

## **USO DO GPS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Com a globalização da economia e a competitividade de preço dos produtos agrícolas, surgiu a necessidade de se obter níveis de competitividade internacionais. Além disto, a busca pela conservação dos recursos naturais, impõe à atividade agrícola novos métodos e técnicas de produção, aliados à eficiência e maior controle dos resultados obtidos no campo, em relação ao que se pratica hoje. Além disso, a agricultura moderna está relacionada ao plantio de extensas áreas de monocultura, e um dos principais problemas que reflete diretamente na produtividade agrícola de extensas áreas é a distribuição inadequada de calcário, semente, adubo, herbicida e inseticida no terreno. Este fato tem acarretado zonas de baixa produção de grãos e cereais dentro da área cultivada.

Como uma resposta para minimizar estes problemas e com o avanço da tecnologia, foi possível que satélites, computadores e sensores auxiliassem a agricultura. Surgiu, então um novo sistema de produção que, há alguns anos já é utilizada pelos agricultores de países de tecnologia avançada, chamado de Precision Agriculture, Precision Farming, e no Brasil de Agricultura de Precisão. Este sistema vem resgatar a capacidade de conhecer cada metro quadrado da lavoura, que foi perdido à medida que as áreas cultivadas foram crescendo.

A Agricultura de precisão promete reverter o quadro atual permitindo a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas. Esta nova tecnologia faz uso intenso do Sistema de Posicionamento Global (GPS), permitindo a coleta automática de dados georreferenciados. Colhedoras equipadas com antena GPS e sensores eletrônicos são usadas para o mapeamento da colheita no campo, permitindo identificar áreas de maior ou menor produtividade. O georreferenciamento dos pontos de coleta de amostras de solo permite também o mapeamento de variáveis importantes para o processo produtivo, como a disponibilidade de nutrientes, água e pH do solo. Sistemas de Informação Georreferenciadas - SIG são utilizados para o armazenamento, tratamento, análise e visualização da informação espacial coletada no campo. A análise dos dados permite otimizar o uso de insumos agrícolas e criar mapas de aplicação localizada de insumos que levam em consideração a variabilidade espacial encontrada no campo. Estes, por sua vez, são armazenados em computadores instalados em tratores equipados com antenas GPS e implementos agrícolas que permitem variar a taxa de aplicação de insumos. Desta maneira, pode-se aplicar a quantidade correta de insumos em toda a extensão do campo.

### **Conceitos sobre Agricultura de Precisão**

Resumindo o processo, um ciclo completo pode ser descrito assim:

- 1ª - colheita feita com máquina equipada com sensores e receptor GPS para localização;
- 2ª - análise e confecção do mapa de produtividade;

- 3ª - análise de solo e outros fatores em busca das causas da variação de produtividade;
- 4ª - geração do mapa de aplicação localizada de acordo com o resultado das análises e aplicação de fertilizantes e micronutrientes em taxas variáveis;
- 5ª - plantio em taxas variáveis conforme o potencial produtivo de cada região analisada em cada parte da área, conforme o mapa de aplicação;
- 6ª - mapeamento de invasoras, doenças, insetos, etc da lavoura;
- 7ª - aplicação localizada a taxas variáveis de produtos químicos, conforme a intensidade de invasoras, insetos e doenças em cada ponto da lavoura;
- 8ª - nova colheita iniciando um novo ciclo da AP.

A cada novo ciclo, haverá mais informações sobre a lavoura, o que se tornará as análises cada vez mais confiáveis, gerando um histórico da lavoura.

## **2. Princípios básicos**

Todos os equipamentos utilizados na obtenção de dados e/ou cumprimento das prescrições técnicas de forma pontual na área de uma propriedade agrícola possuem três sistemas básicos:

- a) O sistema de posicionamento (obtenção das coordenadas exatas do ponto onde se encontra o equipamento);
- b) O sistema de sensores e/ou controladores que, orientados por software (programas de computador) por sua vez comandados pelo sistema de posicionamento, os quais encarregam-se do diagnóstico e/ou aplicação das prescrições técnicas;
- c) O sistema de 'fusão' e gravação das informações dos sistemas anteriores, de forma simultânea, permitindo sua análise posterior.

## **3. GPS - GLOBAL POSITIONING SYSTEM**

O GPS é um sistema que conta com 24 satélites, sendo 3 reservas. Estes satélites denominados NAVISTAR estão distribuídos em 6 órbitas distintas, a uma altitude aproximada de 20 mil km. Com esta configuração em qualquer ponto da superfície da Terra há no mínimo 4 satélites acima da linha do horizonte 24 horas por dia. Foi projetado para fornecer o posicionamento instantâneo bem como a velocidade de um ponto sobre a superfície da Terra ou próximo à ela. Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, originalmente criado com fins militares estratégicos. A partir de meados da década de setenta o seu uso foi estendido para aplicações civis, tendo passado por uma contínua evolução desde então, principalmente no que diz respeito aos equipamentos eletrônicos e programas computacionais. Representa atualmente uma nova alternativa de posicionamento para a Cartografia e ciências afins, tendo o uso do GPS crescido significativamente em aplicações nas atividades agrícolas e florestais.

Com esta triangulação a partir de satélites, o sistema determina a distância entre um receptor (antena) e o satélite, através do tempo que um sinal de rádio leva, a partir de sua saída do satélite, para chegar ao receptor, o que é feito através de uma correlação dos códigos gerado e recebido, onde através da geração simultânea e sincronizada de sinais idênticos pelo satélite e pelo receptor, se determina a defasagem entre os sinais e assim determina-se a diferença de tempo em que o sinal demorou para percorrer a distância receptor-satélite.

#### **4. O sistema DGPS**

O sinal GPS “puro” contém uma série de erros, alguns propositais (introduzidos pelo operador do sistema, com fins de segurança militar) e outros naturais/aleatórios, decorrentes de diversas causas. Entre eles citam-se os “erros de órbita” (o satélite não percorre exatamente a órbita programada); “erros de propagação” (influência de perturbações da atmosfera, especialmente na ionosfera) e “erros do receptor”.

Existem diversas técnicas para eliminar ou minimizar os erros. O método hoje mais largamente empregado, no entanto, é o chamado “**GPS Diferencial**” (DGPS).

O Gps Diferencial também utiliza um outro receptor GPS, fixo, colocado em um ponto com coordenadas absolutamente precisas e que recebe os sinais dos mesmos satélites recebidos pelo receptor do usuário. Este receptor é chamado de “Estação de Referência”. O receptor da estação de referência compara, então, as posições informadas pelos satélites, com aquelas que possui armazenadas em um computador acoplado ao receptor. Por diferença, detecta o erro de cada satélite e transmite (geralmente via um sinal de rádio) para o receptor do usuário (receptor diferencial). O receptor do usuário, com capacidade diferencial, recebe, então, dois tipos de sinais: um, fornecido por quatro ou mais satélites (sinal GPS), contendo as informações de distância, ainda com erro relativamente grande; o outro sinal (sinal diferencial) contém as informações dos erros de cada satélite, calculados pela estação de referência. Os dois tipos de informação são processados e o resultado é o sinal DGPS, ou seja, o sinal GPS depurado da maior parte de seus erros.

Em sua versão mais comum, a precisão obtida com o GPS Diferencial é de cerca de 1 a 5 m, podendo, otimizada, chegar a 30 cm.

Com técnicas mais sofisticadas, trabalhando-se já com o chamado PDGPS (DGPS de Precisão), a precisão é muito maior, podendo a margem de erro chegar à casa do décimetro ou sub-décimetro.

Quanto à fonte do sinal diferencial, utilizam-se basicamente dois tipos: no primeiro caso, pequenas estações, geralmente operadas pelo próprio usuário, e que têm um alcance limitado (cerca de 30 a 50 km). No segundo caso, utilizam-se serviços comerciais de fornecimento de sinais de correção, onde as estações de referência são de grande porte e distribuídas ao longo de grandes áreas - geralmente continentais - e os sinais não são transmitidos diretamente ao

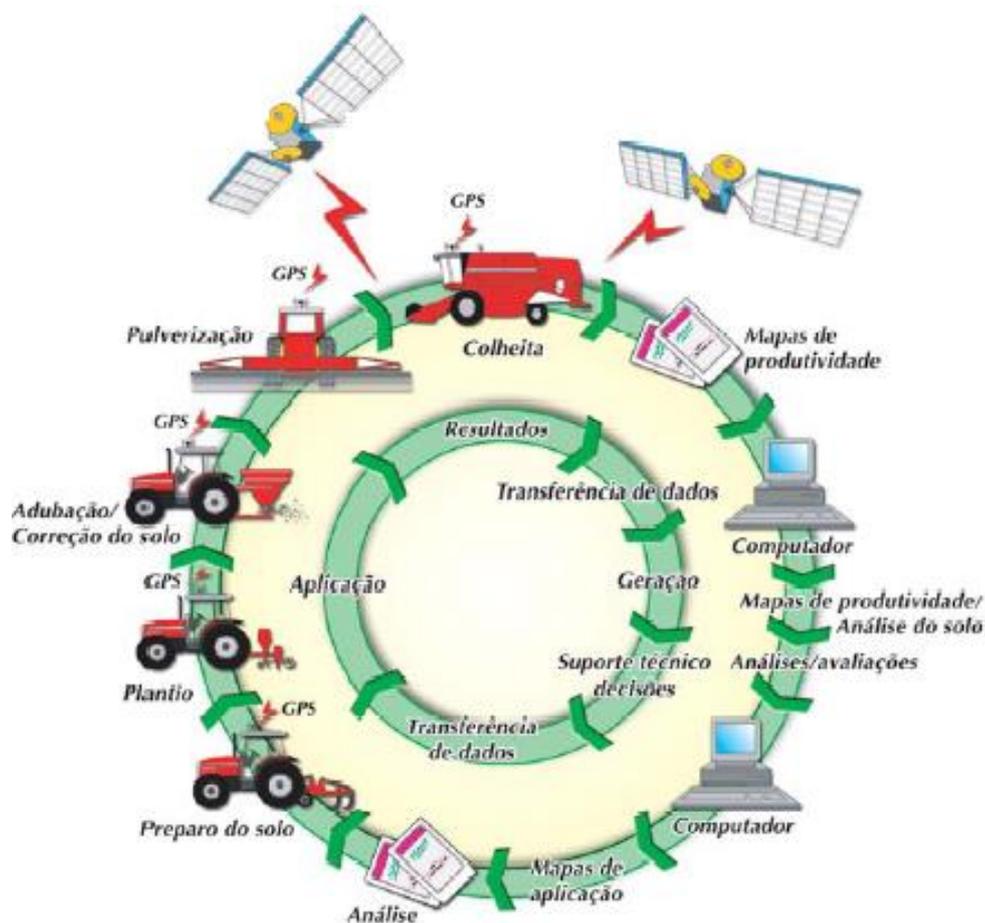
receptor do usuário: são transmitidos a uma estação central, conferidos, ajustados e retransmitidos a um satélite geo-estacionário que se encarrega, então, de gerar o “facho” de sinal que também abrange geralmente um continente inteiro.

O sistema DGPS com sinal oriundo de satélite geo-estacionário é hoje o mais utilizado no Brasil, sendo seus usuários principais a Aviação (agrícola), a Navegação, o setor de exploração de petróleo e, mais recentemente, a Agricultura, em diversas fases de sua atividade.

## **5. UTILIZAÇÕES DO GPS / DGPS NA AGRICULTURA**

O DGPS tem hoje, possibilidades de largo emprego em diversos setores e atividades. Na Agricultura (“Agricultura de Precisão”) (Figura abaixo).

- Topografia (planimetria)
- Mapeamentos de solos
- Mapeamentos de colheitas
- Aplicação de defensivos, fertilizantes, sementes, sob condições controladas no ponto e momento de aplicação.



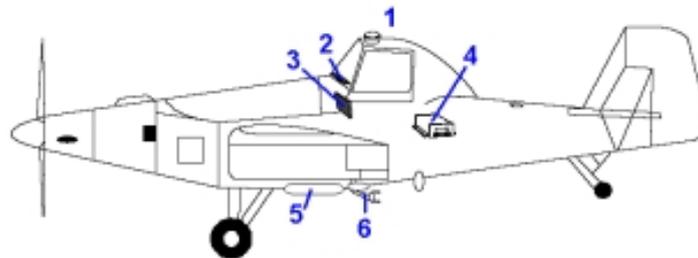
**Figura.** Figura ilustrando a utilização do GPS em máquinas agrícolas

### 5.1. Utilização do GPS / DGPS em Aviação

A maior utilização do DGPS em Aviação encontra-se, hoje, na “**Aviação Agrícola**” onde o equipamento cumpre a função de orientar o piloto na execução de faixas paralelas e uniformemente espaçadas, condição para o serviço aeroagrícola, e dispensando a presença de auxiliares em terra (os chamados “balizadores” ou “bandeirinhas”).

O piloto passa a ser orientado por uma “barra de luzes”, onde o intervalo entre duas luzes consecutivas é, geralmente de um metro e, assim, tem a possibilidade de efetuar o serviço com até esta precisão. Existem hoje no Brasil cerca de 70 aviões agrícolas já utilizando este sistema (10% da frota) e, no mundo, calcula-se existirem 3000 aviões já equipados com DGPS.

Novas tecnologias estão transformando o avião agrícola na mais avançada plataforma de sistemas de pulverização para aplicação com precisão. Dentre essas tecnologias, o GPS e os sistemas de controle automático de pulverização garantem a precisão da aplicação e a segurança do piloto agrícola. Os sistemas GPSs na aplicação aérea possibilitam controles precisos das faixas de aplicação, evitando falhas e sobreposições dos agroquímicos e os mapas digitais registram todas as informações sobre a operação realizada.



**Figura 3.** Disposição dos equipamentos utilizados por um avião agrícola. 1) Antena do GPS; 2) Barra de luzes; 3) Computador de bordo; 4) Receptor GPS; 5) Sistema de controle de fluxo e 6) Sistema de pulverização.

Além da Aviação Agrícola, já referida, o GPS / DGPS tem enorme potencial, ainda pouco explorado, de utilização em atividades “da fazenda”, possibilitando o uso mais racional dos recursos e insumos. O conceito passa a ser o de utilizar recursos/insumos somente onde e apenas nas quantidades recomendadas. Deixa-se de trabalhar pelo conceito da **média** (produtividade média, adubação média etc) para trabalhar com o conceito de diagnóstico e prescrição locais. A este conjunto de técnicas que tem no posicionamento preciso - através do GPS- o seu ponto fundamental, dá-se, hoje, a denominação de “**Agricultura de Precisão**” (“Precision farming”).

Um exemplo de utilização, já difundida, é o do acoplamento de um sistema GPS em colheitadeiras, juntamente com monitores da quantidade de grãos colhida, a intervalos, de, por exemplo, um segundo.

Já para utilização em colheitadeiras, a estrutura, muito semelhante, incluiria, no entanto, o setor de sensores, e passaria a ser assim descrito:

- Receptor GPS e sua antena;
- Receptor DGPS e sua antena;
- Unidade de processamento (CPU);
- Unidade de leitura do programa e de gravação dos dados.
- **Sensores:** de quantidade de grãos colhidos; da umidade de grãos; da velocidade do molinete etc)
- Software
- Fonte de alimentação

Processados os dados, instantânea ou posteriormente, pode-se ter a informação precisa da quantidade colhida em cada ponto da lavoura. Pode-se, então, com a utilização de computadores, traçar mapas de “isoprodutividade” (faixas dentro da lavoura com produtividades iguais, umas maiores, outras menores), permitindo ao agricultor diagnosticar as causas da produtividade média, e como aumentá-la, elevando a produtividade nas faixas que apresentaram pior desempenho.

Como estas faixas ficam memorizadas - delimitadas pelas coordenadas captadas pelo GPS - é possível voltar-se precisamente a cada uma delas. Se, por exemplo, a causa da baixa produtividade em alguma faixa foi problemas de fertilidade do solo, será possível prescrever doses de fertilizante diferenciadas - maiores para as faixas com baixa fertilidade e menores para as faixas com alta produtividade. Já projetam-se aplicadores de fertilizantes, também comandados por GPS que fazem automaticamente esta tarefa, percorrendo a lavoura e dosando mais ou menos adubo conforme a faixa percorrida no momento.

A **amostragem de solos** também ganha em precisão, uma vez que a cada amostra colhida seja atribuída uma coordenada - colhida pelo GPS. Tendo-se um número de amostras grande e suas respectivas posições, é possível traçar os “mapas de fertilidade” de cada lavoura, permitindo-se sua correção localizada. Amostradores de solo automáticos, acoplados a GPS, já existem em operação, permitindo a coleta do número suficiente de amostras para o traçado dos mapas e, eventualmente, a transferência dos dados para o equipamento que fará a correção do solo.

A aplicação da prescrição técnica: Uma vez obtidos os dados necessários, como visto anteriormente, o técnico pode, então tomar decisões que se refletem em **prescrições técnicas diferenciadas** para cada ponto ou setor ou faixa no interior da lavoura.

Passa-se, então, a ter a necessidade de **cumprimento da prescrição técnica diferenciada**. Esta etapa da Agricultura de Precisão é efetuada por máquinas dotadas de receptores DGPS e de servo-mecanismos controladores da dosagem do produto (fertilizante,

calcário, defensivo agrícola, semente), por sua vez controlados por programas de computador que tomam a posição geográfica a partir do receptor DGPS. A prescrição técnica é gravada pelo responsável na forma de dose/ponto ou dose/faixa e introduzida no computador da máquina. O operador da mesma tem tão somente de conduzir a máquina de forma a percorrer, uniformemente (com auxílio do DGPS) todo o campo e o mecanismo servo-controlado vai adequando a dose às necessidades dos pontos percorridos.

### **UTILIZAÇÃO DO GPS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Nos caminhões de transporte de cana-de-açúcar e de apoio o computador de bordo da Auteq Computadores e Sistemas tem o foco na diminuição do consumo de combustível e dos custos de manutenção do veículo. Já nas máquinas agrícolas – tratores, carregadeiras, motoniveladoras, reboques e tratores de esteira – o computador de bordo, associado ao sistema GPS, tem o foco no aumento da produtividade.

“Nos veículos de transporte, o computador de bordo nos auxilia a verificar o tempo que a máquina fica parada com o motor ligado, tempo de banguela, pressão do óleo, uso da embreagem. Esses dados ajudam a diminuir os gastos com a manutenção do veículo”, diz o gerente de informática da Santa Terezinha. “Manutenção não envolve só o valor gasto para consertar a máquina, mas o tempo que ela fica parada, e, conseqüentemente, o tempo que o motorista fica ocioso”, completa.

Já nos computadores de bordo com sensores de velocidade e GPS o objetivo é controlar a produtividade. O funcionamento é simples: sensores instalados no veículo são ativados cada vez que a máquina inicia uma atividade. Com isso, é possível controlar o deslocamento realizado em determinado tempo. Essa informação é armazenada no computador de bordo, junto com as informações coletadas por outros sensores e é descarregada no computador central da usina por meio de um coletor de dados.

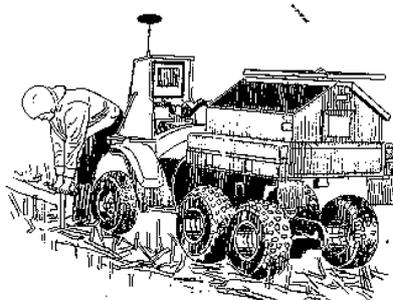
“Isso nos possibilita verificar a velocidade e a produção de cada operador e de cada turno. Esses números são usados para pagamento por resultados e para preparar treinamentos”, explica Galinari.

### **A ABRANGÊNCIA DA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Podem ser usadas as técnicas de agricultura de precisão em todas as fases do ciclo produtivo, desde as operações de pré-plantio até a colheita. As tecnologias que estão disponíveis, ou que logo estarão, melhoram os resultados referentes as amostras de solo, plantio, fertilização, pulverização e monitoramento da colheita.

## **GPS EM MÁQUINAS PARA AMOSTRAGEM DO SOLO**

Quando queremos quantificar os nutrientes disponíveis no solo, uma ferramenta como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) pode ser utilizada para localizar e identificar os locais onde estão sendo coletadas as amostras. Estas informações de posição, podem ser usadas à *posteriori* para gerar-se os mapas de cada atributo do solo. Estes mapas são usados para identificar as áreas do campo que tem níveis diferentes de nutrientes.



### ***Amostragem de solo com o uso de veículo equipado com GPS.***

*Fonte: Adaptado de Deere Company(1997)*

As isolinhas ou regiões com o mesmo comportamento em cada mapa, são geradas geralmente com a utilização de técnicas estatísticas, na tentativa de descrever a partir dos pontos amostrados o comportamento do nutriente em um mapa.

É sabido que a variabilidade do solo no campo é um dos fatores mais importantes num programa de AP. Esta pode influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes e de água para as culturas.

Atualmente a maneira mais comum para amostragem do solo é o estabelecimento de uma rede de pontos (grid) espaçados regularmente no campo. O espaçamento utilizado nas áreas experimentais varia entre 20 e 30 metros. No caso de áreas comerciais, o número de amostras coletadas cai para 1 a 2,5 amostras por hectare, devido ao custo envolvido no processo de amostragem e análise do solo.

Muitas pesquisas e controvérsias têm ocorrido no estabelecimento de metodologias para amostragem de solo e por enquanto, deve-se fazer uso do bom senso. Se o campo apresenta alta variabilidade, um programa de amostragem mais denso é recomendado. No caso de áreas mais homogêneas, menos amostras devem ser coletadas. Fotografias aéreas e imagens de satélite podem ajudar muito na decisão, indicando áreas do campo de maior ou menor variabilidade.

## **GPS EM MÁQUINAS PARA PLANTIO**

A variação da taxa de semeadura baseada nas características do solo, pode permitir ao agricultor a colocação de uma maior ou menor quantidade de sementes, variando assim a população de plantas na área. Uma semeadora pode posicionar a semente à melhor

profundidade para a germinação, baseada no teor de água do solo com a utilização de um sensor de umidade.



**Semeadora à taxa variável no campo.**

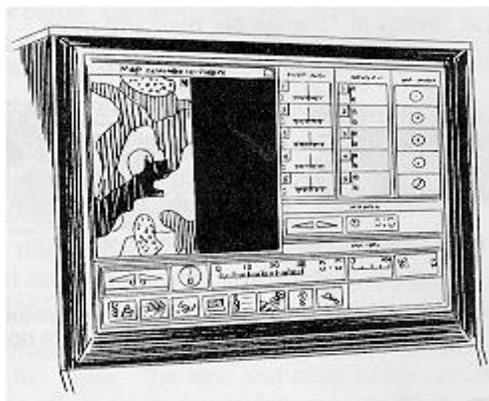
*Fonte: Adaptado de Deere Company(1997)*

### **MÁQUINAS PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES**

Com a agricultura de precisão pode-se variar a taxa de aplicação de fertilizantes e de calcário no campo, baseado nas análises laboratoriais dos níveis de nutrientes do solo. Através destas análises, geram-se posteriormente os mapas de prescrição de aplicação de fertilizantes.

### **MÁQUINAS PARA PULVERIZAÇÃO A TAXA VARIÁVEL**

Com a utilização de controle automático nos pulverizadores, a AP pode variar a quantidade de pesticida aplicada enquanto o equipamento desloca-se no campo.



**Painel de um aplicador de taxa variável exibindo um mapa de aplicação de fertilizante**

*Fonte: Adaptado de Deere Company(1997)*

A pulverização de plantas individuais ou de áreas infestadas com ervas daninhas é agora possível. Quanto ao manejo de pragas e doenças, a grande promessa é poder aplicar agroquímicos somente em áreas com maior índice de infestação e ameaça de prejuízos econômicos, permitindo-se a redução de custos e de danos ambientais. Em áreas úmidas e quentes, onde há maior susceptibilidade às doenças, os benefícios potenciais são enormes.

As ervas daninhas geralmente ocorrem de forma concentrada em certas áreas, não uniformemente distribuídas por toda a extensão do campo. Neste caso faz mais sentido a

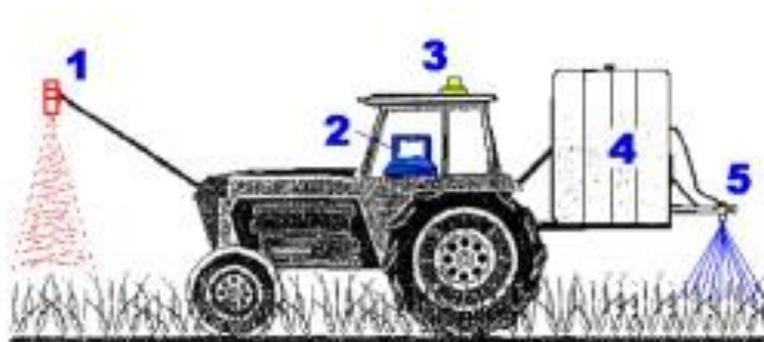
aplicação localizada de herbicidas, atacando-se apenas as áreas onde existem maiores concentrações, ao invés de usar o método tradicional de aplicação cobrindo todo o campo.

A rápida evolução tecnológica dos processos de controle fitossanitário vem exigindo dos equipamentos de aplicação níveis de versatilidade que são difíceis de alcançar por meio de soluções convencionais. Aplicações de diferentes defensivos em um mesmo instante e sistema de aplicação localizada exigem um alto grau de sofisticação tecnológica. Sistemas que se baseiam no princípio da agricultura de precisão podem, ainda, requerer doses variáveis ao longo da aplicação, quando o objetivo é a particularização das doses em diferentes partes em uma área de produção.

A determinação do posicionamento dos alvos para a definição dos locais onde serão realizadas as aplicações é uma das etapas mais importantes dos sistemas de aplicação localizada. Conceitualmente, duas metodologias podem ser utilizadas para este propósito. A primeira considera a detecção do alvo e controle da aplicação em tempo real ou sistema “on-line”. A outra opção compreende a coleta de informações para a elaboração de um mapa eletrônico georreferenciado dos alvos (mapa de aplicação).

### ***Aplicação localizada de herbicidas em tempo real***

A aplicação localizada de herbicidas pode ser feita em tempo real, sem a necessidade do mapeamento das infestações de plantas daninhas. Nesta estratégia, são utilizados pulverizadores especiais munidos de sensores e câmeras que detectam a presença da planta daninha. Suas informações são enviadas a um computador central ou um controlador, que ativa a pulverização somente sobre tais plantas detectadas. A Figura abaixo ilustra o princípio de funcionamento de detecção e controle das plantas daninhas em tempo real.



**Figura.** Princípio de funcionamento de um sistema de aplicação localizada de herbicidas em tempo real: 1) Sensor de alvos biológicos (ex. plantas daninhas); 2) Computador de bordo (controle do sistema de pulverização); 3) Receptor GPS (conectado ao radar de velocidade); 4) Reservatório de água e agroquímicos; 5) Sistema de pulverização (injeção direta de agroquímicos).

Existem duas possibilidades para a detecção instantânea das plantas daninhas. A primeira tecnologia utiliza sensores óticos que identificam as diferenças na reflexão da luz pelas diversas superfícies encontradas nas áreas agrícolas. A outra opção para a detecção e identificação dos alvos, é a análise instantânea de imagens, onde uma câmera de vídeo possibilita a identificação imediata das plantas daninhas, propiciando informações ao sistema de controle do pulverizador sobre sua presença e localização.

### ***Aplicação localizada de herbicidas por mapeamento***

Na aplicação por mapeamento, a detecção e o controle da planta daninha são efetuados em momentos diferentes. Inicialmente é gerado um mapa de infestação de plantas daninhas e, em função das informações contidas em tal mapa, o controle é efetuado por meio de máquinas munidas de sistemas de posicionamento e de controle da pulverização.

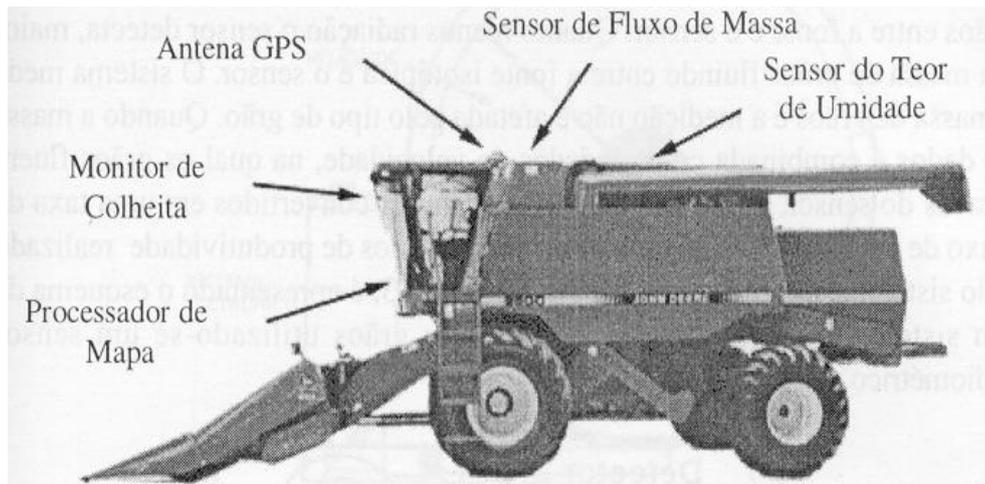
## ***EQUIPAMENTOS PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE HERBICIDAS***

A aplicação localizada de defensivos pode ser realizada variando-se tanto a dose do defensivo quanto o volume de calda aplicado. Os sistemas mais simples realizam o controle da aplicação numa estratégia liga-desliga, onde a dose e o volume de calda são mantidos constantes nas partes do campo onde a aplicação é efetuada. Variações na dose podem ser obtidas por mudanças do volume aplicado, mantendo-se a concentração constante, ou por meio de variações na concentração do defensivo na calda, ao longo da pulverização. Este último método de variação da dose é utilizado nos pulverizadores mais modernos. O princípio básico destes sistemas está relacionado ao armazenamento do defensivo e do diluente em recipientes separados, realizando-se a mistura somente no momento da aplicação, por meio da injeção do defensivo na tubulação que leva a calda aos bicos.

### ***1.1 MONITORAMENTO DA COLHEITA***

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:

- sensor para medir o fluxo de grãos;
- sensor para medir o teor de umidade dos grãos;
- sensor para medir a velocidade de colheita;
- indicador da posição da plataforma da colhedora;
- monitor de funções das operações; e
- antenas GPS.



### ***Distribuição dos diferentes componentes na colhedora***

*Fonte: Adaptado de MANTOVANI et al. (1998)*

#### **Sensores para medição do 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: *sensor de impacto*, *sensor de deslocamento de placa*, *o sistema radiométrico*, *o sistema de célula de carga* e *o sistema de medição por volume*.

#### **Sensor para medir o teor de umidade dos grãos**

O sensor utilizado para determinar o teor de umidade dos grãos é geralmente colocado no sistema de transporte do grãos, 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 dos grãos. Quanto maior o teor de umidade dos grãos maior é a constante dielétrica.

#### **Sensor para medir a velocidade de colheita**

Existem atualmente quatro tipos de sensores disponíveis no mercado para medir a velocidade de deslocamento da colhedora: *sensores magnéticos instalados no eixo das rodas motrizes*; *radar*; *ultra-som* e *o GPS*. Com os *sensores magnéticos* instalados no eixo da roda motriz, mede-se a velocidade registrando o número de giros do eixo da roda motriz na transmissão da colhedora. A velocidade de saída do eixo da transmissão está relacionada com a rotação das rodas. Entretanto, esse método está sujeito a erros, devido ao problema de patinagem 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.

Um outro sistema utiliza um *radar* para medir a velocidade de deslocamento da colhedora. Este sensor montado na estrutura da colhedora (próximo ao solo) emite um sinal de microondas direcionado ao solo, que é refletido após atingir o solo. O movimento relativo estabelecido entre a colhedora e o solo, produzirá uma mudança de frequência no sinal, o que será captado pelo sensor de velocidade. Neste caso a precisão da leitura pode ser afetada pela rugosidade da superfície, produzida por restos de cultura ou ervas daninhas.

O *ultra-som* também é um sensor montado na estrutura da colhedora, próximo ao solo, que emite ondas de som de alta frequência, direcionadas ao 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. Finalmente, temos o sistema *GPS* que calcula a velocidade de deslocamento da colhedora tomando por base ondas de frequência de sinal de rádio, que são recebidas pelo satélite. Neste caso, a precisão da velocidade está relacionada com a precisão do sistema de posicionamento do aparelho que recebe o sinal.

### **Indicador da posição da plataforma da colhedora**

O indicador de posição da plataforma da colhedora é um sensor que emite um sinal para o monitor quando a plataforma de colheita está levantada, 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.

### **Monitor de funções das operações**

O monitor de funções das operações é montado na cabine da colhedora e está conectado a todos os sensores. Isto permite o monitoramento de todas as operações, para posteriormente calcular-se o mapa de produtividade dos grãos. Além disso, esse monitor permitirá ao operador da máquina fornecer informações ao sistema. Um exemplo disso seria o controle da largura de corte da plataforma que conjuntamente com a velocidade de deslocamento da colhedora nos darão a produtividade. Uma outra possibilidade seria o de referenciar o campo que será colhido, fornecendo um nome ao local para futuras avaliações através de mapas temáticos.