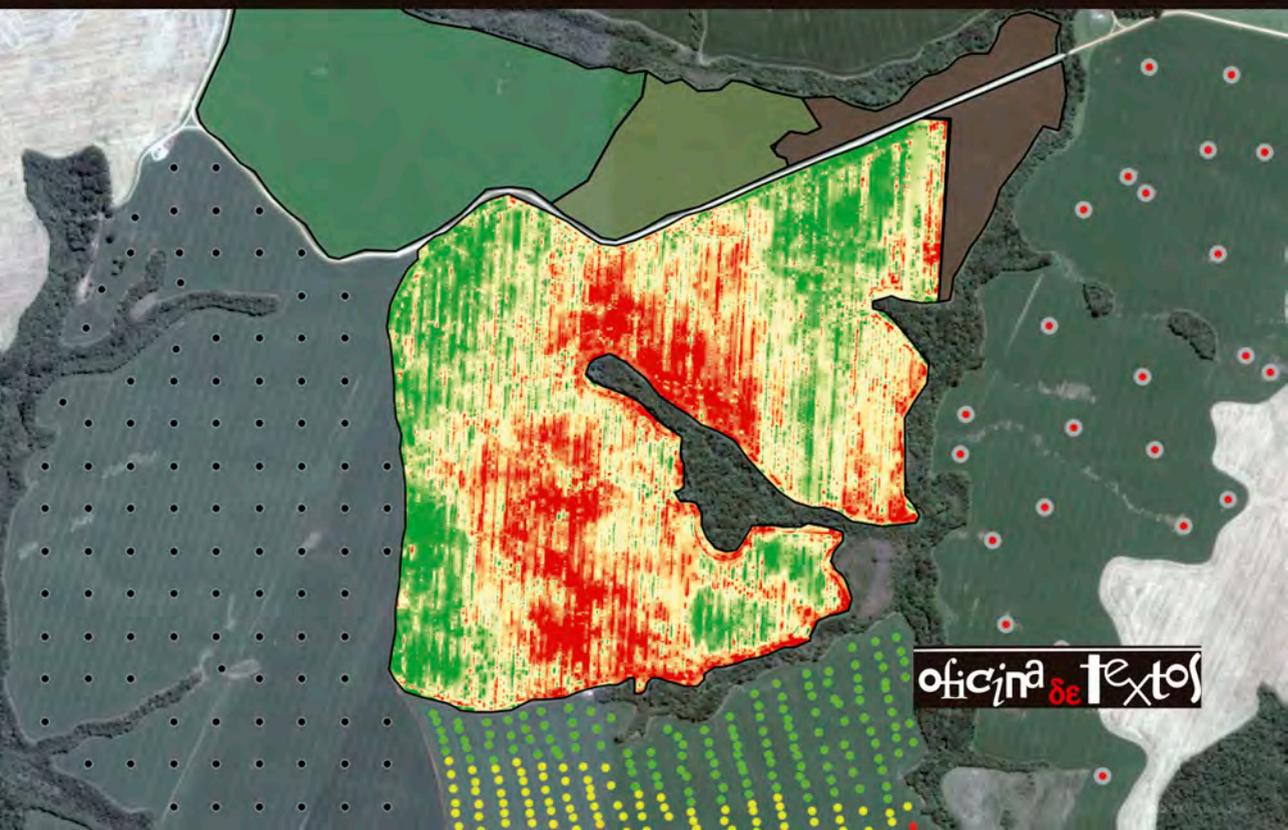


AGRICULTURA DE PRECISÃO

José Paulo Molin
Lucas Rios do Amaral
André Freitas Colaço



oficina de textos

AGRICULTURA DE PRECISÃO

José Paulo Molin
Lucas Rios do Amaral
André Freitas Colaço

oficina de textos

© Copyright 2015 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
Doris C. C. Kowaltowski; José Galizia Tundisi;
Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira
dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Diagramação Alexandre Babadobulos

Preparação de figuras Letícia Schneiater e Alexandre Babadobulos

Preparação de textos Carolina A. Messias

Revisão de textos Patrícia Zagni

Impressão e acabamento Graphium gráfica e editora

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Molin, José Paulo

Agricultura de precisão / José Paulo Molin,
Lucas Rios do Amaral, André Freitas Colaço. -- 1. ed. --
São Paulo : Oficina de Textos, 2015.

Bibliografia

ISBN 978-85-7975-213-1

1. Agricultura de precisão 2. Agricultura de
precisão - Inovações tecnológicas 3. Solos -
Manejo 4. Sustentabilidade I. Amaral, Lucas Rios
do. II. Colaço, André Freitas. III. Título.

15-07856

CDD-631.3

Índices para catálogo sistemático:

1. Agricultura de precisão 631.3

Todos os direitos reservados à **Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 959

CEP 04013-043 – São Paulo – Brasil

Fone (11) 3085 7933 Fax (11) 3083 0849

www.ofitexto.com.br e-mail: atend@ofitexto.com.br

P

Prefácio

Ao mesmo tempo que há uma crescente demanda por alimentos, energia e demais produtos oriundos da agricultura, os recursos naturais estão cada vez mais escassos. Diante desse contexto, a produção agrícola precisa ser otimizada, visando à sustentabilidade e à segurança alimentar. A gestão dos cultivos deve buscar o máximo rendimento das culturas com o menor consumo de insumos possível, ou seja, com o consumo racional e otimizado desses. Nesse contexto, a agricultura de precisão se mostra prática essencial e ganha cada vez mais adeptos.

O termo *agricultura de precisão* tem aproximadamente 25 anos, mas os fatos e as constatações que levaram ao seu surgimento são de longa data. Desde que a agricultura existe, sempre houve motivos para se diferenciar os tratamentos culturais nos pastos, pomares e lavouras em razão de alguma diferença interna das áreas. Com a expansão territorial da agricultura promovida pelo auxílio da mecanização, que permitiu que áreas cada vez maiores fossem cultivadas, esse detalhamento foi sendo relegado e grandes áreas passaram a ser geridas como se fossem homogêneas. Diante da necessidade de dar um novo foco para a agricultura, surgiu a atual agricultura de precisão.

Este texto aborda os aspectos conceituais da agricultura de precisão, mas também contempla as tecnologias envolvidas. Estas, por sua vez, têm vida útil bastante efêmera na escala do

tempo e muitas, em poucos anos, estarão superadas ou terão perdido a sua importância. De qualquer forma, espera-se que os conceitos permaneçam, evoluam e se consolidem.

Por parte dos autores, não existe a pretensão de esgotar o assunto, mas espera-se que o texto sirva de suporte para estudantes e profissionais. Entendemos que a agricultura de precisão não é uma disciplina, e sim uma abordagem, que pode e deve ser inserida nas disciplinas clássicas. Sua apresentação acadêmica na forma de disciplina justifica-se quando o objetivo é dar a visão do conjunto e deve prevalecer enquanto os conceitos não forem incorporados pelas diferentes áreas do conhecimento, não somente dentro da agricultura, mas das Ciências Agrárias como um todo.

O livro é composto de um conjunto de temas abordados sob o escopo da agricultura de precisão e acredita-se que poderá haver entendimentos distintos entre os leitores quanto à amplitude e aprofundamento nos diversos assuntos. Por isso, observações, comentários e críticas serão sempre bem-vindos.

S

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução | 9 |
| 1 Sistemas de navegação global por satélites..... | 17 |
| 1.1 GNSS..... | 17 |
| 1.2 Componentes do GPS..... | 20 |
| 1.3 Receptores GNSS..... | 21 |
| 1.4 Erros que atuam no GNSS..... | 26 |
| 1.5 Representação cartográfica..... | 30 |
| 1.6 Métodos de posicionamento..... | 32 |
| 1.7 Desempenho de receptores GNSS..... | 39 |
| 2 Mapas de produtividade: monitoramento da variabilidade das lavouras..... | 43 |
| 2.1 Reconhecimento da variabilidade..... | 43 |
| 2.2 Mapas de produtividade e suas funções..... | 45 |
| 2.3 Monitor de produtividade e seus componentes..... | 48 |
| 2.4 Monitores de produtividade em grãos..... | 52 |
| 2.5 Monitoramento de produtividade em outras culturas..... | 56 |
| 2.6 Calibração e operação do monitor..... | 61 |
| 2.7 Processamento de dados e filtragens..... | 62 |
| 3 Amostragens georreferenciadas | 71 |
| 3.1 Conceitos básicos de amostragem..... | 71 |
| 3.2 Estratégias de amostragem | 73 |
| 3.3 Equipamentos para amostragem de solo | 84 |
| 3.4 Amostragem de outros fatores de produção | 86 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4 | Sistemas de informações geográficas e análise espacial de dados | 89 |
| 4.1 | Sistemas de informações geográficas e a AP | 89 |
| 4.2 | Análise dos dados | 96 |
| 4.3 | Geoestatística | 106 |
| 5 | Sensoriamento e sensores | 119 |
| 5.1 | Sensores na agricultura | 119 |
| 5.2 | Sensoriamento remoto | 122 |
| 5.3 | Sensoriamento proximal | 131 |
| 6 | Gestão detalhada das lavouras | 155 |
| 6.1 | Conceitos básicos e aplicações | 155 |
| 6.2 | Tratamento localizado na aplicação de fertilizantes e corretivos | 159 |
| 6.3 | Tratamentos localizados em pulverizações | 175 |
| 6.4 | Tratamento localizado na semeadura | 183 |
| 6.5 | Tratamento localizado no preparo do solo | 186 |
| 6.6 | Tratamento localizado na irrigação | 187 |
| 7 | Unidades de gestão diferenciada | 189 |
| 7.1 | Conceitos fundamentais | 189 |
| 7.2 | Aplicações | 193 |
| 7.3 | Formas de obtenção | 196 |
| 8 | Sistemas de orientação e automação em máquinas | 203 |
| 8.1 | Soluções associadas à AP | 203 |
| 8.2 | Barras de luzes | 204 |
| 8.3 | Sistemas de direção automática | 210 |
| 8.4 | Controle de tráfego | 213 |
| 8.5 | Sistemas de direção automática para equipamentos | 216 |
| 8.6 | Qualidade dos alinhamentos e do paralelismo entre passadas | 217 |
| 8.7 | Automação das decisões nas máquinas | 219 |
| 8.8 | Eletrônica embarcada e a necessidade da sua padronização | 223 |
| 8.9 | Robótica – histórico e conceitos | 225 |
| 8.10 | Ambiente agrícola e os desafios para a robótica | 226 |
| | Referências bibliográficas | 233 |



Introdução

A VARIABILIDADE ESPACIAL NAS LAVOURAS

A prática da agricultura na sua forma mais ampla, envolvendo as lavouras de ciclo curto e as semiperenes, a fruticultura, as pastagens e as florestas implantadas, é uma atividade econômica que precisa ser minimamente sustentável. As áreas utilizadas para tais explorações não são obrigatoriamente uniformes – mesmo dentro de pequenas porções de uma gleba existirão diferenças no solo e no relevo que podem significar a demanda por tratamentos diferenciados.

Os agricultores que trabalhavam pequenas áreas de forma manual e com pequenas máquinas e implementos sempre tiveram essa percepção. No entanto, essa situação mudou radicalmente em muitas regiões do mundo, nas quais as áreas de cultivo se tornaram cada vez maiores e a potência e a capacidade das máquinas utilizadas aumentaram exponencialmente. Com isso, o agricultor foi perdendo muito da sua visão dos detalhes quanto ao solo e à cultura, pois o maquinário de alta capacidade trata facilmente grandes áreas de maneira uniforme. Entretanto, essa estratégia não pode ser considerada otimizada, pois nem o solo nem a cultura são uniformes dentro dessas áreas.

É necessário resgatar essa habilidade que o agricultor possuía no passado e conciliar as grandes extensões de lavouras e suas operações mecanizadas com as diferenças intrínsecas dentro dessas áreas produtivas. No entanto, a

observação visual pelo agricultor e os ajustes manuais nas operações não são mais possíveis. Ao conciliar a investigação da variabilidade e o conhecimento agrônomo já acumulado com o uso de máquinas e algum nível de automação dos processos, é possível reproduzir boa parte daquele detalhamento promovido antigamente pelo agricultor no gerenciamento de pequenas glebas.

Nem por isso os pequenos produtores devem se considerar relegados. Tal abordagem atualmente lhes oferece facilidades e recursos que permitem o resgate das práticas do passado de forma ainda mais efetiva. O conhecimento agregado ao longo da história ajuda a explicar cientificamente as variabilidades observadas e oferece caminhos para a gestão localizada com mais técnica e rigor, mesmo em pequenas lavouras.

Os aspectos ambientais ainda não são suficientemente abordados pelo setor produtivo agrícola e, além disso, há uma parcela da sociedade que culpa a agricultura moderna e as tecnologias envolvidas em torno dela de serem grandes degradadores ambientais. Especialmente os fertilizantes minerais, herbicidas, fungicidas e inseticidas, necessários para se obterem elevadas produtividades, são considerados contaminantes. No entanto, a utilização racional desses insumos, de forma a aplicá-los apenas na quantidade essencial, no local adequado e no momento em que são necessários, significa um avanço recente, da mesma forma que acontece com energia, sementes e água.

BREVE HISTÓRICO

Desde o início do século XX, existem relatos de trabalhos que mostram a utilidade de se gerenciar as lavouras de forma detalhada e localizada, inclusive com a aplicação de insumos, como o calcário, em taxas variáveis. Porém, a adoção real de práticas dessa natureza remonta aos anos 1980, quando foram gerados os primeiros mapas de produtividade na Europa e foram feitas as primeiras adubações com doses variadas de forma automatizada nos Estados Unidos.

Contudo, existem outros fatores que também ajudaram no surgimento dessa linha de pensamento. Por exemplo, na universidade de Minnesota (EUA) reunia-se um grupo de pesquisadores, predominantemente da área de solos, que passou a chamar a atenção para a grande variabilidade espacial presente nas lavouras, advinda da própria formação dos solos ou das interferências causadas pelo homem. Esse movimento do final dos anos 1980 deu origem ao que hoje é o Congresso Internacional de Agricultura de Precisão (ICPA), que acontece a cada dois anos e que, por sua vez, deu origem à Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA). Estes são eventos de grande relevância por agregarem considerável número de cientistas

e técnicos em torno do tema. Outro fato que inegavelmente influenciou a efetiva implementação das práticas de agricultura de precisão (AP) foi o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), que passou a oferecer sinal para uso civil em torno de 1990.

No Brasil, as primeiras atividades ligadas à AP, ainda muito esparsas, ocorreram em meados da década de 1990, primeiramente com a importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitor de produtividade de grãos. Porém, não havia máquinas disponíveis para a aplicação de fertilizantes em taxas variáveis, o que passou a ser praticado no final dos anos 1990, também com equipamentos importados. No início dos anos 2000, surgiram as primeiras máquinas aplicadoras brasileiras para taxas variáveis de granulados e pós, equipadas com controladores importados e, mais tarde, com os primeiros controladores para taxas variáveis nacionais. Aqui também a comunidade acadêmica passou a se organizar em torno de eventos, que aconteceram a partir de 1996, com o primeiro simpósio sobre AP na Universidade de São Paulo, Campus Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Em 2000, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) realizava o seu primeiro Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão (SIAP). Em 2004, na ESALQ/USP, realizava-se o primeiro Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP), que, na sequência, juntou esforços com o SIAP e as ações desenvolvidas em ambos culminaram com a criação da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, órgão consultivo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento oficializado pela portaria nº 852 de 20 de setembro de 2012.

Outro fato importante é que até 2000 o governo norte-americano causava intencionalmente um erro exagerado nos posicionamentos disponíveis a partir do sinal de GPS de uso civil. Isso exigia alto investimento em sistemas de correção diferencial daqueles que trabalhavam no campo com o GPS, o que conseqüentemente elevava o custo operacional. No dia primeiro de maio de 2000, a degradação do sinal GPS foi desligada e, conseqüentemente, os receptores de navegação de baixo custo se popularizaram.

A conjugação desses fatores fez com que o mercado de AP passasse efetivamente a existir, com o surgimento das primeiras empresas de consultoria e de serviços. No início da década de 2000, as barras de luzes, que já equipavam todos os aviões agrícolas, passaram a ser utilizadas em pulverizadores autopropelidos e outros veículos terrestres. Na sequência, surgiram os sistemas de direção automática. Foi assim que se estabeleceu no mercado e na mente dos usuários o conceito que associa AP a duas grandes frentes: a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis com base em amostragem georreferenciada de solo e o uso de sistemas de direção automática e congêneres.

A DEFINIÇÃO DE AP

A AP tem várias formas de abordagem e definições, dependendo do ponto de vista e da disciplina em que o proponente se concentra. Na sua fase inicial, a definição de AP era fortemente vinculada às ferramentas de georreferenciamento de dados nas lavouras, envolvendo, por exemplo, a sigla GPS, o que gerou entendimentos equivocados. Então, ela evoluiu para a visão da gestão das lavouras com um nível de detalhamento que permite considerar e tratar devidamente a variabilidade intrínseca destas.

Há uma crescente comunidade do segmento agrícola que transita no meio conhecido como Tecnologia da Informação (TI). Nesse sentido, têm surgido interpretações variadas quanto à sobreposição ou às semelhanças entre TI e AP. No entanto, Ting et al. (2011) fazem uma análise sobre o tema e caracterizam todo o contexto da área de TI na agricultura, afirmando que TI é utilizada de formas bastante diferentes desde as etapas pré-lavoura até as pós-lavoura. A AP, da forma como é tratada hoje, pode ser compreendida como a aplicação de TI durante a condução das lavouras, por isso a comunidade voltada à aplicação de TI na agricultura na sua forma mais ampla nem sempre está identificada com o que se trata dentro da AP.

A origem do termo “agricultura de precisão” está fundamentada no fato de que as lavouras não são uniformes no espaço nem no tempo. Assim, foi necessário o desenvolvimento de estratégias para gerenciar os problemas advindos da desuniformidade das lavouras com variados níveis de complexidade. A Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, órgão consultivo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, adota uma definição para AP que estabelece que se trata de

um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente. (Brasil, 2014, p. 6).

As definições para AP variam bastante, mas Bramley (2009) incorpora um pequeno, porém importante componente. Ele sugere que AP é um conjunto de tecnologias que promovem melhorias na gestão dos sistemas de produção com base no reconhecimento de que o “potencial de resposta” das lavouras pode variar consideravelmente, mesmo em pequenas distâncias, da ordem de poucos metros.

O conceito por trás do termo “potencial de resposta” abre possibilidades mais amplas de estratégias gerenciais. A gestão das intervenções agrônômicas pode ser fundamentada em algumas vertentes. Uma delas é aumentar

a produtividade, com possível incremento de custos, dentro dos limites do conceito econômico da lucratividade. Outra estratégia é a redução de custos, com diminuição do uso de insumos por meio da sua racionalização guiada pela variabilidade espacial. No entanto, outro conceito ainda pouco explorado na sua forma mais correta, que são as unidades de gestão diferenciada (Cap. 7), pode permitir a exploração do potencial de resposta além dos padrões usuais. Tal estratégia muito provavelmente exige a aplicação de maior quantidade de insumos em algumas dessas unidades e, em outras, a sua redução a um nível mínimo de manutenção das baixas produtividades, sempre visando ao melhor retorno econômico dentro do entorno de uma lavoura ou talhão.

O termo “agricultura de precisão” pode até ser contestado. A palavra “precisão” pretende se referir ao grau de aproximação da grandeza mensurada ao valor verdadeiro, porém o termo correto para tal é “exatidão”. “Precisão”, na verdade, refere-se à repetitividade na mensuração de uma dada grandeza, logo o termo apresenta uma distorção na origem. O correto seria a referência à agricultura com exatidão maior do que aquela com que já é praticada. Para se atingir maior exatidão, é necessário utilizar recursos para aumentar a resolução em todo o processo, desde o diagnóstico, com mais dados, até as intervenções, com auxílio de automação. No entanto, como o termo “agricultura de precisão” já está consolidado, ele será mantido aqui.

A questão de incluir ou não o uso de Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) e suas derivações, associadas aos sistemas guia e de direcionamento automatizado de veículos agrícolas como parte da AP, divide opiniões. AP está associada ao conceito de agricultura com uso intensivo de informação (Fountas et al., 2005), portanto o uso de sistema de direção automática e controle de tráfego, por exemplo, não exige nem está associado ao uso intensivo de informação espacializada do solo ou da cultura. Por outro lado, Bramley (2009) defende a ideia de que tais práticas e tecnologias podem ser consideradas dentro do contexto da AP na medida em que permitem ao usuário a aproximação com o uso de recursos como GNSS, diminuindo a distância destes aos conceitos de mapeamento da produtividade e gerenciamento localizado das lavouras. Essas ferramentas de automação associadas ao GNSS são tratadas no Cap. 8.

Certamente não haverá consenso entre comunidades, nem mesmo dentro de uma dada comunidade, sobre os detalhes no entorno do que se entende por AP, e as discussões podem levar a novos entendimentos. Considera-se aqui que AP é acima de tudo uma abordagem, e não uma disciplina com conteúdo estanque. O que hoje é visto como fato novo (a “maior precisão” na agricultura) um dia será algo corriqueiro e inserido nos processos, técnicas, rotinas

e equipamentos. Continuará sendo importante, mas estará incorporado aos sistemas de produção e envolverá novos desafios a serem trabalhados.

OS DESAFIOS

A AP se origina na gestão da variabilidade espacial das lavouras, o que representa um novo paradigma para esse início de século. No entanto, entende-se que ela tem várias formas de abordagem e pode ser praticada em diferentes níveis de complexidade. No Brasil, a prática predominante é a gestão da adubação das lavouras com base na amostragem georreferenciada de solo e aplicação de corretivos e fertilizantes de forma localizada e em doses variáveis. A aplicação de calcário, gesso, P e K em taxas variáveis com base na amostragem de solo em grade tem tido grande apelo comercial porque, num primeiro momento, oferece chances de economia desses insumos. Com essa realocação ou redistribuição otimizada, são diminuídos os desequilíbrios e pode-se esperar impacto positivo na produtividade das culturas, pois a técnica permite a espacialização do conceito proposto por Liebig em meados do século XIX, conhecido como a Lei do Mínimo.

No entanto, as práticas de AP podem ser conduzidas com diferentes objetivos. Quanto mais dados disponíveis ou coletados, mais consistente é a informação gerada e o conseqüente diagnóstico referente à variabilidade existente nas lavouras. Dessa forma, dados de produtividade das culturas, expressos por mapas, são fundamentais. A interpretação da variabilidade presente nas lavouras, evidenciada nos mapas de produtividade, implica uma relação entre causa e efeito. A explicação para os fatos é a tarefa mais complexa, pois as causas devem ser identificadas, demonstrando os fatores que podem causar baixas e altas produtividades, o que possibilita as intervenções.

Em muitos casos, as baixas produtividades observadas em determinadas regiões de um talhão podem estar associadas a aspectos que estão totalmente fora do poder humano de intervenção, a exemplo da variabilidade da textura do solo. Em situações como essa, a solução é tratar as regiões de baixa produtividade de acordo com o seu baixo potencial, com menor aporte de insumos visando obter lucro mesmo que com baixa produtividade. Já as regiões de maior potencial de resposta das lavouras devem receber um aporte maior de insumos visando explorar o limite econômico desse potencial. Trata-se de um exemplo simples de aumento intencional da variabilidade da lavoura, contrapondo-se à ideia de que AP sempre visa à uniformização.

Além disso, deve ser dada importância às demais práticas, como tratamento localizado de plantas invasoras, pragas e doenças, num contexto moderno que contempla a aplicação minimizada de insumos visando à economia e ao menor impacto ambiental possível.

Sempre haverá questionamentos, especialmente em relação às técnicas e à tecnologia. Tomando-se como exemplo a amostragem georreferenciada de solo visando à aplicação de insumos em taxas variáveis, sabe-se que há uma série de simplificações nos processos, a começar pela densidade de amostras em uma dada lavoura – muitos praticantes não atendem minimamente as recomendações técnicas – e a incerteza quanto às suas coordenadas, que pode ser da ordem de alguns metros. Há também a incerteza quanto ao número de subamostras e aos valores obtidos no laboratório. Também existem fontes de incertezas no processamento dos dados para a geração de mapas por meio de interpolações para se chegar às recomendações de insumos que também trazem dúvidas suscitadas nas interpretações de tabelas e recomendações, sejam eles corretivos de solo, fertilizantes, agroquímicos etc. Por fim, há também a questão das máquinas aplicadoras e dos controladores de taxas variáveis, que trabalham dentro de certos níveis de confiabilidade e acerto.

Entretanto, não se deve simplificar a análise desconsiderando aspectos relacionados a insumos, sua qualidade, uniformidade, teor real do elemento desejado e assim por diante. Ainda, deve-se considerar que todas as incertezas que se aplicam aos tratamentos localizados e às taxas variáveis servem também para a prática da gestão padronizada das lavouras com doses únicas (taxas fixas). Mesmo que as técnicas desenvolvidas no contexto da AP não venham a ser utilizadas, ainda há uma série de medidas que podem ser tomadas pelo agricultor e que resultarão em operações e práticas com maior eficiência, o que é fundamental. Aliás, é providencial que uma ampla revisão de procedimentos seja feita antes de se decidir pela adoção de práticas de AP, visando à melhoria contínua dos processos, mesmo que eles ainda não estejam diretamente associados à AP.

1

Sistemas de navegação global por satélites

1.1 GNSS

A humanidade vem desenvolvendo e aprimorando os métodos para localização e navegação. O primeiro grande invento nesse sentido foi a bússola, que permitiu grandes avanços, especialmente nas navegações marítimas. Um novo passo expressivo foi durante a Segunda Guerra Mundial, que demarcou significativos avanços no domínio da comunicação via rádio, da eletrônica e da engenharia de foguetes. Um marco relevante foi o lançamento do primeiro satélite na órbita da Terra, o Sputnik 1, pela União Soviética, em 4 de outubro de 1957. A partir daí, Estados Unidos e União Soviética intensificaram a corrida armamentista espacial, desenvolvendo sistemas de localização cada vez mais exatos. A meta, invariavelmente, girava em torno da localização de alvos inimigos, para lançamento de mísseis teleguiados, e localização de tropas aliadas, para protegê-las a distância.

Nos Estados Unidos, foram desenvolvidos inicialmente os sistemas Long-Range Navigation (Loran), o Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation (Decca) e o Global Low Frequency Navigation System (Omega), todos baseados em ondas de rádio. O inconveniente desses sistemas era a impossibilidade de posicionamento global, além da limitação quanto à exatidão, em razão da interferência eletrônica e das variações do relevo, mas já permitiam navegação marítima autônoma. Outro sistema desenvolvido, baseado em

na primeira etapa, para o uso em navegação local e, na segunda, para navegação global, como GPS, Glonass e Galileo. A China também é associada ao projeto Galileo, da União Europeia.

1.2 COMPONENTES DO GPS

Os GNSS, em geral, e o GPS, em particular, são estruturalmente divididos em três segmentos: espacial, de controle e dos usuários. O segmento espacial é caracterizado pela constelação de satélites (Fig. 1.1). O sistema GPS foi projetado pelo DoD e desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) para uso em aplicações militares para a Marinha e Aeronáutica dos Estados Unidos. É um sistema de geoposicionamento por satélites artificiais, baseado na transmissão e recepção de ondas de radiofrequência captadas pelos receptores, obtendo-se posicionamento em todo o globo terrestre. A constelação é composta de 24 satélites, dos quais 21 são suficientes para cobrir toda a Terra e três são originalmente previstos como reserva. São distribuídos em seis planos orbitais espaçados de 60°, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Essa configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis, ininterruptamente, em qualquer local da superfície terrestre (Monico, 2008).

fície terrestre (Monico, 2008).

Cada satélite transmite continuamente sinais em duas ondas portadoras L, sendo a primeira, L1, com frequência de 1.575,42 MHz e comprimento de onda de 0,19 m, e a segunda, L2, com frequência de 1.227,60 MHz e comprimento de 0,24 m. Sobre essas ondas portadoras são modulados dois códigos, denominados pseudoaleatórios. Na banda L1, modula-se o código Clear Access ou Coarse Aquisition (C/A) e o código Precise (P), já a banda L2 é somente modulada pelo código P. Esses sinais correspondem respectivamente ao Standard Positioning Service (SPS) e ao Precise Positioning

Service (PPS), sendo esse último prioritário para o serviço militar dos Estados Unidos (Monico, 2008).

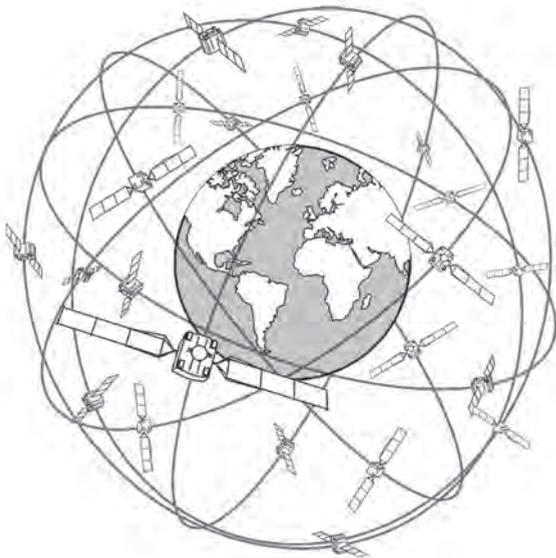


Fig. 1.1 Constelação de satélites representando o segmento espacial do GPS

Os receptores L1/L2, por sua vez, são destinados a aplicações mais nobres. Na agricultura, comumente associados à correção diferencial Real Time Kinematic (RTK), têm sido usados nos sistemas de direção automática, também conhecidos como sistemas de piloto automático, usados em veículos agrícolas em geral (Cap. 8). Nesse caso, o valor de aquisição de um receptor desses é da ordem de 20 a 40 vezes o valor de um receptor de navegação comum (C/A) e deve-se considerar a disponibilidade de um segundo receptor, próximo, com comunicação via rádio para a correção e redução de erros de posicionamento, oferecendo exatidão da ordem de 0,02 a 0,03 m.

Um fato que apenas recentemente adquiriu importância são os receptores GNSS propriamente ditos, que possuem capacidade para sintonizar e receber dados de mais do que uma constelação ao mesmo tempo. Já estão disponíveis no mercado diversos receptores desse tipo, normalmente associados a posicionamento de maior exatidão, mas também já são oferecidos receptores de navegação que trabalham com o código C/A do GPS e do Glonass, o que diminui o risco de perda de sinal, pois nesse caso o receptor passa a sintonizar satélites das duas constelações.

1.4 ERROS QUE ATUAM NO GNSS

Antes de comentar os erros do sistema, é preciso entender os conceitos de precisão e de exatidão. O termo precisão relaciona-se com a variação do valor medido repetidamente sob mesmas condições em torno do valor médio observado, enquanto exatidão refere-se ao quão próximo está o valor medido do valor real (Fig. 1.5). A precisão é afetada somente pelos erros aleatórios no processo de medição, enquanto a exatidão é afetada pela precisão, bem como pela existência de erros desconhecidos ou sistemáticos. As medidas podem ser precisas e não exatas, mas só podem ser exatas se forem precisas.

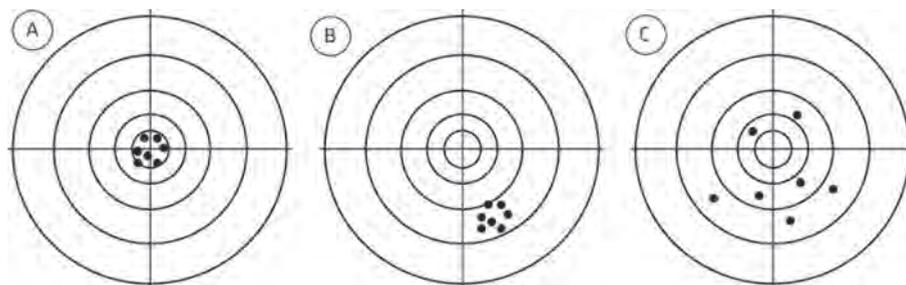


Fig. 1.5 Representação de uma condição de (A) alta exatidão e alta precisão; (B) baixa exatidão e alta precisão; (C) baixa precisão e baixa exatidão

As fontes de erros de posicionamento podem ser agrupadas pelas suas origens em erros dos relógios dos satélites e do relógio do receptor, pequenos

2

Mapas de produtividade: monitoramento da variabilidade das lavouras

2.1 RECONHECIMENTO DA VARIABILIDADE

Como já foi afirmado, AP é uma forma de gestão de todo o processo agrícola que leva em consideração a variabilidade existente nas lavouras. Logo, é necessário avaliar, quantificar e mapear essa variabilidade, a fim de geri-la eficientemente. Muitos pesquisadores, e mesmo usuários, consideram que o ponto de partida para se começar a praticar AP demanda a identificação da variabilidade espacial existente nas lavouras. Nesse sentido, os mapas de produtividade são tidos como a informação mais completa e verdadeira para se visualizar a variabilidade nos cultivos. A nomenclatura do mapa obtido ao final da colheita carece de consenso. As principais formas de se denominar esse produto são: mapas de colheita, mapas de rendimento e mapas de produtividade. Todos parecem estar parcialmente corretos de acordo com os respectivos significados registrados nos dicionários da Língua Portuguesa: colheita pode ser entendida simplesmente como o ato de colher produtos agrícolas ou os produtos colhidos em uma safra; rendimento é definido como ação ou efeito de render, ligado ao lucro ou rendimento monetário; produtividade significa capacidade de produzir e, no âmbito agrícola, é entendida como a quantidade produzida de um produto cultivado por unidade de área. A expressão “mapa de colheita” é provavelmente a mais adotada pelos usuários no campo, porém é um pouco vaga, considerando que diversas

que não serve ao agricultor que queira diagnosticar algum problema durante o ciclo da cultura, a fim de tratá-lo ainda no mesmo ciclo. Dessa forma, várias outras ferramentas têm sido propostas, de forma alternativa, para se identificar a variabilidade existente nas lavouras, seja por falta de equipamento eficiente para o monitoramento da colheita, seja pela extensão da área e necessidade de grande número de colhedoras com monitores de produtividade instalados, ou, ainda, pela demanda de identificação das regiões com diferentes potenciais produtivos durante a safra, possibilitando intervenções ainda a tempo de se melhorar o retorno econômico ao final do ano-safra. Exemplos dessas ferramentas alternativas são as fotografias aéreas, as imagens de satélite e os sensores de dossel, os quais serão abordados em capítulo específico (Cap. 5), mas cada uma delas também apresenta suas limitações e vantagens.

Apesar das limitações indicadas, os mapas de produtividade contêm informações essenciais na diagnose da variabilidade da lavoura e, consequentemente, no eficiente uso das técnicas da AP.

2.2 MAPAS DE PRODUTIVIDADE E SUAS FUNÇÕES

Invariavelmente, o objetivo dos agricultores é a obtenção de altas produtividades com o menor custo possível, sempre focando um melhor retorno econômico da atividade agrícola. Nesse contexto, a estimativa da quantidade média que uma lavoura produz já não é suficiente quando se pensa em AP, uma vez que a ideia principal é a gestão localizada da produção. Logo, o mapeamento da produtividade passa a ser uma ferramenta essencial para essa finalidade (Fig. 2.1).

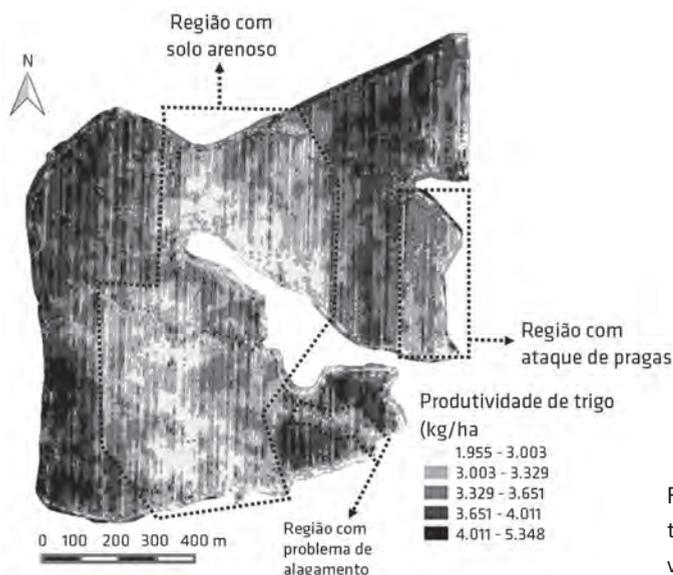


Fig. 2.1 Mapa de produtividade de trigo e diferentes causadores da variabilidade

Logo, uma célula de carga era instalada entre o braço da garra e a garra, sendo capaz de pesar cada uma das cargas (“garradas”) executadas pela máquina. Com as informações do GNSS sobre a localização e distância entre as “garradas”, era possível calcular a produtividade e criar mapas de produtividade. No entanto, esse sistema tinha o empecilho de exigir que a garra estivesse completamente imóvel para realizar as leituras de peso, o que retardava o processo de colheita. Assim, foi proposto um sistema que chegou a ser comercializado, com base em uma forma simplificada de estimativa de peso das cargas da carregadora utilizando a pesagem da cana contida no caminhão ao chegar à indústria dividida pelo número de cargas da carregadora, assumindo-as iguais. A variabilidade local vinha da distância entre as cargas, obtida pelas suas coordenadas.

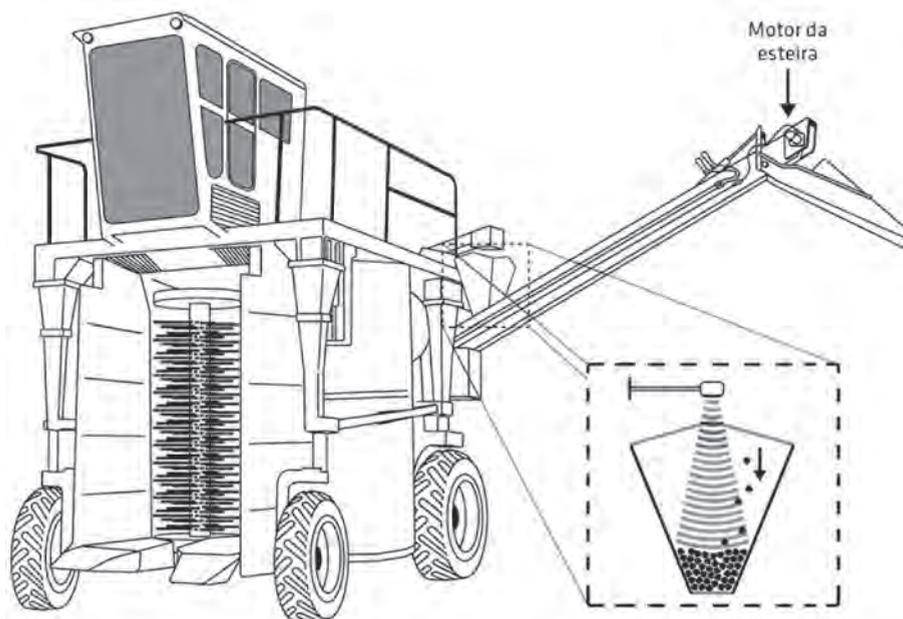


Fig. 2.8 Monitor de produtividade para café. Em destaque, o sensor de ultrassom que mede quando o reservatório está cheio de grãos e aciona o motor da esteira

Entretanto, com o crescente aumento das áreas colhidas sem queima, após legislação instituída no Brasil em 2004, começou a ocorrer intensa substituição da colheita com corte manual por colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Com isso, esforços foram direcionados para o desenvolvimento de um monitor de produtividade embarcado na colhedora, e, logo, sistemas semelhantes ao desenvolvido na Austrália começaram a ser estudados.

Outro sistema de monitoramento da produtividade estima o volume de cana entrando na colhedora com base na mensuração da altura de cana que chega ao picador ou na variação de pressão hidráulica do seu acionamento.

plataforma cheia (Fig. 2.13). Para solucionar esse problema, alguns sistemas automatizados para a determinação da largura de corte efetiva vêm sendo desenvolvidos. Essas soluções incluem a medição da largura com relação à passada anterior pelo GNSS, que deve ter boa precisão e exatidão, e utilizam o conceito de controle de seções utilizado nos pulverizadores, assunto abordado no Cap. 8.

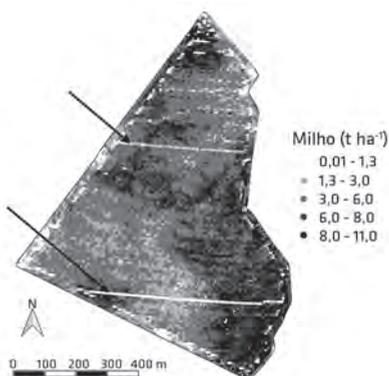


Fig. 2.13 Erros típicos de largura de plataforma (indicados pelas setas) nos locais em que o operador não indicou o fracionamento da plataforma em algumas passadas de arremate

2.7.4 TEMPO DE ENCHIMENTO DA COLHEDORA E TEMPO DE RETARDO

O tempo de enchimento da colhedora também é uma fonte de distorções nos mapas de produtividade, especialmente nas cabeceiras dos talhões. Após ter esvaziado seus sistemas de trilha, separação e limpeza enquanto descarregava o seu tanque graneleiro, a colhedora demora em torno de 15 a 20 segundos para atingir novamente o regime normal de trabalho com esses sistemas novamente cheios. Durante esse tempo, o sensor de fluxo de grãos estará

medindo fluxos menores e crescentes à medida que a máquina avança para dentro da lavoura, o que gera dados incorretos de baixa produtividade nas cabeceiras do talhão ou onde a colhedora parar ou fizer manobras. Esse efeito é difícil de ser eliminado e, quando não avaliado corretamente, faz o usuário supor erroneamente que há algum tipo de problema nas cabeceiras das lavouras, como compactação ou ataque de pragas, quando de fato é uma falha na coleta dos dados do monitor de produtividade. Esse problema caracteriza-se por ocorrer apenas nas entradas na lavoura e não nas saídas da máquina (Fig. 2.14).

É importante salientar que esse tempo de enchimento é diferente daquele tempo de retardo que os sistemas comerciais já consideram. O tempo de retardo é o tempo gasto entre o início do corte pela plataforma e a chegada do produto colhido ao sensor de fluxo (Fig. 2.14). Esse erro faz com que pontos sejam registrados fora da lavoura (final da passada) e comecem a ser registrados muito para dentro (início da passada) da lavoura. Esse tempo é facilmente medido para uma dada colhedora e produto colhido, sendo então inserido no sistema no ato da sua configuração.

3

Amostragens georreferenciadas

3.1 CONCEITOS BÁSICOS DE AMOSTRAGEM

As ações de gestão na agricultura, sejam aplicações de insumos, sejam recomendações de tratos culturais, são normalmente precedidas de uma etapa de investigação sobre a lavoura. Nessa etapa, são levantadas informações que subsidiam as intervenções agronômicas, ou seja, traduzem a necessidade da cultura por insumos ou tratos culturais. Tais informações podem ser obtidas de diversas formas, por exemplo, por meio de observações do campo – um agricultor pode perceber a ocorrência de plantas daninhas ou doenças e decidir tomar alguma medida para o seu controle – ou por meio de amostragens, um método mais apropriado para áreas extensas, onde a percepção do agricultor sobre toda a área é dificultada.

Estatisticamente, a amostragem tem por objetivo representar um todo (população estatística) com base na avaliação de apenas uma porção dele (amostras). No caso agronômico, a amostragem representará um talhão baseado na observação em apenas alguns locais, seguindo uma metodologia específica para cada parâmetro avaliado ou cultura.

A amostragem pode ser aplicada na investigação dos mais diversos fatores de produção, por exemplo: amostragem de solo, para avaliação dos seus parâmetros químicos ou físicos; de tecido vegetal, para avaliação do estado nutricional das plantas; de ocorrência de pragas ou doenças, para avaliação

de investigação por amostragem, só que, nesse caso, a densidade amostral é muito maior, praticamente cobrindo todo o terreno, possibilitando assim maior confiabilidade nos mapas levantados.

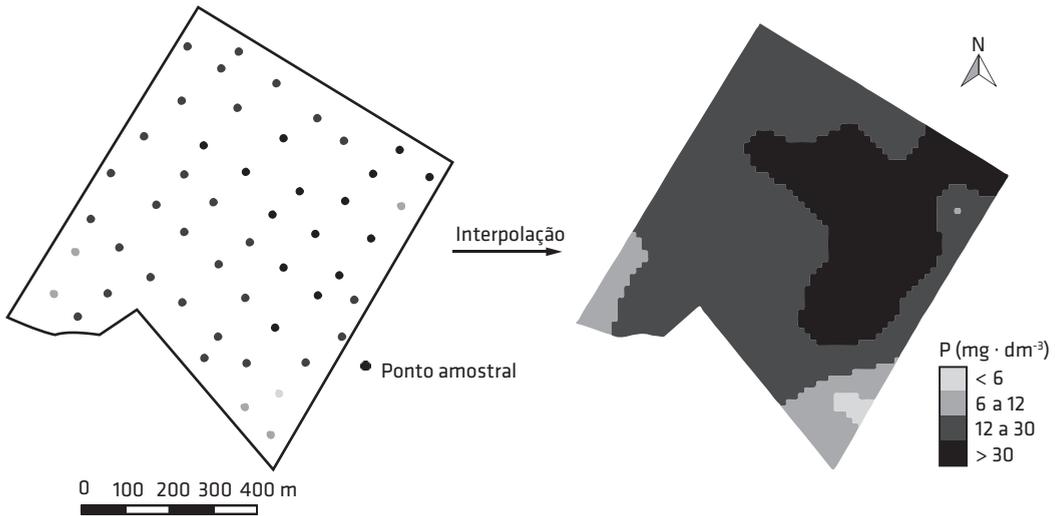


Fig. 3.1 Geração do mapa final a partir da interpolação dos dados obtidos nos pontos amostrais

Este capítulo trata da amostragem que utiliza procedimentos de coleta semelhantes aos empregados nas amostragens convencionais, porém é georreferenciada e segue uma estratégia de coleta própria para caracterizar a variabilidade espacial do fator investigado. Será focada, em especial, a amostragem georreferenciada de solo, a qual se tornou provavelmente uma das práticas do manejo localizado mais populares no Brasil e, muitas vezes, usada erroneamente como sinônimo da própria AP.

3.2 ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM

3.2.1 AMOSTRAGEM EM GRADE (POR PONTO OU POR CÉLULA)

O tipo mais comum de amostragem georreferenciada utilizada na AP é conhecida como amostragem em grade. O campo é dividido em células e dentro de cada uma delas é coletada uma amostra georreferenciada composta de subamostras. A “grade amostral”, como é conhecida entre os usuários de AP, é gerada por meio de um SIG ou algum software dedicado (Cap. 4), no qual se dimensionam o tamanho das células (que define a densidade amostral) e a posição do ponto amostral dentro de cada célula. A grade ou apenas os pontos georreferenciados são transferidos para um receptor GNSS que será utilizado para a navegação até eles.

áreas em processo inicial de adoção da AP, em que há pouco ou nenhum conhecimento da variabilidade da área. Nessa etapa, as intervenções em taxas variáveis devem equilibrar minimamente a variabilidade espacial de fatores químicos de fertilidade. Na medida em que são acumulados dados georreferenciados (mapas de produtividade, textura e condutividade elétrica do solo, relevo, entre outros), pode-se mudar de estratégia, direcionando as amostras apenas para os locais de interesse ou por UGD. Essa última estratégia diminuirá os custos com coleta e análise de amostras e será utilizada para monitorar e manejar a variabilidade remanescente, aquela oriunda de fatores não antrópicos e imutáveis com que, invariavelmente, o agricultor terá que conviver durante os anos de produção.

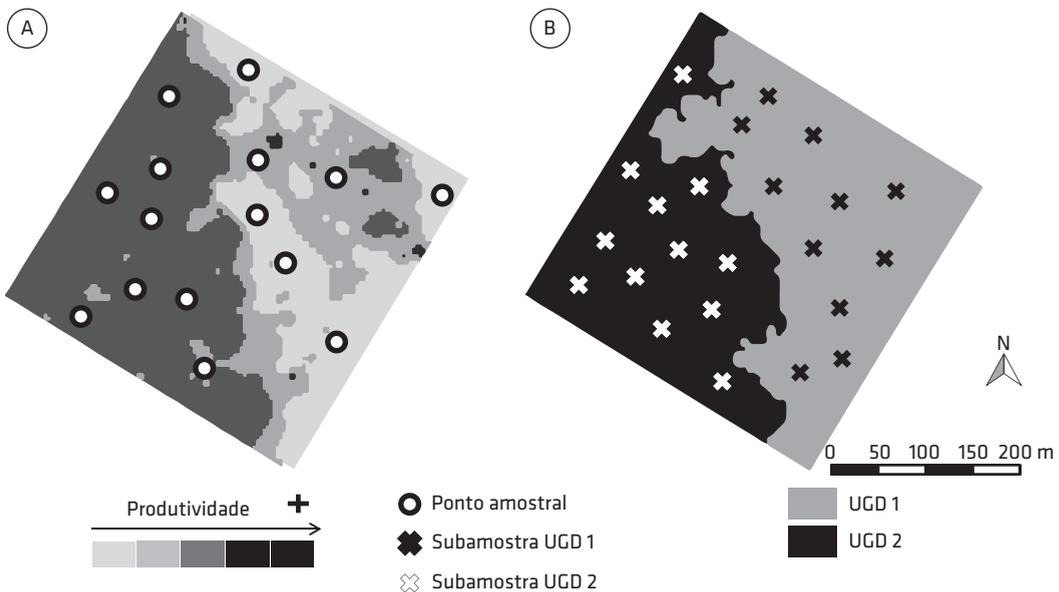


Fig. 3.9 Amostragem direcionada (A) por mapa de produtividade e (B) por unidade de gestão diferenciada

3.3 EQUIPAMENTOS PARA AMOSTRAGEM DE SOLO

A quantidade de amostras de solo demandada na AP, especialmente quando se utiliza a amostragem em grade, é alta se comparada à amostragem aplicada nos métodos convencionais. Dessa forma, embora os equipamentos convencionais de amostragem também possam ser empregados na AP (trado e sonda, por exemplo), é necessário aumentar o rendimento da operação por meio de sistemas mecanizados e automatizados de amostragem que são mais rápidos e eficientes. Uma diversidade de soluções tem surgido no mercado, tornando a coleta de solo operacionalmente viável, mesmo para grades de alta densidade amostral. O aumento no rendimento advém do uso de fontes de potência para acionamento dos amostradores, de veículos

manualmente, parcialmente automatizados ou totalmente automatizados. A automação pode ocorrer na etapa da coleta da amostra (acionamento automático do sistema sacador) e também na organização e identificação das amostras. Certamente, a escolha do equipamento de amostragem depende da capacidade de investimento, demanda de trabalho e rendimento operacional almejado.

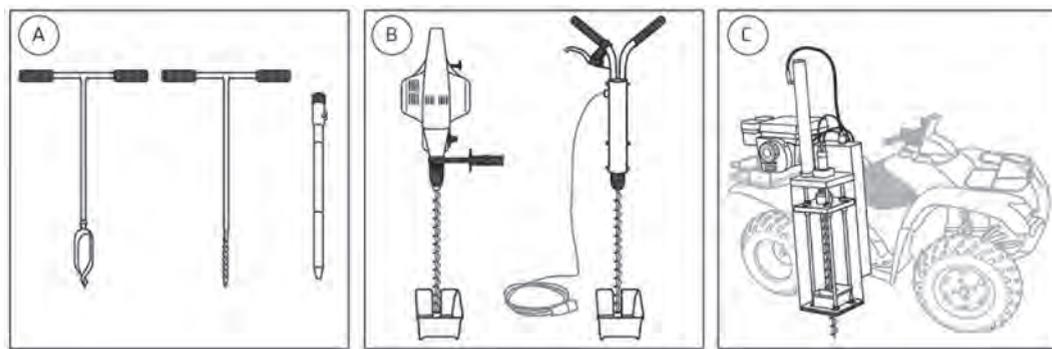


Fig. 3.10 (A) Trados de acionamento manual; (B) amostradores motorizados, de combustão interna (esquerda) e acionamento elétrico (direita); (C) amostrador hidráulico acoplado em quadriciclo

3.4 AMOSTRAGEM DE OUTROS FATORES DE PRODUÇÃO

Como apresentado anteriormente, a amostragem pode ser empregada na investigação de inúmeros parâmetros de interesse agrônomo. O mesmo ocorre na amostragem georreferenciada utilizada na AP. Embora a amostragem de solo tenha se destacado no uso dessa técnica, alguns outros fatores também têm sido abordados, tanto na pesquisa quanto por usuários no campo.

Muitas pragas e doenças apresentam alta variação no campo, especialmente aquelas que ocorrem em reboleiras. Embora essa característica dificulte o mapeamento, os tratamentos fitossanitários aplicados em taxas variáveis podem oferecer ganhos econômicos e ambientais significativos, pois é possível evitar aplicá-los em locais que não apresentam esse tipo de problema. Assim, o manejo de pragas e doenças em uma lavoura pode ser extremamente beneficiado com o uso do georreferenciamento e mapeamento de sua variabilidade espacial. Esse tipo de amostragem vem sendo utilizado, por exemplo, na aplicação de acaricida em taxa variável para controle de ácaro da leprose em reboleiras na cultura dos citros e na aplicação de inseticida em taxa variável para controle de *Sphenophorus levis* em reboleiras na cultura da cana-de-açúcar. Embora a etapa de investigação possa ser extremamente laboriosa, o alto custo de alguns agroquímicos e seus potenciais impactos ambientais podem encorajar a adoção da amostragem georreferenciada e da tecnologia de aplicação em taxas variáveis.

4

Sistemas de informações geográficas e análise espacial de dados

4.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E A AP

Grande quantidade de dados deve ser levantada de forma especializada quando lavouras são conduzidas sob os preceitos da AP, ao contrário do que ocorre na gestão convencional. Esses dados podem ser coletados de forma densa, como no caso do mapeamento da produtividade, ou esparsos, como na amostragem de solo em grade. Independentemente da variável analisada e da densidade dos dados, o resultado final busca representar a variabilidade espacial de determinado fator. Porém, esses dados só se tornam informação útil se devidamente processados e analisados.

A informação espacializada, aquela com posição (coordenadas) conhecida no espaço, é a exigência básica em atividades relacionadas à AP. No entanto, esse tipo de informação é particularmente mais complexo do que as informações com as quais os agricultores estão acostumados, pois sempre se basearam na “média” de uma lavoura ou de uma fazenda. As informações espacializadas envolvem os conceitos de “o que” e “onde”. Historicamente, essas questões têm sido tratadas com o desenvolvimento das técnicas de preparação de mapas. É importante destacar que o conceito de mapa, no contexto da AP, refere-se a uma representação visual, geralmente em duas dimensões, de uma informação relativa a uma lavoura ou região; mapas bem construídos devem conter título, legenda e indicações de escala e direção (rosa dos ventos).

5

Sensoriamento e sensores

5.1 SENSORES NA AGRICULTURA

Atualmente, a área com maior potencial para desenvolvimento em AP é a de sensores, tanto em equipamentos como em aplicações. Por meio de diferentes princípios de sensoriamento, é possível a identificação e o mapeamento de variados parâmetros de solo e de planta. Uma das grandes vantagens das ferramentas de sensoriamento em AP é a capacidade de coletar, dentro de uma mesma área, uma quantidade muito maior de dados do que aquela permitida pelas técnicas tradicionais de amostragem georreferenciada (Cap. 3). Isso permite uma caracterização mais detalhada e, conseqüentemente, confiável da variabilidade espacial da lavoura, uma vez que os erros com estimativas e interpolações comuns em amostragens pouco densas são reduzidos. Tal fato tem impulsionado o interesse por sensores em detrimento à amostragem de solo em grade, por exemplo, mesmo que os dados de sensoriamento sejam normalmente medidas indiretas e que precisem de calibração e desenvolvimento de algoritmos agrônômicos para serem informações úteis à gestão.

Sensores são dispositivos que respondem a um estímulo físico/químico de maneira específica e mensurável. Eles são capazes de avaliar algum atributo de um alvo de interesse, normalmente de forma indireta. Assim, pode-se interpretar que o termo “sensor” refere-se ao dispositivo que efetivamente mede ou estima determinada propriedade do alvo,

5.2 SENSORIAMENTO REMOTO

5.2.1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto clássico, aquele com base quase que exclusivamente em imagens obtidas por câmeras instaladas em plataformas aéreas e orbitais, pode ser definido como a ciência ou a arte de se obter informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno, por meio de dados coletados por um equipamento (sistema sensor) que não entra em contato com o alvo (Crepani, 1993). Parte do princípio de que cada alvo tem uma característica única de reflexão e emissão de energia eletromagnética. A energia eletromagnética mensurada por esses sensores é baseada na radiação de fótons, sendo que essa energia é carregada pelo espaço através de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos, caracterizada pela distância entre suas cristas, que pode variar de uma fração de nanômetro até vários metros (Fig. 5.1). Quanto menor o comprimento de onda, maior é sua frequência e maior a sua energia (Heege, 2013).

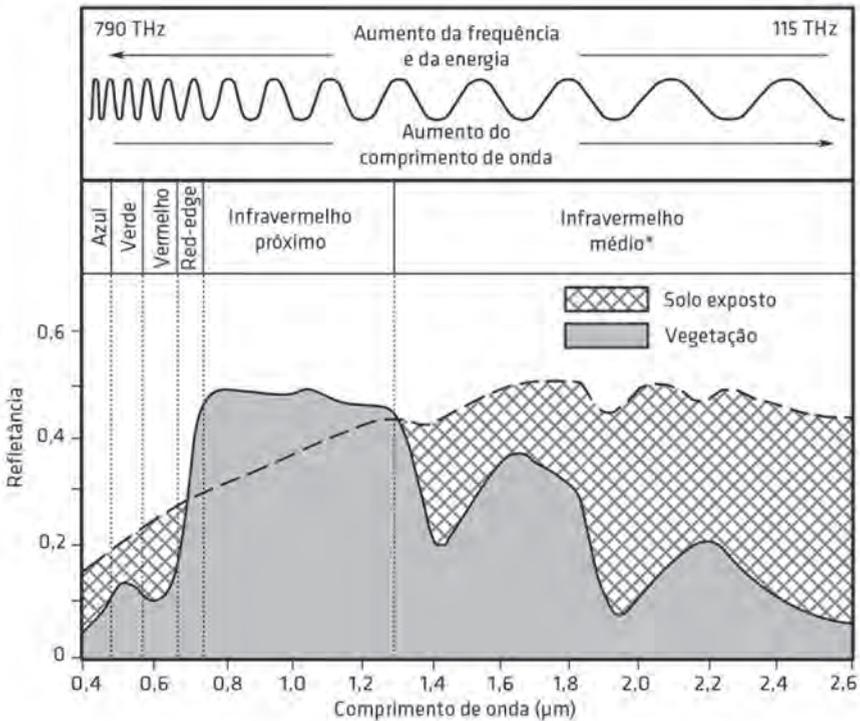


Fig. 5.1 Comportamento espectral típico de solo exposto e vegetação nas diferentes regiões do espectro eletromagnético utilizado em sensoriamento remoto na agricultura (visível e infravermelho)

* A subdivisão do espectro dentro da região do infravermelho não apresenta consenso: alguns autores distinguem essa região, que vai de 0,7 µm a 1.000 µm, de três até seis regiões

É importante destacar que o sensoriamento via refletância das plantas tem como característica a determinação da variabilidade na biomassa em conjunto com a variação no teor de clorofila das folhas (Fig. 5.8). No caso dos sensores por fluorescência de clorofila, o sistema detecta apenas a variação nos teores de clorofila e, com algumas adaptações, as quantidades de compostos fenólicos nas paredes das células das folhas (Heege, 2013). Os sensores que interagem com compostos fenólicos têm sido utilizados para estimar a qualidade de alguns produtos, principalmente frutas, em razão da concentração desses compostos, e será descrito com mais detalhes no subitem 5.3.4.

Sensores de plantas daninhas

O comportamento espectral e a arquitetura foliar de plantas daninhas podem ser diferentes aos das plantas cultivadas. Com esse conceito, sistemas de visão artificial têm sido estudados para identificar a presença de plantas daninhas e até mesmo diferenciar as espécies de plantas desse tipo presentes na lavoura para possibilitar o controle localizado e a aplicação de herbicida de forma seletiva (Fig. 5.10).

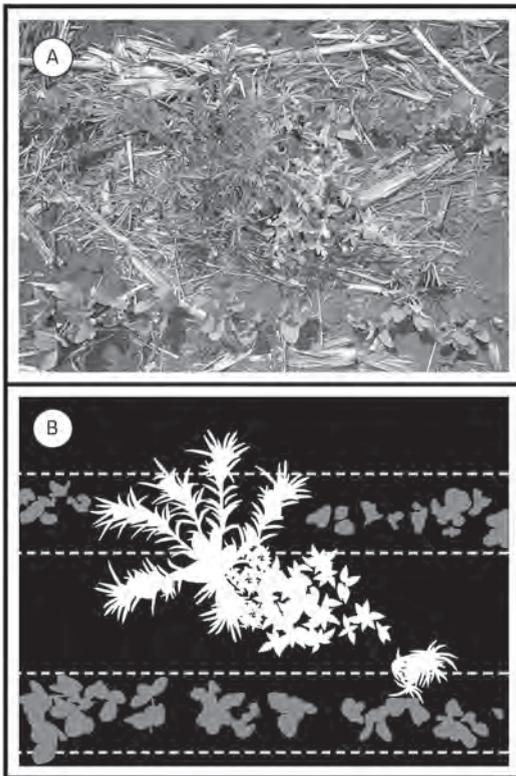


Fig. 5.10 Identificação de plantas daninhas e distinção das fileiras da cultura por meio de visão artificial e processamento de imagens

Esse sistema se baseia na análise de imagens digitais tomadas de plataformas terrestres, especialmente veículos agrícolas. Entretanto, com a resolução espacial cada vez maior dos sensores orbitais e aéreos, estuda-se também a possibilidade de uso de tais fontes com o mesmo objetivo.

Para possibilitar a identificação das espécies, é necessário que um banco de dados sobre características espectrais, contorno do limbo, textura e arquitetura foliar seja obtido e implementado em um *software* de análise de imagens digitais. O conceito é captar a imagem do terreno, processar essas informações, distinguir a planta daninha da cultura, para então emitir sinal ao sistema de aplicação para abrir ou fechar determinada ponta ou seção da barra de pulverização de herbicidas. Alternativamente, esse conceito pode ser

das plantas. O mesmo princípio se aplica à irrigação de precisão nessas culturas (Rosell; Sanz, 2012).

Outra utilização dessa tecnologia é na estimativa da quantidade de biomassa acumulada em uma cultura, baseada na diferença de volume entre a superfície do solo e o topo do dossel das plantas. Essa informação pode estimar, por exemplo, a produtividade de plantas forrageiras, as quais têm em sua massa vegetal o produto principal. Pode fornecer também subsídio para estimativas de produtividade, quando essa está relacionada com o vigor das plantas durante seu desenvolvimento. Tal informação, assim como já apresentado quando abordados os temas “mapas de produtividade” e “sensores de dossel”, possibilita, entre outras finalidades, o refinamento das recomendações de fertilizantes e do controle gerencial sobre a lavoura.

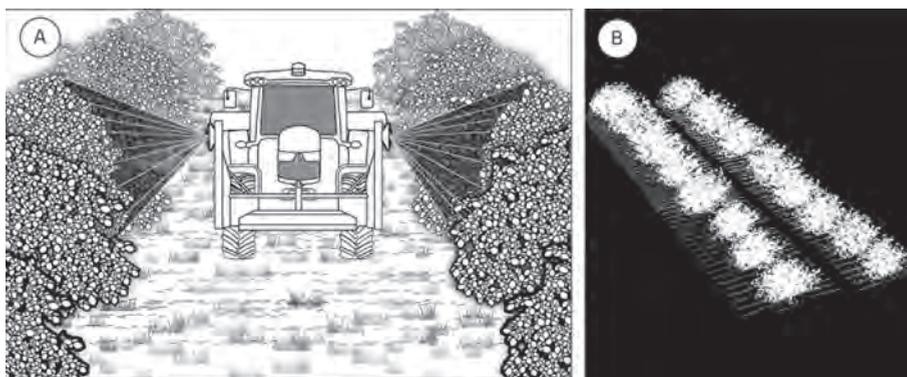


Fig. 5.15 Sensores do tipo LiDAR (A) instalados em máquina agrícola para medição do volume de copa e (B) mapa em três dimensões gerado com base nos dados desses sensores

5.3.4 SENSORES DE QUALIDADE DO PRODUTO

Há uma tendência de remunerar o produtor de acordo com a qualidade de determinados produtos agrícolas comercializados. Desse modo, cada vez mais são demandados sensores que avaliem a qualidade do produto de forma especializada. Entretanto, essa é uma área do sensoriamento ainda incipiente quando comparada ao grande potencial que possui. Nesse sentido, sensores vêm sendo desenvolvidos para possibilitar o mapeamento da qualidade do produto ao longo da lavoura, auxiliando a identificação do melhor momento de colheita de determinada porção da lavoura, assim como a realização da chamada “colheita seletiva”, na qual o produto colhido pode ser separado no momento da colheita, de acordo com certos padrões de qualidade. Isso possibilita maior qualidade do produto colhido e consequente rentabilidade.

Alguns equipamentos com essa finalidade já estão disponíveis. Há sensores de proteína nos grãos, voltados principalmente à cultura do trigo, os

6

Gestão detalhada das lavouras

6.1 CONCEITOS BÁSICOS E APLICAÇÕES

Pode-se considerar que o tratamento localizado é a essência da AP ou a materialização desse sistema de gestão. Se todo o sistema for dividido em duas partes, sendo a primeira a investigação, seguida da ação de gestão, o tratamento localizado compõe a segunda etapa. Ele é muitas vezes referido no inglês como aplicação em sítio específico, tratamento em sítio específico (*site specific application* ou *site specific treatment*), aplicação em taxas ou doses variadas, ou, ainda, tecnologia de taxa variada (em inglês, *variable rate technology*, VRT), mas o termo adequado parece dependente da ação específica que se queira referir. Essencialmente, trata-se da ação diferenciada, variada ou localizada, coerente com a demanda de cada pequena porção (a menor possível) da lavoura.

Notadamente, essa prática parece bastante diferente daquela aplicada na agricultura sob gestão convencional, na qual as intervenções ou as doses de insumos são empregadas uniformemente na lavoura. Porém, de forma conceitual, a diferença está apenas na resolução das investigações e dos tratamentos, a qual é maior em AP, o que gera ações localizadas mais “precisas” – uma unidade de gestão convencional é composta de um talhão ou gleba, muitas vezes com centenas de hectares, enquanto na AP ela pode apresentar apenas alguns metros quadrados.

Os benefícios da gestão localizada podem ser enquadrados nas seguintes categorias: economia de insumos, aumento de

e tratadas manualmente pelos agricultores. A mecanização e automação se tornaram importantes à medida que o aumento da escala de produção dificultou a percepção do agricultor sobre o campo e os tratamentos agronômicos passaram a demandar alto rendimento operacional.

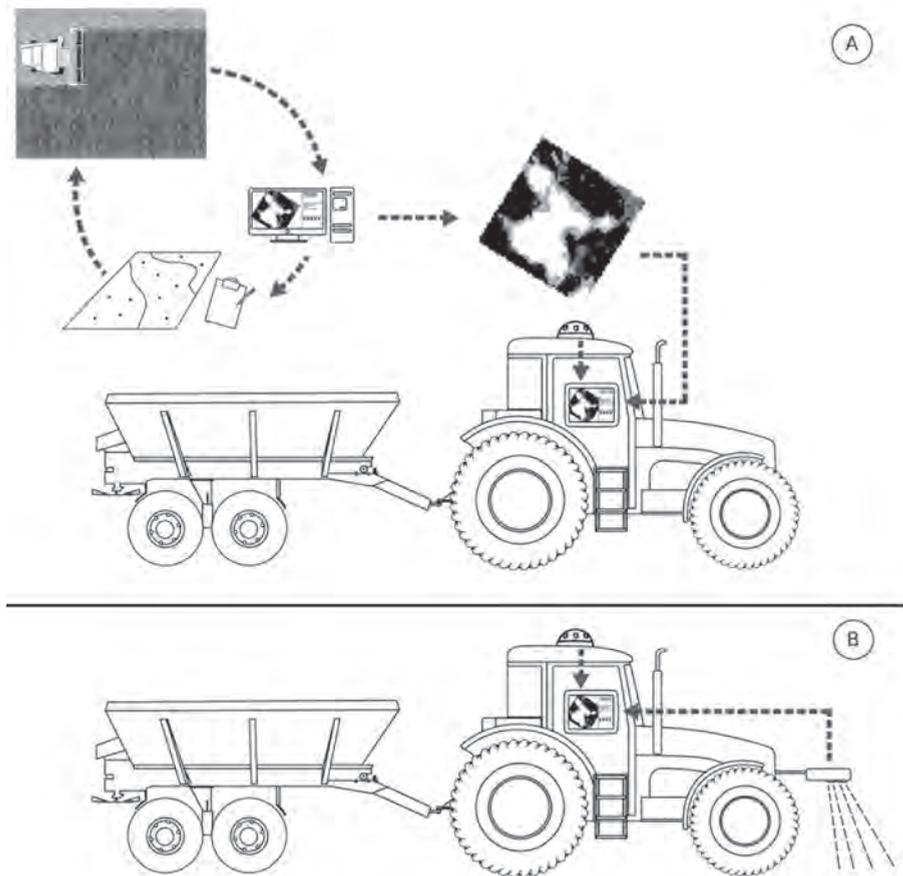


Fig. 6.1 Conceito de tratamento localizado (A) baseado em mapa de recomendação e (B) guiado por sensor em tempo real

6.2 TRATAMENTO LOCALIZADO NA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS

6.2.1 FORMAS E ESTRATÉGIAS DE RECOMENDAÇÃO

A gestão localizada da adubação e correção do solo é provavelmente a principal prática de AP realizada hoje no Brasil e no mundo. A forma mais frequente de recomendação tem sido por meio de amostragem de solo em grade com um aumento significativo no interesse por intervenções por unidades de gestão diferenciada (UGD) e, no caso da adubação nitrogenada, pelo uso de sensores ópticos. A aplicação em doses variadas de calcário, fertilizantes

grãos, o controle se dá na velocidade angular desses mecanismos por meio de um motor hidráulico ou elétrico. Já em máquinas com mecanismo dosador gravitacional, a atuação ocorre por meio da abertura ou fechamento do orifício dosador por um atuador linear com controle eletrônico.

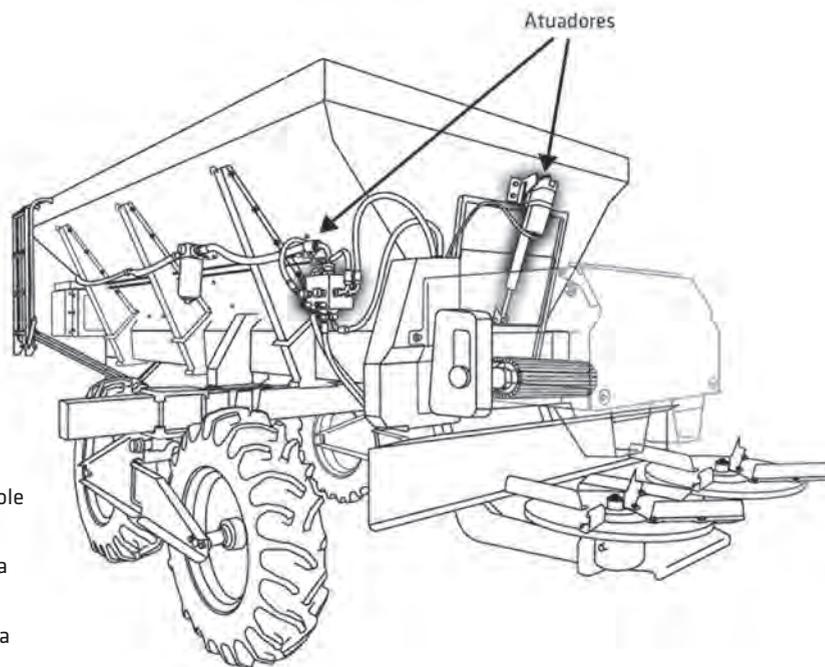


Fig. 6.7 Máquina adubadora com controle de doses por atuação na comporta dosadora (cilindro hidráulico) e esteira transportadora (motor hidráulico)

Atualmente há uma predominância de motores hidráulicos para atuar nos componentes dosadores das diferentes máquinas, mas há uma tendência de substituição por atuadores elétricos, que são mais rápidos e precisos.

Em qualquer tipo de máquina, os sistemas de controle e atuação devem ser calibrados frequentemente, ou pelo menos sempre que há troca de produto a ser aplicado. O procedimento varia entre equipamentos, mas basicamente consiste em informar ao sistema a quantidade de produto aplicado (coletado estaticamente) durante um determinado tempo ou número de giros do motor acionador para um determinado ajuste do mecanismo dosador. Algumas pesagens são suficientes para que o sistema ajuste automaticamente a sua curva de calibração.

Como comentado anteriormente, em aplicações variadas de fertilizantes não se utilizam adubos formulados N-P-K, porque cada elemento deve seguir um mapa de recomendação próprio e, portanto, as aplicações devem ser realizadas separadamente. Esse fator é uma grande limitação para a maioria das máquinas disponíveis para AP, com capacidade para apenas um produto, e muitas vezes impacta diretamente a decisão do agricultor sobre a adoção

para se ajustar às doses que o equipamento oferece, geralmente convertendo mapas de *pixels* para o formato vetorial.

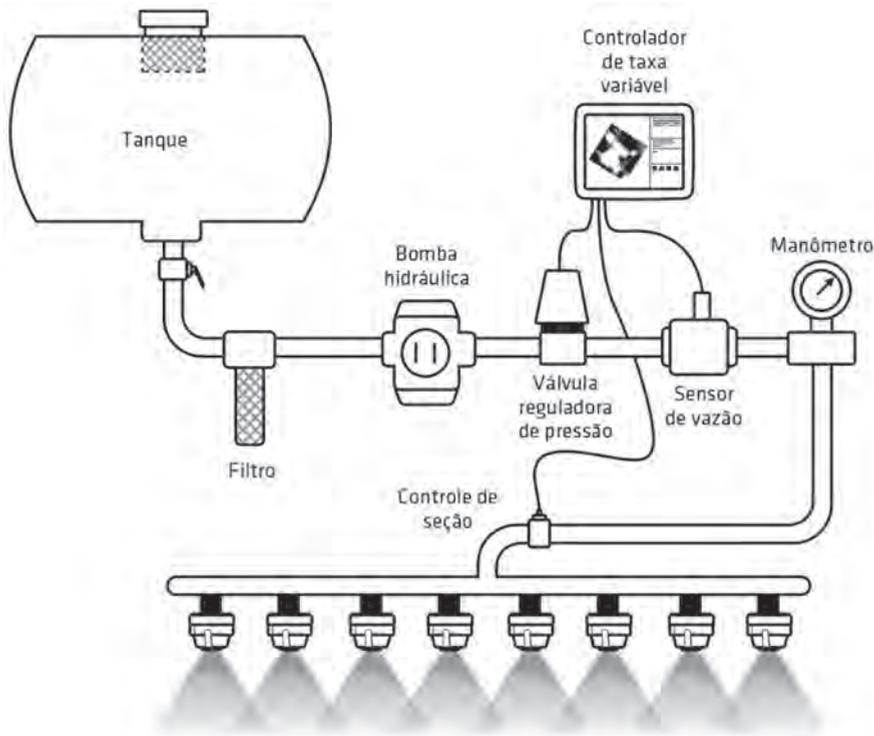


Fig. 6.11 Componentes do sistema de pulverização variada por meio da variação na pressão de aplicação

A terceira forma de alterar a vazão é por meio da tecnologia denominada controle de vazão modulado por largura de pulso, ou PWM (Pulse Width Modulation). Nesse sistema, os bicos operam com válvulas solenoides de alta velocidade, as quais permitem a abertura e o fechamento dos bicos por um curto intervalo de tempo e com alta frequência. O tempo de abertura e frequência do ciclo “abertura, aplicação e fechamento” determina a vazão do bico (Fig. 6.13). Essa tecnologia é a que apresenta maior vantagem entre as citadas até então, pois mantém o padrão de aplicação e tamanho de gotas, independentemente da vazão aplicada, apresenta um rápido tempo

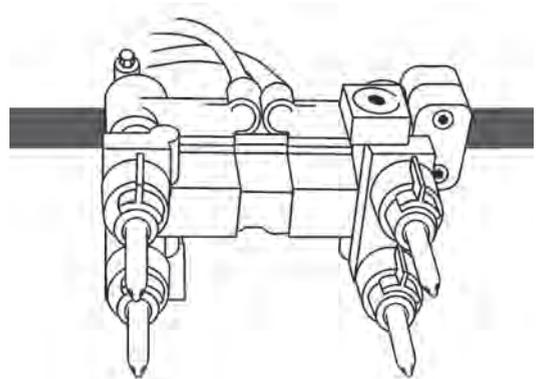


Fig. 6.12 Conjunto de pontas para pulverização com volume de calda variável

7

Unidades de gestão diferenciada

7.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Ao longo dos temas abordados até então, diversas vezes foram mencionadas as unidades de gestão diferenciada (UGDs), também denominadas zonas de manejo. Neste capítulo, pretende-se aprofundar os conceitos sobre UGDs, bem como suas aplicações e formas de obtenção.

Como apresentado no Cap. 6, as estratégias de tratamento localizado podem ser de diversos tipos: aplicações baseadas em mapas de recomendação no formato *raster*, vetorial, aplicações em tempo real por sensores de solo ou planta e também aquelas por UGDs, sem contar as formas que mesclam as diversas metodologias. A maior vantagem dos métodos que utilizam UGDs, em relação aos demais, é o fato de serem capazes de agregar dados históricos da área e traduzi-los em uma informação relevante à gestão. As demais estratégias utilizam apenas dados de investigação coletados semanas ou meses antes da aplicação, caso das amostragens, ou no mesmo momento da aplicação, no caso de aplicações em tempo real.

Uma importante vertente da AP é o estudo não só da variabilidade espacial, mas também da variabilidade temporal, ou seja, de como se comportam as manchas encontradas na lavoura ao longo do tempo. Elas são permanentes ou variam de ano para ano? Quais informações extraídas desse comportamento podem ser utilizadas na gestão da área? As tecnologias de AP tornam possível a obtenção de dados da lavoura

8

Sistemas de orientação e automação em máquinas

8.1 SOLUÇÕES ASSOCIADAS À AP

O surgimento dos GNSS deu origem a novas perspectivas para a agricultura e a indústria de máquinas. Muitas das inovações tratadas no contexto da AP não são associadas à gestão da variabilidade espacial das lavouras, o que gera controvérsias. Desde o seu início, a AP tem tido a contribuição da indústria de máquinas agrícolas e do segmento acadêmico que atua nessa área. Aliás, boa parte da capacidade instalada de pesquisa que deixou de ser demandada na área de máquinas e mecanização agrícola, por ter se esgotado ou por ter sido assumida pela indústria, se deslocou para essa interface com a AP. Atualmente, muitos departamentos de Engenharia Agrícola em universidades ao redor do mundo se destacam por atuações nessa área, o que indica a existência de demanda nesse campo.

Há um elenco de produtos e soluções associados à mecanização agrícola, invariavelmente lembrados sempre que se faz referência à AP. É o caso dos sistemas-guia e de direcionamento automatizado de veículos, dos controladores de seções em pulverizadores e de linhas nas semeadoras, e da comunicação via telemetria. Também são lembrados dispositivos anteriores a tudo isso, como o caso dos monitores de semeadoras, que já eram disponíveis na década de 1980, embora ainda não sejam intensamente adotados no Brasil. Há ainda outras controvérsias, derivadas da própria nomenclatura de

correção SBAS para frequência simples ou mesmo com algoritmos internos de filtragem de erros de paralelismo, como nas barras de luzes.

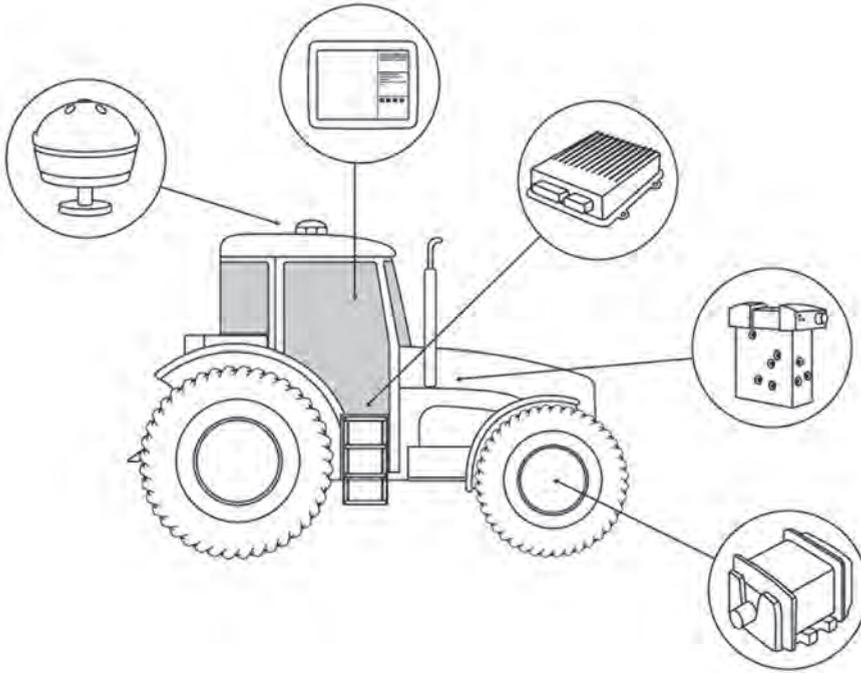


Fig. 8.6 Componentes de um sistema de direção automática de controle eletro-hidráulico: (A) receptor GNSS; (B) computador; (C) sensor inercial; (D) válvula atuadora eletro-hidráulica da direção; (E) sensor de angulação do esterçamento

Os sistemas de direção automática surgiram, sobretudo, para oferecer conforto ao operador, sendo que os usuários inicialmente focados eram os agricultores que operavam as suas próprias máquinas, o que é comum principalmente na América do Norte e Europa. O foco da indústria nesse caso foi oferecer facilidades e conforto a esse agricultor, que, com o auxílio de outras tecnologias, como internet sem fio e telefonia móvel, trabalha no seu “escritório virtual” pela cabine do trator. No mercado brasileiro, a indústria encontra outro perfil de usuário, normalmente um funcionário da empresa com a função única de operar a máquina, que não aproveita, portanto, diretamente esse aspecto da inovação.

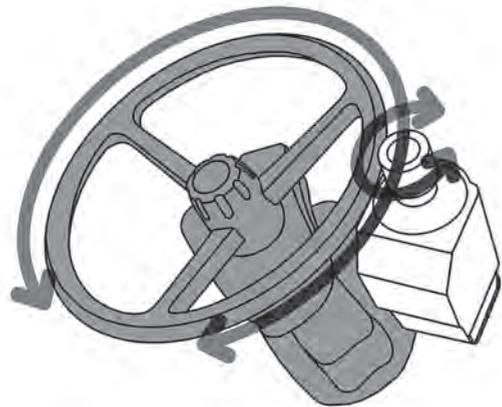


Fig. 8.7 Sistema de direção automática com atuador tipo motor elétrico, que faz girar o volante

que a sua linha central coincida com aquela do trator (Fig. 8.9). Se for uma máquina sobre rodado, outra solução é que este tenha esterçamento próprio. Porém, em todas essas soluções, para que o trator e a máquina tenham a mesma referência de posição, eles deverão ter uma antena de GNSS independente e o sistema atuará sempre alinhando esta com aquela do trator.

Existem também soluções de compensação da posição da máquina ou implemento de arrasto de forma que este siga o alinhamento desejado, mesmo que o trator não cumpra o mesmo alinhamento. Por esse motivo, essas soluções são denominadas sistemas passivos. O trator irá percorrer um percurso de compensação calculado para eliminar a tendência natural da máquina ou implemento de cortar curvas durante as operações ou de se deslocar continuamente na direção do declive. Na sua configuração, é definida a geometria do conjunto e, assim, nem sempre é necessária uma segunda antena de GNSS, porém essa solução não permite obedecer aos preceitos do controle de tráfego, pois o trator não segue rigorosamente os rastros.

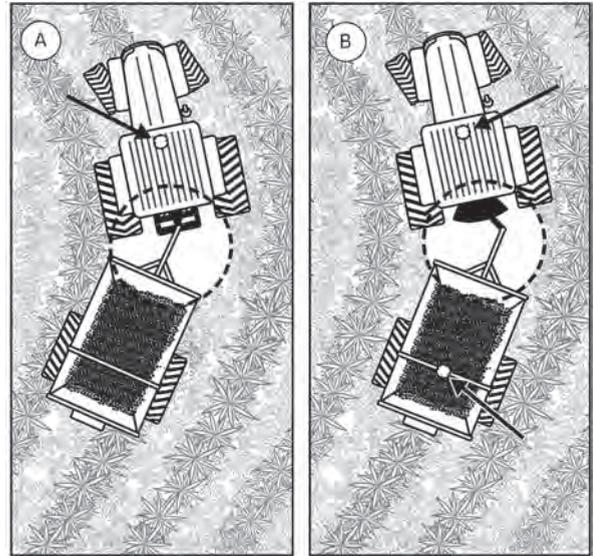


Fig. 8.9 Equipamento de arrasto: (A) sem sistema de direção automática; (B) com sistema de direção automática ativo e antena de GNSS independente, indicada pelas setas, assim como sobre o trator

8.6 QUALIDADE DOS ALINHAMENTOS E DO PARALELISMO ENTRE PASSADAS

Como estabelecido quando abordado o tema GNSS (Cap. 1), a norma ISO 12188-2 (ISO, 2012) especifica o procedimento para avaliar e relatar o desempenho dos veículos agrícolas equipados com sistemas automatizados de orientação com base em GNSS, quando operando em um modo de direção automático. Aqui, o principal critério de desempenho é o erro transversal relativo ou *cross-track error* (XTE), que é o desvio lateral de um ponto representativo do veículo entre repetidas passadas (Fig. 8.10). Este critério de desempenho integra as incertezas associadas com o desempenho de todos os componentes do sistema de direção do veículo, incluindo o receptor GNSS, os componentes da direção automática e a dinâmica do veículo. A norma foca o monitoramento do desempenho do sistema de orientação automática com o veículo em percursos retos sobre uma superfície plana. Para o caso

dualmente na válvula de cada ponta de pulverização e, quanto maior esse detalhamento, maior será o impacto da área controlada (Fig. 8.11).

O mesmo conceito tem sido usado em outras aplicações. É o caso das semeadoras, que passam a ter a opção de ligar e desligar o acionamento dos mecanismos dosadores de cada linha, individualmente. É interessante destacar que isso só foi possível com a substituição dos acionamentos que eram feitos por rodas de terra por atuadores hidráulicos ou elétricos.

8.8 ELETRÔNICA EMBARCADA E A NECESSIDADE DA SUA PADRONIZAÇÃO

Tudo o que foi apresentado anteriormente gera uma nova perspectiva para a mecanização agrícola, que definitivamente passa a demandar o domínio da eletrônica e de suas tecnologias. Portanto, a eletrônica embarcada passa a ser não apenas um auxílio complementar nas máquinas, mas sim um componente essencial que traz consigo novos desafios, sendo provavelmente o maior deles o da necessidade de padronização, menos evidente quando se trata de veículos autopropelidos. Na interface entre um trator e uma máquina por ele tracionada e acionada, a necessidade de padronização tende a ser algo óbvio aos olhos do usuário, da mesma forma que foi, no passado, a padronização das dimensões do acoplamento da TDP (tomada de potência), do engate de três pontos e de conexões hidráulicas.

As comunicações eletrônicas, no entanto, requerem significativamente mais padronização do que era necessário nos casos das interfaces anteriores. Não somente os aspectos físicos agora são considerados, mas principalmente a compatibilidade da maneira como o dado ou a informação é comunicada. Um dado simples como a velocidade de deslocamento, por exemplo, para ser utilizado por diferentes equipamentos e gerado apenas em

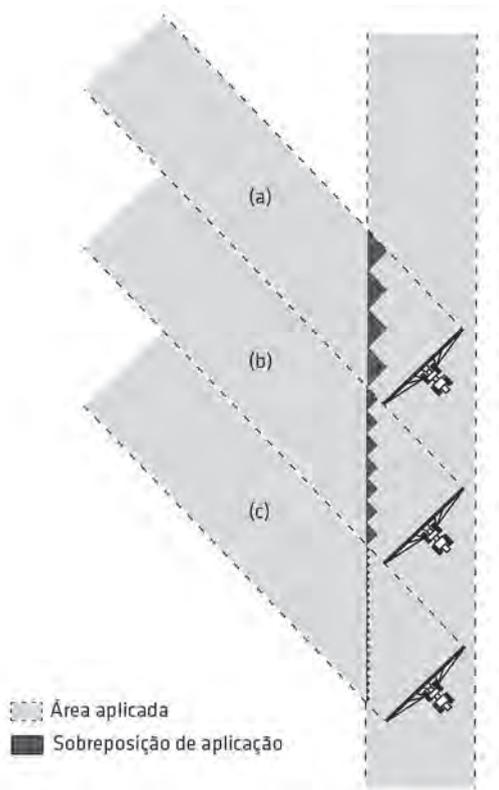


Fig. 8.11 Sistemas que permitem (A) o controle manual de seções, (B) o controle automatizado de seções mais estreitas e (C) o controle individualizado de cada ponta de pulverização

Em um mundo com recursos naturais cada vez mais escassos, a agricultura de precisão proporciona informações detalhadas sobre a lavoura e permite uma gestão eficiente, por variado que seja o substrato, com o máximo rendimento das culturas e um consumo racional e otimizado de insumos.

Agricultura de precisão apresenta os principais conceitos e tecnologias envolvidos, como unidades de gestão diferenciada; gestão detalhada das lavouras para a aplicação de fertilizantes, pulverização, irrigação ou sementeira; amostragem georreferenciada e monitoramento por meio de sensores e sistemas de informação geográfica; além de sistemas de orientação e automação de máquinas.

A obra introduz o leitor a essa promissora perspectiva atual da agricultura, que alia tecnologias e ferramentas modernas à análise de dados e tomada de decisões e vem se mostrando cada vez mais determinante para o aumento da produtividade e a redução de custos não apenas em lavouras de grande extensão com operação mecanizada, mas até mesmo em pequenas propriedades.



ISBN 978-85-7975-213-1



9 788579 752131