas daninhas é, com certeza, uma das formas de se reduzir o custo dos insumos de entrada.

Numa visão mais geral, o agricultor ou o técnico tem que se fazer algumas perguntas para tentar avaliar o potencial de retorno econômico da agricultura de precisão e, só após uma primeira aproximação de que os custos envolvidos na adoção dessa tecnologia sejam inferiores aos lucros obtidos com o processo convencional, iniciar os primeiros passos para adotá-la. Sempre se perguntar:

- quais os benefícios que se pode ter com a tecnologia de agricultura de precisão?
- é possível identificar e priorizar os fatores que podem aumentar a produtividade da cultura explorada ?
- é possível reduzir ou aumentar os insumos em locais específicos de tal forma que a redução ou o aumento impliquem vantagens econômicas ?

Como exemplo, na Figura 4.17, têm-se as funções de resposta à aplicação de fertilizantes em determinada cultura, em duas áreas distintas de um campo de produção (solo mais fértil, H, e menos fértil, L). No solo mais fértil, ao se aumentar a quantidade de fertilizante em DF_H , espera-se que haverá um aumento DY_H na produtividade e, no solo menos fértil, ao se reduzir a quantidade de fertilizante em DF_L , espera-se uma redução na produtividade de DY_L . Neste caso, sendo o ganho na produtividade da cultura DY_H maior que a redução na produtividade DY_L , a adoção da aplicação diferenciada resultará em maior quantidade líquida de produto produzido. Se a área total permitir um acréscimo no retorno adicional que supere os custos da adoção da tecnologia, com certeza será vantajoso iniciar a agricultura de precisão neste campo de produção.

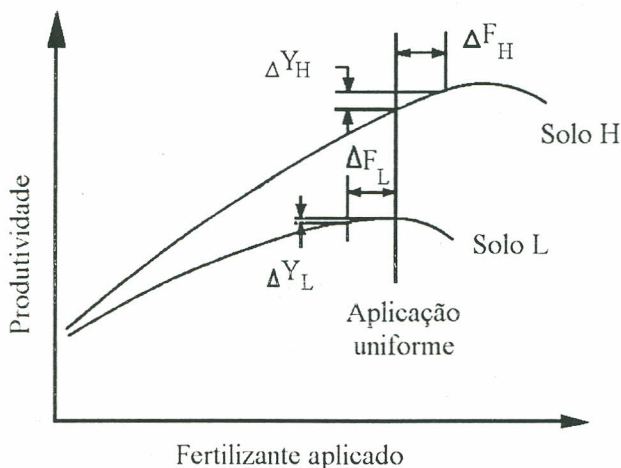


FIGURA 4.17. Funções de resposta à aplicação de fertilizantes em dois tipos de solo.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho é uma contribuição para aqueles que estão iniciando suas atividades em agricultura de precisão, de forma a facilitar o uso dessa tecnologia. Enquanto os países desenvolvidos já estão trabalhando há mais tempo, o Brasil está iniciando suas pesquisas em agricultura de precisão e é necessário que todos os seguimentos envolvidos com o tema, universidades, institutos de pesquisa, extensão rural, fabricantes e agricultores venham rapidamente conhecer as vantagens e desvantagens dessa nova tecnologia.

Observa-se em todo o mundo um grande interesse pela agricultura de precisão, semelhante ao ocorrido com os temas relacionados com energia, na década de 70. A grande diferença é que a popularização da *Internet*, ocorrida a partir de 1992, facilitou as trocas de informações entre os grupos de pesquisa, assim como a interação destes com os meios de produção, proporcionando uma ação mais intensa.

Diante desse panorama, o que se espera para os próximos anos é que tecnologias continuem sendo desenvolvidas, que as indústrias passem a implementar essas tecnologias em seus equipamentos e que os produtores rurais passem a adquirir esses equipamentos.

Para que a tecnologia possa ser implementada com sucesso no País, haverá necessidade de integração, para que as empresas fabricantes de máquinas

agrícolas e os produtores rurais trabalhem com os diferentes centros de pesquisa. Além disso, a capacitação de mão-de-obra, em todos os níveis, deverá ser feita para que produtores rurais, operadores de máquinas e profissionais de assistência técnica trabalhem na regulagem das máquinas, na coleta e análise de dados e na tomada de decisão em suas atividades.

Um dos primeiros passos a se dar é fazer um levantamento das pesquisas já conduzidas no País, visando obter as funções de produção, das principais culturas, sob diferentes condições de solo, disponibilidade de nutrientes, clima e variedades. Dessa forma, poderá ser identificado como a produtividade pode ser alterada em função dos insumos utilizados. Outro ponto é buscar a intensificação da coleta de dados visando caracterizar a variabilidade de solo, plantas daninhas, pragas, doenças e de produtividade ocorridas no Brasil. É importante, também, que os profissionais que estejam trabalhando com agricultura de precisão divulguem os resultados de suas experiências para um maior número possível de pessoas. Dessa forma poderá ser criado um banco de dados com informações que serão de grande importância para os profissionais responsáveis pelas análises dos resultados e pela tomada de decisão em sistemas que utilizam agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERRY, J.K. Learning Computer-Assisted Map Analysis. *Journal of Forestry*, Washington, v.84, p.39-43, 1986
- BLACKMORE, S. *An introduction to precision farming*. Silsoe College. Inglaterra. 1997. <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/precfarm.htm>.
- BLACKMORE, S. Precision Farming; Na Introduction. Outlook on Agriculture, Elmesford, v.23, n.4, p.275-280, 1994**
- EARL, R.; WHEELER, P.N.; BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J. Precision farming - The management of variability. *The Journal of the Institution of Agricultural Engineering, Silsoe*, v.51, n. 4, p.18-23, 1996
- FELTON, W.L.; DOSS, A.F.; NASH, P.G.; McCLOY, K.R. A microprocessor controlled technology to selectively spot spray weeds. In *Automated Agriculture for the 21st Century Symposium, 1991, Chicago, IL.. Proceeding of the 1991 Symposium, St. Joseph: ASAE, 1991. P.427-432.* (ASAE Publication, 11-91)
- FROST, A.R. A pesticide injection metering system for use on agricultural spraying machines. *Journal of Agricultural Engineering Research, London*. v.46, p.55-70, 1991

- GLANCEY, J.; SEYMOUR, S.; BOHMAN, C.; SHEEHAN, R., POSSELIUS, J. *Development of a precision industrial spreader for the land application of solid wastes*. St Joseph: ASAE. 1997. 11p.(ASAE Paper, 97-1081)
- GOPALAPILLAI, S. TIAN, L. *Automatic control system for variable rate chemical application*. -1997. St. Joseph: ASAE, 1997. 12p. (SAE Paper, 97-1050).
- GRISSE, R.E.; HEWETT III, E.J.; DICKEY, E.C.; SCHNIEDER, R.D., NELSON, E.W. *Calibration accuracy of pesticide equipment*. St Joseph: ASAE, 1987. (ASAE Paper, 87-1044)
- LONG, D.S.; CARLSON, G.R.; NIELSEN, G.A, LACHAPPELLE, G. *Increasing Profitability With Variable Rate Fertilization*., Alberta, Montana:University of Calgary, 1993. 7p.
- LOWENBERG-deBOER, J. *Economics of precision farm: payoff in the future*. Purdue University. 1996. 5p. http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/Site/SiteFarming/economic_issues.html.
- MISHOE, J.W., WILKERSON, G.G. Integrated decision model for Velvetbean Caterpillar control. In: MISHOE J. W., WILKERSON, G.G *Basics of Insect Modeling*. Sta Joseph: ASAE. 1992. p185-203.
- MORGAN, M.T. *Precision farming: Sensors vs map-based*. Purdue University. 1995. 2p. <http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/Site/SiteFarming/sensors.html>.
- MORGAN, M. T., ESS, D. *The precision-farming guide for agriculturists*. Moline, IL: John Deere. 1997. 117 p. (Agricultural Primer Series)
- PARKIN, C.S, BLACKMORE, B.S. *A precision farming approach to the application of agrochemicals*. Silsoe: Cranfield University. 1997. 7p.
- RIDER, A.R, DICKEY, E.C. Field evaluation of calibration accuracy for Pesticide application equipment. *Transactions of the ASAE*. St. Joseph, v. 25 p.:258-260.. 1982.
- SEARCY, S. *Precision farming – A new approach to crop management*. Texas Agricultural Extension Service Publications. Texas A&M University. Texas, USA. 1997. L5177. 4 páginas. <http://agcomwww.tamu.edu/agcom/publish/extpubs/engine.htm>
- SNYDER, C.J. & BRITT Jr., J.C. *Yield mapping fundamentals and analysis*. St. Joseph: ASAE, 1997. 14p. (ASAE Paper, 97-3018.)
- SUDDUTH, K.A.; BORGELT, S.C.; BIRRELL, S.J, KITCHEN, N.R. *Within-field location and sensing technology*. Columbia, MI: University of Missouri. 1994. 12p.

- TOFTE, D. & HANSON, L. Networking monitors, servos and memory for manual and automatic machinery control. In: __ *AUTOMATED AGRICULTURE FOR THE 21ST CENTURI SYMPOSIUM* . 1991, Chicago, IL. Proceeding St. Joseph: ASAE, 1991. p.409-417. (ASAE.Publication, 11-91).
- VIDRINE, C.G.; GOERING, C.E.; DAY, C.L.; GEBHARDT, M.R.; SMITH, D.B. A constant pesticide application rate sprayer model. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.18, p.:439-443., 1975