

oficina de textos

*Daniel Marçal de Queiroz
Domingos Sárvio Magalhães Valente
Francisco de Assis de Carvalho Pinto
Aluizio Borém*

ORGANIZADORES

Professores da Universidade Federal de Viçosa

AGRICULTURA DIGITAL

2ª edição | atualizada
e ampliada

© Copyright 2022 Oficina de Textos

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

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

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Preparação de figuras Victor Azevedo

Diagramação Luciana Di Iorio

Preparação de textos Hélio Hideki Iraha

Revisão de textos Renata de Andrade Sangeon

Impressão e acabamento BMF gráfica e editora

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

Agricultura digital / organização Aluizio Borém... [et al.]. -- 2. ed. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2021.
Outros organizadores: Daniel Marçal Queiroz, Domingos Sárvio M. Valente, Francisco de Assis Carvalho Pinto.

Bibliografia.
ISBN 978-65-86235-37-1

1. Agricultura e tecnologias relacionadas
2. Geoprocessamento 3. Geotecnologia 4. Inovações tecnológicas 5. Robótica I. Borém, Aluizio.
II. Queiroz, Daniel Marçal. III. Valente, Domingos Sárvio M. IV. Pinto, Francisco de Assis Carvalho.

21-94204

CDD-631.52

Índices para catálogo sistemático:

1. Agricultura digital 631.52

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

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

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo SP Brasil

Fone: (11) 3085-7933

www.ofitexto.com.br

ofitexto@ofitexto.com.br

APRESENTAÇÃO

A maior parte da população urbana possui uma visão romantizada e distorcida das empresas rurais, outrora chamadas de fazendas. Se perguntadas, muitas dessas pessoas vão responder descrevendo suas férias de infância na fazenda do avô, onde se produzia quase tudo de que a família precisava à mesa: arroz, feijão, milho, verduras, carne, leite, ovos, frutas etc. Essa imagem das fazendas é coisa do passado. Hoje, geridas como empresas, as propriedades agrícolas evoluíram e estão focadas na produção tecnificada de alimentos, buscando a sustentabilidade econômica.

Para muitas indústrias, a Era Digital trouxe mudanças nesse início do século XXI, decorrentes da alta capacidade de processamento dos computadores, dos *smartphones*, do sistema de geolocalização, da robotização e de outros avanços da tecnologia da informação. A Era Digital traz novas formas de organizar a produção e de otimizar as operações e a logística, além de oferecer melhores meios para atender às demandas dos consumidores. Essa onda tecnológica levou à modernização dos processos de informação e comunicação, tornando-se a força motriz que já transformou as indústrias da saúde e de medicamentos, de telecomunicações e automotiva, assim como as atividades bancárias e comerciais, entre outras. A agricultura está iniciando sua transformação digital. A adoção da automação, de sensores de alta tecnologia, da computação em nuvem, de algoritmos nas tomadas de decisão e da internet das coisas está criando a agricultura digital, na qual dados coletados são usados para aumentar a eficiência dos recursos utilizados pela agricultura: terras, água, mão de obra e insumos, que são finitos. Grande parte da coleta desses dados está sendo realizada por sensores instalados em máquinas agrícolas, *drones*, satélites e outras plataformas. Esses dados, muitas das vezes disponibilizados em tempo real, são utilizados tanto para monitoramento como para a tomada de decisões na agricultura. Alguns estão dizendo que os dados são o novo petróleo do século XXI, tamanha a importância que estão ganhando em todos os setores produtivos, e na agricultura não é diferente. Essa revolução agrícola introduz o conceito de propriedades rurais inteligentes, com a interconexão de máquinas, equipamentos e sensores agrícolas.

Com a agricultura digital, o produtor pode monitorar 24 h por dia e sete dias por semana, no seu *smartphone* ou no seu *tablet*, todos os processos em sua propriedade, otimizando as decisões conforme a variabilidade espacial e temporal, levando a uma nova revolução na produção de alimentos.

Este livro, *Agricultura digital*, é uma excelente oportunidade de atualização para todos que estão envolvidos com a agricultura, pois mostra como a tecnologia

está transformando a ciência e a arte de produzir alimentos. Que caminho a agricultura agora está trilhando? Esse é o foco deste livro.

A UFV se sente honrada de ter agrupado um seleto grupo de professores e pesquisadores neste livro para apresentar o estado da arte da gestão das empresas rurais usando as tecnologias da agricultura digital, em sua segunda edição. Use-o para lhe ajudar a construir uma agricultura capaz de suprir a demanda mundial de alimentos, de forma ambientalmente responsável e sustentável. Boa leitura!

Demetrius David da Silva
Reitor da UFV

SUMÁRIO

1	Nova Revolução Verde	11
	Referências	19
2	Sistemas de localização por satélites	20
2.1	Sistemas de projeções e coordenadas no posicionamento	21
2.2	Como funcionam os sistemas de posicionamento por satélites	23
2.3	Erros no posicionamento por satélites	25
2.4	Sistemas para melhoria da precisão/ exatidão do posicionamento por satélites.....	26
2.5	Tipos de levantamento utilizando sistemas de posicionamento por satélites	27
	Referências	28
3	Análise da variabilidade espacial e temporal	29
3.1	Fontes de variabilidade espacial e temporal.....	30
3.2	Fatores que afetam a produtividade das culturas	32
3.3	Variabilidade temporal da produtividade	34
3.4	Determinação da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas.....	35
3.5	Manejo da variabilidade	39
	Referências	40
4	Imagens e sensoriamento remoto aplicado à gestão agrícola	42
4.1	Sensoriamento remoto	42
4.2	Imagens digitais	44
4.3	Escolha da plataforma de sensoriamento remoto.....	47
4.4	Aplicações	48
	Referências	50
5	Geoprocessamento aplicado ao gerenciamento de lavouras	51
5.1	Sistema de Informações Geográficas.....	51
5.2	Processamento digital de imagens	56
5.3	Integração de dados e SIG.....	62
	Referências	65
6	Amostragem e interpretação de mapas	67
6.1	Um breve histórico.....	67
6.2	O que não se pode deixar de saber sobre a amostragem	68
6.3	Estratégias amostrais	69
6.4	Geração de mapas.....	73
	Referências	79
7	Aplicações de <i>drones</i> na agricultura	80
7.1	Legislação.....	81
7.2	Sensores	83
7.3	Planejamento de voo.....	86
7.4	Processamento de imagens	88
7.5	Aplicações das RPAs na agricultura.....	88
	Referências	96

8	Sensores e atuadores	97
8.1	Mapeamento de atributos do solo	98
8.2	Mapeamento de atributos das plantas	102
8.3	Mapeamento de produtividade	104
8.4	Atuadores na agricultura digital.....	108
	Referências	108
9	Máquinas agrícolas: seus sistemas de controle e automação	110
9.1	Sistemas de aplicação à taxa variada.....	110
9.2	Sistemas de auxílio à direção em máquinas agrícolas	115
9.3	Sistemas de monitoramento de operações das máquinas agrícolas	115
9.4	Robótica na agricultura	116
9.5	Agricultura digital e de precisão para pequenos agricultores	117
	Referências	118
10	Irrigação digital	120
10.1	Projeto e sistemas de irrigação	121
10.2	Manejo da irrigação	125
	Referências	131
11	Zootecnia digital	132
11.1	Sensoriamento remoto em pastagens	132
11.2	Sistemas automatizados para alimentação.....	137
11.3	Sistemas automatizados para pesagem corporal.....	138
11.4	Sistemas automatizados de ordenha voluntária	139
11.5	Sensores vestíveis ou implantáveis nos animais.....	140
11.6	Bolus de temperatura, pressão e pH ruminais.....	140
11.7	Coleiras de rastreamento utilizando Sistema de Posicionamento Global (GPS)	141
11.8	Visão computacional na produção pecuária	141
11.9	Termografia infravermelha na produção pecuária	142
11.10	Classificação digital de carcaças	143
11.11	Considerações finais	144
	Referências	145
12	Internet das coisas para a agricultura	148
12.1	Dispositivos IoT.....	150
12.2	Comunicação e conectividade em sistemas IoT	156
12.3	Aplicações IoT na agricultura	160
12.4	Considerações finais	163
	Agradecimentos.....	164
	Referências	164
13	Transmissão de dados, computação em nuvem e big data	165
13.1	Transmissão de dados.....	167
13.2	Computação em nuvem	169
13.3	<i>Big data</i>	170
13.4	Observações finais	173
	Referências	174
14	Machine learning	175
14.1	Linguagens de programação	176
14.2	Ferramentas básicas	177
14.3	Pré-processamento de dados.....	177
14.4	<i>Machine learning</i> desde o início	181
14.5	Algoritmos de <i>machine learning</i>	187
	Referências	189
15	Plataformas, aplicativos e softwares	190
15.1	Sistemas de Informação de Gestão Agrícola.....	191
15.2	Coleta de dados com VANT	196
15.3	Aplicativos desenvolvidos pela Embrapa	197

15.4	Os desafios e o futuro das ferramentas para agricultura digital	197
	Referências	199
16	Dados digitais: ciclo, padronização, qualidade, compartilhamento e segurança	200
16.1	<i>Big data</i> , Ciência de Dados e ciclo de vida de dados	201
16.2	Padronização de dados e comunicação na agricultura.....	202
16.3	Qualidade de dados.....	204
16.4	Compartilhamento e segurança de dados.....	205
16.5	Considerações finais	207
	Referências	208
17	Estudo de caso: SLC Agrícola	210
17.1	Agricultura digital na SLC Agrícola.....	210
17.2	Planejamento para a adoção da agricultura digital.....	211
17.3	Implantação de projetos de agricultura digital	211
17.4	Resultados.....	212
17.5	Gestão de indicadores	216
17.6	Dos dados à predição.....	217
17.7	Gestão de pessoas.....	219
17.8	Perspectivas de médio e longo prazos	219
	Referências	220
	GLOSSÁRIO	221

1 | NOVA REVOLUÇÃO VERDE

Aluizio Borém

Engenheiro Agrônomo, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa.

E-mail: borem@ufv.br

A agricultura está passando por uma transformação nunca dantes vista. Nos últimos séculos ela tem se reinventado para atender à crescente demanda mundial de alimentos. Na sua história é possível identificar quatro fases ou eras (Figs. 1.1 a 1.4). A agricultura rudimentar, que tem sido designada de Agricultura 1.0, compreende desde o seu início, há cerca de 10.000 anos, até meados de 1920, quando era baseada na força física – no trabalho manual e na tração animal. Essa agricultura demandava muita mão de obra e, portanto, limitava o tamanho das áreas cultivadas e era voltada principalmente para a subsistência, gerando poucos excedentes comercializáveis. A fase subsequente refere-se ao início da agricultura mais tecnificada, também denominada Agricultura 2.0, correspondendo ao período de 1920 a 1990, em que a adoção de pacotes tecnológicos, tais como máquinas, fertilizantes e variedades melhoradas, tornou-se mais generalizada. Produzir mais por unidade de área era o objetivo, com o uso de boas práticas de gestão agrônômica e novos insumos, como defensivos agrícolas e fertilizantes químicos. Fez parte dessa era a Revolução Verde, comandada por Norman Borlaug, com suas variedades semianãs. O sucesso da agricultura nesse período foi tão grande, gerando enormes excedentes de alimentos, que a sociedade perdeu o senso de essencialidade da agricultura para a vida

humana. Antes do seu início, o homem passava a maior parte do dia na busca de alimentos na natureza. No início do século passado, ainda na Agricultura 1.0, um agricultor produzia alimentos para cerca de quatro pessoas. Em 1960, ainda na Agricultura 2.0, produzia para 26 pessoas e, atualmente, na Agricultura 3.0, alimenta mais de 150 pessoas (Kirschenmann, 2020). Assim é que, hoje, muitos moradores do meio urbano não possuem a menor ideia de como é a produção dos alimentos que chegam à sua mesa. Para a maioria deles, o alimento é simplesmente algo constantemente disponível nas prateleiras dos supermercados.

Para ilustrar como a agricultura é essencial ao homem, considere-se, por exemplo, que ela está sendo reinventada pela Agência Espacial Americana (NASA) para fazer parte do planejamento de viagens espaciais de longa duração não só para produzir alimentos, mas também para renovar o oxigênio. No entanto, não se trata de um processo simples, haja vista que, por exemplo, foi possível produzir sorvete no espaço antes de alface, conforme relatado por Khodadad et al. (2020). Muitos desafios permanecem a ser solucionados para se viabilizar a produção de alimentos no espaço, como mostrou esse estudo realizado na Estação Espacial Internacional (ISS). A agricultura é essencial à vida humana!

2 | SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO POR SATÉLITES

Daniel Marçal de Queiroz

Engenheiro Agrícola, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: queiroz@ufv.br

Domingos Sárvio Magalhães Valente

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa.

E-mail: valente@ufv.br

Andre Luiz de Freitas Coelho

Engenheiro Mecânico, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: andre.coelho@ufv.br

Saber a localização de onde estamos na superfície da Terra, com exatidão, foi um problema que a humanidade carregou por muito tempo e que demandou muito estudo e muito investimento. Esse problema se transformou num desafio para o desenvolvimento da navegação marítima séculos atrás. Os militares buscaram o desenvolvimento de sistemas de posicionamento para navios, submarinos e aviões, e criaram sistemas com base em estações localizadas em terra que transmitiam sinais em determinadas frequências. A partir do lançamento do primeiro satélite, ocorrido em 1957, abriu-se a oportunidade para o desenvolvimento de sistemas de posicionamento por satélites. Até que, em 1995, dois sistemas de posicionamento por satélites, o GPS (Global Positioning System, em português Sistema de Posicionamento Global), implantado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, e o GLONASS (Global Orbiting Navigation System, em português Sistema Global de Navegação por Satélites), implantado pela Rússia, tornaram-se totalmente disponíveis para uso civil. Até essa época, ambos os sistemas tinham finalidade militar e continham ruídos que inviabilizavam seu uso para fins civis.

Por algum tempo adotou-se o termo GPS para designar os sistemas de posicionamento por satélites, porque o sistema americano foi o primeiro a tornar-se total-

mente operacional e disponível. Com o aparecimento de outros sistemas, passou-se a utilizar o termo GNSS (Global Navigation Satellite Systems, em português Sistemas Globais de Navegação por Satélites). Na Tab. 2.1 são apresentados todos os GNSS implantados ou em implantação.

O sistema indiano NAVIC (Navegação com Constelação Indiana) e o japonês QZSS (Sistema de Satélites Quase Zenital) são sistemas de posicionamento regionais e fornecem a localização no país de origem e no seu entorno. O QZSS, que atualmente tem quatro satélites em órbita, terá sete satélites em 2024. O sistema europeu Galileo se caracteriza por ter sido concebido para uso civil, por isso é dotado de uma série de recursos voltados para esse tipo de uso.

O desenvolvimento dos sistemas de posicionamento por satélite teve e vem tendo um papel importante no desenvolvimento da agricultura de precisão e agora na agricultura digital. Pode-se dizer que a implementação da agricultura de precisão só foi possível após o desenvolvimento desses sistemas de posicionamento. Isso porque, na agricultura de precisão, para a maioria das operações, é preciso saber onde a máquina está a cada instante. Até então, não se dispunha de uma ferramenta que fornecesse essa informação a um custo razoável e

3 | ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL

Samuel de Assis Silva

Engenheiro Agrônomo, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal do Espírito Santo.
E-mail: samuel.assilva@gmail.com

Julião Soares de Souza Lima

Engenheiro Agrícola, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal do Espírito Santo.
E-mail: limajss@yahoo.com.br

Nerilson Terra Santos

Engenheiro Agrônomo, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: nsantos@ufv.br

A agricultura vem passando, nas últimas décadas, por um constante e irreversível processo de modernização. Se, de um lado, grande ferramental tecnológico tem sido empregado, de outro tem se intensificado a busca por aumento de eficiência nas técnicas de manejo, seja pelo uso de modernos equipamentos, seja pela busca de práticas agrícolas que tratem o campo de forma localizada.

Ao longo do tempo, as formas de gerenciamento das áreas agrícolas vêm sofrendo modificações, muito em função dos avanços em diversas áreas das Ciências Agrárias e alicerçadas, principalmente, nos conceitos e nas técnicas de agricultura de precisão (AP). Por definição, pode-se entender a AP como um ramo da tecnologia agrícola baseada na variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas, cujo objetivo principal é manejar de forma precisa e localizada as lavouras agrícolas.

A AP engloba um conjunto de ferramentas e métodos para o gerenciamento dos campos de produção, utilizando-se de diferentes plataformas de levantamento de dados (*grids* amostrais, sensores, satélites, veículos aéreos não tripulados, máquinas precisas etc.). Apesar de seu caráter abrangente, a AP está fundamentada sobre o manejo da variabilidade espacial e temporal dos fenômenos que controlam a produção agrícola.

Diferentemente de modelos agrícolas convencionais, a AP não faz uso apenas dos valores para uma variável e/ou atributo, mas se beneficia do comportamento e da variação de variáveis de interesse agrônomo ao longo do espaço e do tempo para elevar a eficiência em práticas de manejo. Ao considerar a variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas, acrescenta-se ao entendimento agrônomo um caráter de variação em micro e média escalas que antes não era contemplado. Dessa forma, deixa-se de lado a premissa de que manejos baseados em valores médios são eficientes e capazes de auferir retornos produtivos para as mais diversas culturas agrícolas.

A variabilidade espacial e temporal é uma característica inerente a todos os fenômenos naturais, principalmente quando se consideram sistemas dinâmicos e complexos como o solo-planta. Uma parte da variabilidade observada nos campos de produção agrícola pode ser considerada intrínseca, porém uma parcela significativa deriva do encadeamento de ações antrópicas que modificam a magnitude das variações e seu comportamento no espaço-tempo. O aparecimento do conceito da agricultura digital veio ao encontro do conceito da AP, na qual grandes volumes de dados, obtidos por diferentes tipos de sensores, irão colaborar na

4 | IMAGENS E SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À GESTÃO AGRÍCOLA

Flora Maria de Melo Villar

Engenheira Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Professora da Universidade Federal de Viçosa.
E-mail: flora.villar@ufv.br

Jorge Tadeu Fim Rosas

Engenheiro Agrônomo, M.S. e Doutorando da Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz. E-mail: jorge.fimrosas@gmail.com

Francisco de Assis de Carvalho Pinto

Engenheiro Agrícola, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: facpinto@ufv.br

O Brasil é um país de grande extensão territorial e possui propriedades rurais de diversos tamanhos. Conforme o Censo Agropecuário de 2017, 90% dos estabelecimentos agropecuários têm área entre 0,1 ha e 100 ha (IBGE, 2017), podendo chegar a valores de algumas centenas de milhares de hectares. Dada a extensão das propriedades rurais no Brasil e sua diversidade de tamanhos, é um desafio a disponibilização de ferramentas eficientes para adquirir, avaliar e repassar informações aos produtores, de forma a facilitar a adoção das técnicas da agricultura digital que permitam a maximização do retorno financeiro e a redução de impactos ambientais da produção para todos os níveis de propriedades.

Nos últimos anos, visando ao desenvolvimento sustentável da agricultura, várias ferramentas vêm sendo utilizadas para monitorar os campos agrícolas. O monitoramento das culturas agrícolas auxilia na tomada de decisão, garantindo melhor gestão dos recursos. Várias são as formas desse monitoramento, no entanto o sensoriamento remoto tem se destacado devido à facilidade de adquirir informações em diferentes extensões de áreas e em curto espaço de tempo, facilitando a caracterização das variabilidades espacial e temporal dos campos de produção agrícola. Além de auxiliar na gestão do uso dos recursos pelos produtores, o emprego do sensoriamento

remoto permite que as técnicas dessa ferramenta sejam aplicadas de maneira mais eficiente para a estimativa da produção, a estimativa de áreas cultivadas, a detecção de efeito de secas e a identificação de pragas e doenças em lavouras.

4.1 SENSORIAMENTO REMOTO

Todo corpo com temperatura acima do zero grau absoluto ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) emite energia eletromagnética. O sensoriamento remoto pode ser entendido como a técnica que utiliza sensores, sem contato direto com o objeto de interesse, para a obtenção de informações por meio da captação de sua radiação eletromagnética (REM) refletida e/ou emitida. Para isso, em um sistema de sensoriamento remoto há, basicamente, uma fonte de radiação eletromagnética (por exemplo, o Sol), um alvo terrestre (vegetação, corpos d'água, solo, áreas urbanas etc.), uma plataforma que carrega os sensores e um local de processamento, armazenamento e distribuição dos dados. Os sensores, responsáveis pela captação da energia eletromagnética dos alvos terrestres, podem ser imageadores, fornecendo como produto uma imagem da área observada, ou não imageadores, fornecendo como produto dados em forma gráfica ou numérica. Câmeras fotográficas ou *scanners* e radiômetros ou espectrorradiômetros são

corpo lambertiano, considera-se que a superfície do alvo é perfeitamente difusa e que a radiância é a mesma em todas as direções.

A calibração radiométrica de sensores orbitais ocorre de forma diferente, visto que durante o imageamento há a influência de fatores atmosféricos, temperatura e radiação do espaço sideral (Zhou et al., 2015). Nas plataformas orbitais, em vez de o imageador ter o formato de uma matriz de células, o mais comum é que seja uma linha de células, e o movimento do satélite vai varrendo a superfície terrestre para a formação da imagem digital. Existem diferentes métodos para realizar a calibração radiométrica de sensores orbitais, que foram mudando de acordo com a geração de satélites e com o avanço da tecnologia. A calibração em órbita de satélites com sensores MODIS, ALI, OLI, ETM+ etc. necessita da calibração da radiação solar ou da calibração das lâmpadas, que são a fonte de radiação desses sensores (Zhou et al., 2015).

Atualmente, as lâmpadas halógenas foram substituídas pelo LED. A maioria dos sensores utiliza o LED mais uma esfera integradora. Já o efeito do espalhamento da radiação solar ou da absorção da radiação pode ser resolvido com uma placa difusora. O uso dessa placa proporciona boa característica lambertiana ao sistema,

sendo o PTFE (“teflon”) o principal material de revestimento adotado. O método de calibração com base na radiação solar para sensores em órbita, nas bandas do visível e do infravermelho próximo, é atualmente o mais utilizado (Zhou et al., 2015).

4.3 ESCOLHA DA PLATAFORMA DE SENSORIAMENTO REMOTO

É importante saber que, para cada tipo de aplicação, o sensor a ser escolhido para a coleta de dados deve apresentar resoluções espacial, radiométrica, espectral e temporal compatíveis com o objetivo de estudo. A resolução espacial refere-se ao tamanho do menor elemento de uma imagem, correspondendo ao tamanho do menor objeto que poderá ser identificado naquela imagem. Já a resolução radiométrica refere-se à menor variação de intensidade possível de ser detectada pelo sensor, representada pelo número de níveis dos valores numéricos dos *pixels*, como explicado anteriormente. Cada tipo de alvo apresenta comportamento específico em relação à sua interação com a REM, o que confere a cada tipo de objeto sua assinatura espectral. A resolução espectral refere-se ao número de bandas e à largura da faixa espectral de cada uma delas. Assim, um sensor com elevado número

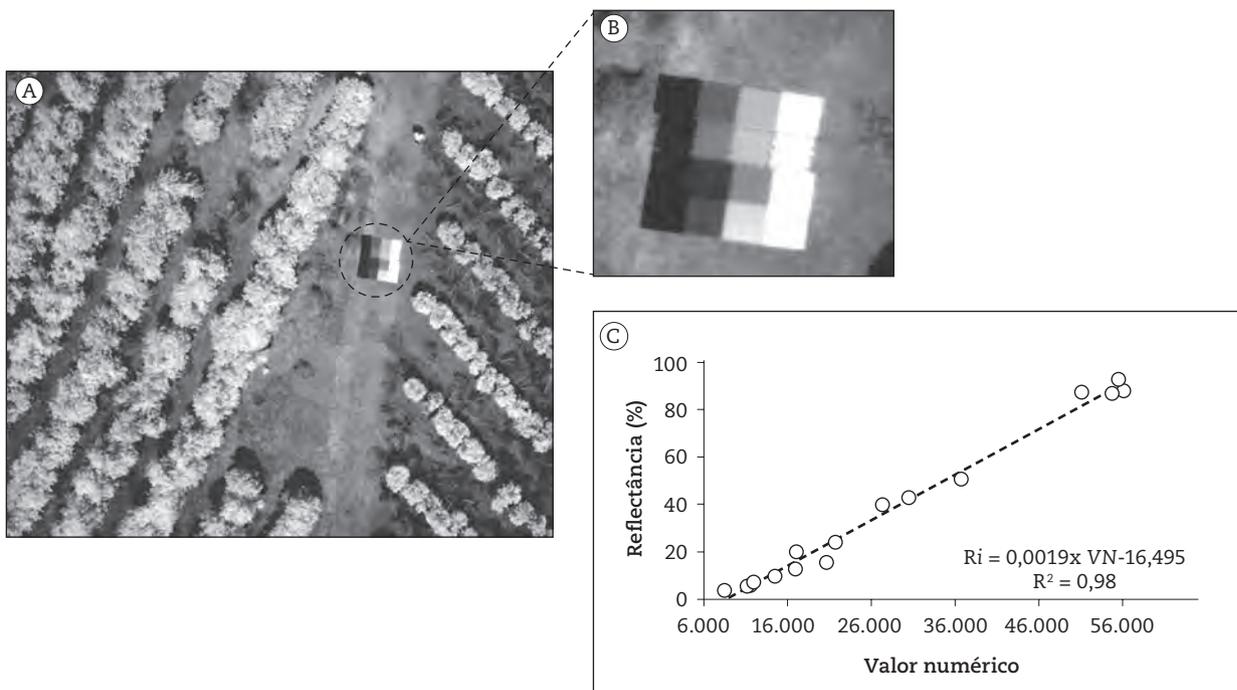


FIG. 4.6 Representação do método de calibração radiométrica da linha empírica: (A) imagem aérea correspondente à banda espectral NIR (820-860 nm) do sensor RedEdge-MX em uma lavoura de café, (B) alvos com reflectância conhecida e (C) equação linear de correção dos valores numéricos para a obtenção da reflectância

5 | GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO GERENCIAMENTO DE LAVOURAS

Lucas Rios do Amaral

Engenheiro Agrônomo, D.S. e Professor da Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: lucas.amaral@feagri.unicamp.br

Gleyce Kelly Dantas Figueiredo

Tecnóloga da Construção Civil, D.S. e Professora da Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: gleyce@unicamp.br

Com a rapidez e a quantidade com que dados georreferenciados são coletados, por meio seja de máquinas que fazem a colheita no campo, seja de máquinas que fazem a aplicação em taxas variáveis de insumos, seja de sensores que imageiam e monitoram a lavoura, torna-se imprescindível que tais dados sejam processados de forma rápida e confiável para possibilitar a tomada de decisão. Assim, na era da agricultura digital é indispensável um ambiente que seja capaz de tratar e gerenciar dados geoespaciais e que forneça informações quantitativas e qualitativas.

O geoprocessamento tem capacidade para lidar com essas informações geográficas e, dentro desse universo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são utilizados para realizar análises complexas por meio da integração de diferentes componentes geoespaciais. Para tanto, é necessário que o usuário conheça os formatos de dados utilizados, zele pela qualidade de tais dados, os quais podem ser obtidos de diferentes fontes, e empregue as análises adequadas para cada situação. Só assim o produto final será confiável e poderá balizar as tomadas de decisão no campo.

Neste capítulo serão apresentados, na primeira parte, os componentes de um SIG, as formas de obtenção de dados e análises básicas disponíveis nesse ambiente.

Na segunda parte, serão abordadas algumas técnicas de processamento digital de imagens. Na última parte, serão mostradas formas de integração de dados, inclusive abordando o conceito de zonas de manejo e a integração de dados espectrais e meteorológicos.

5.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O Sistema de Informações Geográficas, o chamado SIG (do inglês Geographical Information System, GIS), é constituído pela integração de diferentes componentes com a finalidade de analisar e interpretar dados geoespaciais, ou seja, que têm a sua localização (coordenadas) como importante atributo a ser considerado. Esse sistema é composto por: um *software* com características específicas para compor esse tipo de sistema; o *hardware* que permite o adequado funcionamento do *software*; o usuário que opera tal *software* e que deve ser capaz de aplicar as técnicas de análise adequadas para a finalidade desejada (também sendo chamado de analista ou intérprete); e os dados propriamente ditos, os quais podem ter diversas características, sendo a fundamental delas alguma informação sobre sua localização espacial, geralmente representada pelas coordenadas espaciais (latitude e longitude). Dessa forma, SIG pode ser definido

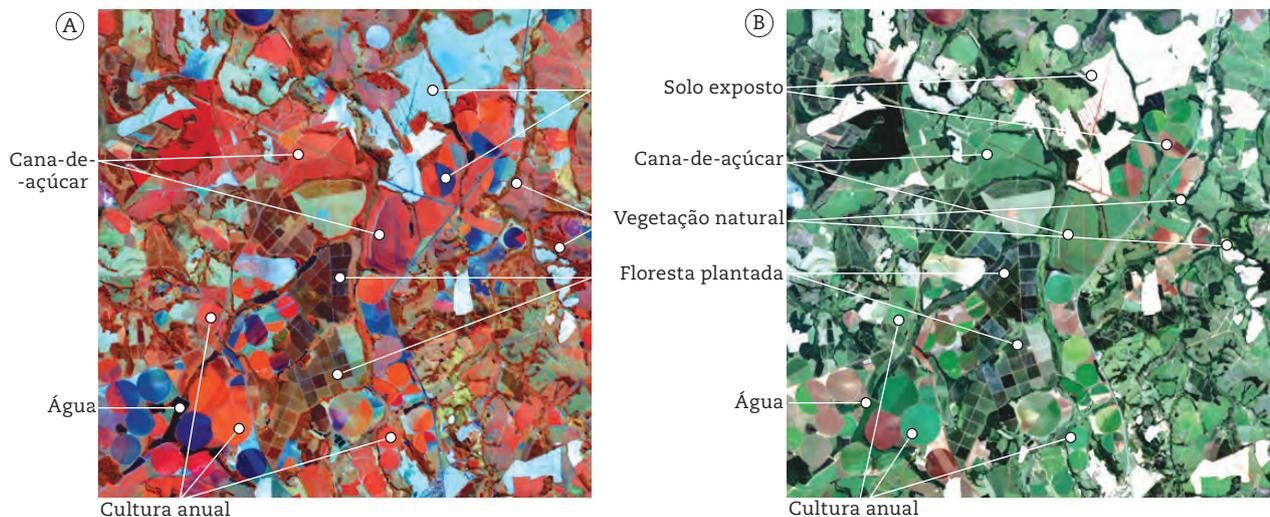


FIG. 5.3 (A) Composição colorida RGB-564 – falsa cor e (B) composição colorida RGB-432 – cor verdadeira

trais do visível, em que, no filtro RGB, colocam-se as bandas da região do vermelho, do verde e do azul, respectivamente, resultando em uma imagem sintética que os olhos humanos enxergam no mundo real (Fig. 5.3B).

De modo geral, não existe uma composição colorida certa ou errada, mas sim composições usualmente utilizadas para a distinção de alguns alvos na superfície terrestre, pois visam destacar certas características dos alvos e facilitar a interpretação visual das imagens. O que o usuário deve levar em consideração é qual composição colorida está mais confortável para que ele possa extrair o máximo de informação possível de uma imagem.

5.2.6 Classificação de imagens

A classificação de imagens de sensoriamento remoto se refere a associar cada *pixel* da imagem a um rótulo, ou seja, nomear aquele alvo conforme o mundo real, sendo que a classificação do uso da terra é um exemplo de classificação de imagem. Esse processo de classificação se inicia pelo reconhecimento dos alvos da imagem por meio dos elementos básicos de interpretação visual descritos anteriormente. O segundo passo é o de rotular esses objetos já reconhecidos, gerando temas ou classes. Ao final, o resultado é um mapa temático com a distribuição espacial de cada elemento reconhecido na imagem.

Para compreender como funciona uma classificação de imagem, é essencial entender o gráfico do espaço de atributos da imagem que está sendo classificada. O espaço de atributos contém a frequência de distribuição de intensidades de nível de cinza de duas ou mais bandas

espectrais. Ao trabalhar com apenas uma banda espectral, muitas vezes dois ou mais alvos podem ter intensidades de nível de cinza semelhantes, o que dificulta o processo de separação desses alvos. Adicionando duas ou mais bandas, haverá maior separação entre os alvos em virtude da resposta espectral de cada um deles nas diferentes bandas. Isso é possível verificar por meio do espaço de atributos. Para identificar de forma correta os objetos na imagem, é importante se basear em grupo de *pixels* com comportamento semelhante, onde pode ser considerada uma variação esperada desse alvo, e não em apenas um *pixel*.

Na Fig. 5.4 pretende-se separar os alvos A e B. Ao observar as distribuições de nível de cinza em apenas uma banda, esses dois alvos se sobrepõem, e adicionando

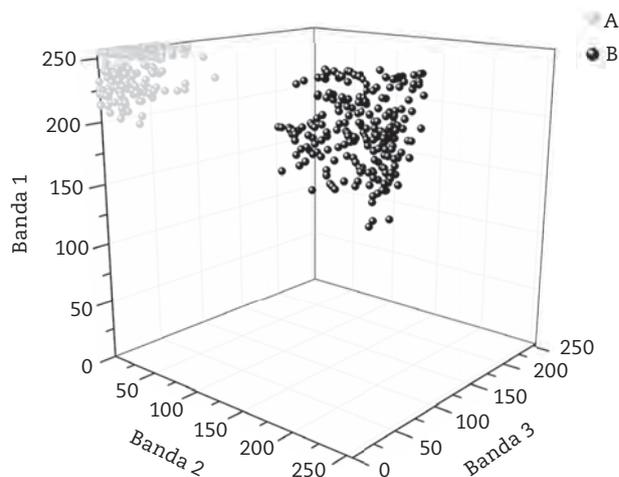


FIG. 5.4 Separação entre alvos semelhantes no espaço de atributos

6 | AMOSTRAGEM E INTERPRETAÇÃO DE MAPAS

Tiago Cappello Garzella

Engenheiro Agrônomo, D.S. e Diretor Técnico da APagri Consultoria Agronômica. E-mail: tiago@apagri.com.br

Verônica Satomi Kazama

Engenheira Florestal, M.S. e D.S. pela Universidade Federal do Paraná.
E-mail: veronica.kazama@gmail.com

Mario Hideo Sasaki

Engenheiro Agrícola, M.S. e Pesquisador da APagri Consultoria Agronômica. E-mail: mario@apagri.com.br

Tão antiga quanto a própria humanidade é a prática da amostragem. Seja pela colher de sopa que a cozinheira prova para conferir seu sabor, seja pelo gole que o dono da festa prova antes de oferecer o vinho, o objetivo da ação é o mesmo: por uma pequena parte se conhecer o todo. Foi a partir do século XVII (Graunt, 1662) que a amostragem começou a ser fundamentada da maneira que é conhecida hoje, até encontrar, no final do século XIX, a maioria de suas bases, com o surgimento dos primeiros métodos da Estatística Moderna. Fato é que ainda hoje, na maioria das áreas da ciência, o objetivo é conhecer da melhor maneira possível uma população, em geral demasiadamente grande, a partir da investigação de alguns de seus indivíduos.

Grande parte da tomada de decisão sobre a gestão de uma lavoura é amparada por práticas de amostragem, seja considerando análises de solo ou observações tomadas durante uma inspeção a campo, seja considerando investigações sobre a ocorrência de determinada doença. E, quanto maior é a extensão da área, maior é a dificuldade de acertar na decisão. É nesse contexto que o conjunto de ferramentas apresentadas pela agricultura digital pode favorecer o agricultor, desde a escolha da melhor estratégia amostral até a interpretação dos resultados, tornando mais simples e rápida a decisão pela correta intervenção na lavoura.

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos de amostragem e a interpretação de resultados voltados para a agricultura digital, com a expectativa de que, no final, o leitor possa optar pela estratégia mais adequada para estudar e conhecer o fator de produção de seu interesse.

6.1 UM BREVE HISTÓRICO

Um dos primeiros registros sobre o uso de amostragem para fins científicos data de 1662, quando o britânico John Graunt descreveu um método para estimar a população de Londres a partir de informações parciais. Em 1783, o astrônomo e matemático francês Pierre Simon Laplace estimou a população de seu país utilizando alguns princípios do contemporâneo inglês Thomas Bayes, que formulou o que pouco mais tarde seria conhecido como teorema de Bayes, ajudando a fundamentar a Estatística Moderna. Apesar de parecer muito distante e até fora de contexto, a inferência bayesiana, cujas raízes vêm dessa época, serviu como semente para a inteligência computacional ou aprendizado bayesiano, hoje muito utilizado pela agricultura digital quando se trata do uso de técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, inclusive, para amostragem.

Na agricultura, desde 1920 têm-se relatos de coletas de porções de solo para testá-las quanto à concentração de

7 | APLICAÇÕES DE DRONES NA AGRICULTURA

Lucas Rios do Amaral

Engenheiro Agrônomo, D.S. e Professor da Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: lucas.amaral@feagri.unicamp.br

Rodrigo Greggio de Freitas

Engenheiro Agrônomo e Doutorando da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: r228594@dac.unicamp.br

Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior

Engenheiro Agrônomo e Doutorando da Universidade Estadual Paulista. E-mail: marcelo.junior@unesp.br

Isabela Ordine Pires da Silva Simões

Engenheira Agrícola e Doutoranda da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: i117271@dac.unicamp.br

A história dos *drones* contrasta uma concepção altamente tecnológica e bélica iniciada há mais de um século com a atual disseminação entre usuários civis para finalidades diversas, desde recreativas até a prestação de serviços profissionais. Provavelmente o termo *drone*, em referência ao zumbido similar ao das abelhas masculinas (zangões), tenha sido impulsionado por esses últimos usuários. O mercado de *drones* expandiu-se em várias regiões do globo, cada qual explorando áreas de negócios variadas. *Drones* com aplicação na agricultura despertaram o interesse de grandes empresas, como as chinesas DJI e XAG e a japonesa Yamaha, entre outras. No Brasil, palco de uma sólida cadeia do agronegócio, empresas nacionais como Skydrones, XMobots e Horus, entre outras, apostaram firmemente na área ao empregarem alta tecnologia no desenvolvimento de aeronaves comparáveis às melhores do mundo.

Com sua popularização, a crescente adoção de tais equipamentos exigiu das autoridades internacionais de regulação e controle do espaço aéreo o estabelecimento de padrões e conceitos para manter a segurança das atividades aéreas previamente estabelecidas. Esse trabalho visou também cunhar a cultura aeronáutica de uso do espaço aéreo junto aos usuários novatos. Todo o vocabulário que designa os equipamentos, os aparatos, os

acessórios e as regras de uso foi estabelecido localmente, em cada país, levando em consideração orientações propostas pela International Civil Aviation Organization (ICAO). Encontram-se variadas denominações para esses equipamentos, que têm em comum o fato de não possuírem um piloto embarcado, ou seja, serem aeronaves não tripuladas. Além do popular termo *drone*, denominações como veículo aéreo não tripulado (VANT) e aeronave remotamente pilotada (ARP) ou termos em inglês como *unmanned aircraft* (UA), *unmanned aerial vehicle* (UAV) e *remotely piloted aircraft* (RPA) são utilizados em diversas situações. Tecnicamente, a ICAO classifica os equipamentos não tripulados em três categorias: RPAs, aeromodelos e equipamentos autônomos. As RPAs e os aeromodelos possuem uma estação remota de controle que permite a intervenção no voo a qualquer momento, mesmo quando conduzidos automaticamente por sistemas computacionais; entretanto, os aeromodelos somente podem ser utilizados para atividades recreativas. Já os equipamentos autônomos não permitem a intervenção de um piloto após o início do voo e não estão permitidos no espaço aéreo brasileiro até este momento. Desse modo, o termo que entendemos mais adequado para representar o tipo de equipamento que vem sendo empregado na agricultura e que utilizaremos neste texto é *RPA*.

nos comprimentos de onda geralmente entre 7,5 μm e 13,0 μm , os quais têm relação com a temperatura da superfície dos alvos. Na Fig. 7.7 apresentam-se dois exemplos de imagens termais, que podem ser utilizadas para distinguir alvos com temperaturas muito diferentes, como o monitoramento de animais, e para diferenciar a vegetação por algum estresse que altere a temperatura dos dosséis, como o estresse hídrico.

Um tipo diferente de câmera é o sensor de profundidade, chamado de LiDAR (Light Detection and Ranging). Esse é um sistema de sensor ativo que envia sinais à superfície terrestre e registra o sinal refletido. A distância entre o sensor e o alvo pode ser determinada medindo o tempo entre a emissão de um pulso *laser* e a detecção do sinal refletido, de forma semelhante à tecnologia radar, que emprega ondas de rádio. O LiDAR utiliza ondas com comprimentos que variam entre 0,7 μm e 1.000 μm , compreendendo a região do infravermelho próximo. Por ser um sensor ativo, ou seja, que emite sua própria energia, ele não é afetado pela falta de luminosidade. Com um sensor LiDAR acoplado em RPA, é possível produzir modelos digitais do terreno (MDT) e da superfície (MDS) por meio de nuvens de pontos geradas com os dados registrados pelo sensor. Junto às informações de posição da aeronave, esses pontos resultarão em coordenadas em três dimensões (3D). Os pulsos *laser* realizam, portanto, uma varredura perpendicular à direção da linha de voo, podendo ser emitidos vários pulsos sobre um mesmo objeto, o que promove alta precisão nos resultados das análises.

7.3 PLANEJAMENTO DE VOO

RPAs podem ser operadas, basicamente, de forma manual, mas também de forma automatizada, exe-

cutando voos pré-programados. Em geral, voos com finalidades agrônômicas são executados de forma automatizada, garantindo, assim, maior estabilidade dos parâmetros de voo durante a operação. Há inúmeras plataformas para o planejamento de voos, como DJI Ground Station Pro (Shenzhen, China), DroneDeploy (San Francisco, EUA), Pix4Dcapture (Renens, Suíça) e PrecisionFlight (Raleigh, EUA).

Uma das principais características de uma RPA é a capacidade de realizar diferentes tarefas com alto desempenho e manobrabilidade e baixa intervenção dos operadores. No entanto, um verdadeiro desafio no uso de RPAs está baseado, principalmente, na definição de parâmetros do voo. Ajustar esses parâmetros visa, por um lado, garantir qualidade suficiente das imagens obtidas para a finalidade desejada e, por outro, otimizar o voo para permitir o imageamento de áreas em tempo reduzido.

Em geral, os atributos altitude, direção, velocidade e sobreposição de imagens são os principais parâmetros que devem ser ajustados (Fig. 7.8). Para realizar um plano de voo deve-se, inicialmente, ter em mente o intuito da operação, pois cada operação necessita de configurações de voo específicas.

Voos em altitude elevada são mais produtivos, pois possibilitam diminuir de forma expressiva o tempo de voo para cobrir uma área, mas fornecem imagens com menor detalhamento (*pixels* maiores). Sobre altitude, um ponto importante a ser destacado é que a RPA é configurada para manter a altura estabelecida no ponto de sua decolagem. Assim, a altitude real do voo em relação ao solo varia significativamente ao longo de um levantamento, principalmente quando há mudanças de relevo dentro da área a ser sobrevoada. Portanto, é recomen-

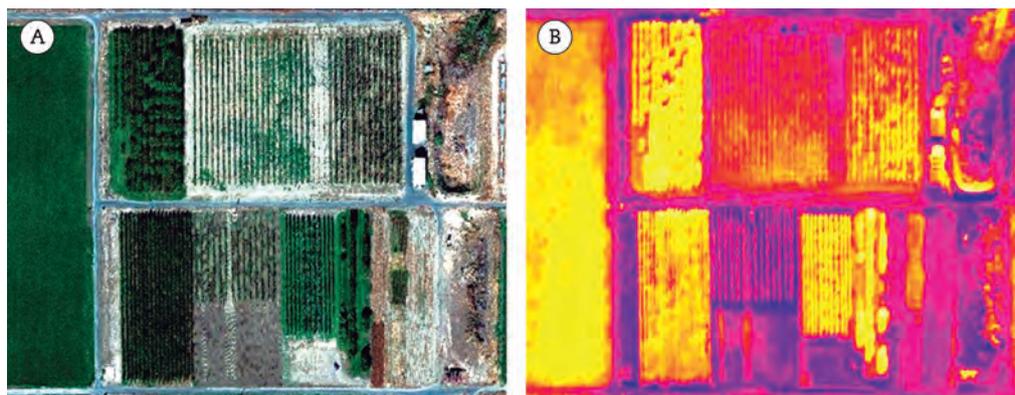


FIG. 7.7 (A) Imagem em composição RGB típica e (B) imagem termal da mesma área
 Fonte: imagem teste com sensor multiespectral Micasense Altum fornecida pelo fabricante (MicaSense, Inc., Seattle, WA, EUA).

8 | SENSORES E ATUADORES

Daniel Marçal de Queiroz

Engenheiro Agrícola, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: queiroz@ufv.br

Domingos Sárvio Magalhães Valente

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa.

E-mail: valente@ufv.br

Andre Luiz de Freitas Coelho

Engenheiro Mecânico, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: andre.coelho@ufv.br

As máquinas agrícolas utilizadas na agricultura de precisão e na agricultura digital são equipadas com uma variada gama de sensores e atuadores. Para trabalhar com agricultura de precisão e agricultura digital, é necessário entender os princípios básicos dos sensores e dos atuadores que estão presentes nessas máquinas.

Os sensores são dispositivos que interagem com o meio físico e são capazes de produzir um sinal que está relacionado com a variável que se deseja medir. Na maioria deles, o sinal produzido é elétrico, no entanto outro tipo de sinal pode ser gerado. Por exemplo, no termômetro de mercúrio, o sinal é o nível que o fluido atinge na coluna graduada. Quando esse sinal é elétrico, ele apresenta várias vantagens, como facilidade de leitura, de uso para controlar um processo, de gravação e de transmissão dos dados gerados.

As máquinas agrícolas da agricultura de precisão e da agricultura digital fazem uso de vários sensores. Dois grupos de aplicação de sensores em máquinas agrícolas são o monitoramento de uma operação e o controle de operação. No primeiro grupo, citam-se os sensores utilizados no monitor de produtividade das colhedoras. Já no segundo grupo, têm-se os sensores empregados para monitorar as variáveis que serão utilizadas para determinar as dosagens a serem aplicadas e/ou para con-

trolar os mecanismos dosadores. Dependendo do tipo de máquina e da operação a ser realizada, diferentes tipos de sensores são empregados. Exemplos incluem sensores de velocidade de deslocamento, de velocidade angular, de nível, de posição, de fluxo de massa, de fluxo volumétrico, de temperatura, de teor de água, de pressão, de força, de torque, de condutividade elétrica aparente do solo, de matéria orgânica do solo e de pH, entre outros. Cada um deles tem suas características de uso, que dependem da forma como foi projetado e do material e dos métodos empregados na sua construção.

Enquanto os sensores reagem às mudanças do meio e produzem um sinal, os atuadores são dispositivos que operam de forma inversa. Isto é, a partir do sinal recebido atuam sobre o meio, movimentando ou controlando algo do meio onde estão inseridos. Nas máquinas de aplicação à taxa variada, por exemplo, são utilizados para variar automaticamente a dosagem de insumos agrícolas a serem aplicados. Esses atuadores executam sua função conforme o sinal recebido do sistema de controle da máquina.

Em muitas aplicações, são utilizados sensores e atuadores inteligentes, em que dispositivos com capacidade de processamento de informações (microprocessadores) são integrados a sensores ou atuadores

dos modelos fabricados pela empresa e mais utilizados é o Veris 3100, que atualmente foi substituído pelo modelo Veris 3150. O Veris 3100 foi desenvolvido para ser traçado por um veículo e é dotado de um conjunto de seis eletrodos que permitem o mapeamento simultâneo da condutividade elétrica aparente em duas profundidades, 0 a 30 cm e 0 a 90 cm. Posteriormente, a empresa incorporou outros sensores, lançando vários modelos de equipamentos. Na Fig. 8.5 é apresentada a plataforma U3, composta por um sensor de condutividade elétrica aparente com quatro eletrodos, dispostos para a medição na profundidade de 60 cm, um sensor de pH e um sensor para determinar a reflectância subsuperficial do solo. Uma vez calibrado, o sensor de reflectância pode ser usado para estimar o teor de matéria orgânica do solo.



FIG. 8.5 Plataforma U3, da Veris Technology, que integra sensores de condutividade elétrica aparente, pH e reflectância do solo

8.2 MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DAS PLANTAS

O mapeamento de atributos relacionados ao desenvolvimento da cultura é uma importante informação para o manejo de sistemas que utilizam agricultura de precisão e agricultura digital. Essa informação pode ser usada para definir a aplicação de fertilizantes, combater pragas e doenças e controlar plantas daninhas.

O mapeamento pode ser realizado por inspeção visual ou por sensores. Quando a inspeção é feita visualmente, um técnico ou uma equipe de técnicos vão a campo e, munidos de aparelho GNSS, delimitam as áreas que necessitam de intervenção, gerando os mapas de

aplicação de insumos. Quando se adotam sensores, esses dispositivos podem ser usados de forma manual por técnicos de campo ou acoplados a veículos terrestres, veículos aéreos não tripulados, aeronaves ou satélites.

A forma mais empregada para realizar o mapeamento de atributos das plantas é por meio de sistemas que medem a reflectância delas. Existem basicamente dois grupos, os chamados passivos, que utilizam a radiação eletromagnética emitida pelo Sol, e os chamados ativos, que são dotados de fonte de radiação eletromagnética.

A energia eletromagnética, ao atingir a planta, pode ser absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas. O comportamento da planta em relação à energia eletromagnética é conhecido como resposta espectral. A resposta espectral de um dossel se assemelha à de uma folha verde sadia (Fig. 8.6), a qual pode ser analisada em três regiões distintas dessa energia: a região do visível (400 nm a 700 nm), a do infravermelho próximo (700 nm a 1.300 nm) e a do infravermelho de ondas curtas (1.300 nm a 2.600 nm).

Na região do visível, a reflectância é relativamente baixa, decorrente da forte absorção da radiação pelos pigmentos opticamente ativos da folha, apresentando dois mínimos locais de reflectância, que correspondem a picos de absorção, próximos a 480 nm e a 680 nm. Entre esses dois mínimos, há um pico de reflectância, correspondente ao comprimento de onda do verde (em torno de 550 nm), o que explica a coloração verde das plantas. Entre os comprimentos de onda de 700 nm e 1.300 nm (região do infravermelho próximo), há alta reflectância relacionada à estrutura celular das folhas. Essa alta reflectância é importante para que a folha mantenha o equilíbrio no balanço de energia e não se supraqueça, evitando, assim, a sua destruição. Dois outros pontos de maior absorção ocorrem próximos a 1.400 nm e 1.900 nm, na região do infravermelho de ondas curtas, devido à presença de água na folha (Moreira, 2011).

A resposta espectral da folha e do dossel de determinada cultura pode variar em função de um número razoável de fatores, como o índice de área foliar (IAF), o estado nutricional da planta e a presença de doenças, plantas daninhas e pragas. Essa variação da resposta espectral tem sido identificada por meio de sensores e instrumentos e utilizada para a tomada de decisão do

9 | MÁQUINAS AGRÍCOLAS: SEUS SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Daniel Marçal de Queiroz

Engenheiro Agrícola, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: queiroz@ufv.br

Domingos Sárvio Magalhães Valente

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa.
E-mail: valente@ufv.br

Andre Luiz de Freitas Coelho

Engenheiro Mecânico, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: andre.coelho@ufv.br

As máquinas agrícolas vêm passando por enorme avanço desde os anos 1990. Até então elas eram, em grande parte, acionadas por sistemas mecânicos. Dependendo da função desempenhada, às vezes utilizava-se também acionamento hidráulico devido à flexibilidade que esses sistemas apresentam. A partir de 1990, inicia-se o uso de sistemas eletrônicos embarcados nesses equipamentos. Isso atingiu todo o setor, envolvendo tratores, colhedoras e demais máquinas e implementos agrícolas. Essa implementação de sistemas eletrônicos embarcados, como os Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS), tornou possível o manejo localizado das lavouras, conhecido como agricultura de precisão.

A agricultura de precisão trouxe a necessidade de desenvolvimento de máquinas de aplicação à taxa variada, em que a dosagem do insumo a aplicar é modificada automaticamente. Monitores de produtividade foram criados para que as máquinas, além de colher o produto, pudessem coletar dados para a geração do mapa de produtividade da lavoura, informação essa de grande valia para a tomada de decisão nas safras seguintes. Todas essas tecnologias que foram e estão sendo importantes no desenvolvimento da agricultura de precisão são essenciais também na agricultura digital.

Neste capítulo, abordam-se as características principais das máquinas agrícolas utilizadas na agricultura de precisão e na agricultura digital. São apresentadas as características básicas das máquinas de aplicação à taxa variada, bem como a questão da robotização das operações agrícolas.

9.1 SISTEMAS DE APLICAÇÃO À TAXA VARIADA

A aplicação à taxa variada é realizada utilizando um sistema que varia automaticamente a dosagem do insumo que está sendo distribuído. Para isso, é importante saber a dosagem que deve ser aplicada em cada ponto da lavoura. Essa tecnologia evoluiu muito desde o início dos anos 1990. Existem máquinas com capacidade de realizar aplicação à taxa variada dos mais diferentes insumos adotados na agricultura. Dois tipos de sistemas são geralmente utilizados: os com base em mapas e os com base em sensores em tempo real.

Nos sistemas de aplicação à taxa variada com base em mapas, um mapa com a prescrição do insumo a ser aplicado é armazenado no sistema de controle da máquina. A dosagem do insumo é ajustada automaticamente à medida que a máquina se desloca no campo para atender ao estabelecido no mapa de prescrição. A partir dos dados contidos nesse mapa, da posição atual

10 | IRRIGAÇÃO DIGITAL

Roberto Filgueiras

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Pós-Doutorando da Universidade Federal de Viçosa.
E-mail: roberto.f.filgueiras@ufv.br

Lucas Borges Ferreira

Engenheiro Agrônomo, M.S. e Doutorando da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: lucas.b.ferreira@ufv.br

Fernando França da Cunha

Engenheiro Agrônomo, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: fernando.cunha@ufv.br

As constantes buscas por maiores produtividades e menores custos de produção são objetivos presentes na agricultura do século XXI, sendo pré-requisitos para que o agricultor se destaque nessa atividade. A implantação de sistemas de irrigação em áreas com baixos níveis e/ou com distribuição irregular de precipitação pluvial é um fator preponderante para o aumento da produtividade. Nesses casos, a irrigação pode propiciar tanto ganhos quantitativos quanto qualitativos, além de conferir maior garantia de produção. No entanto, a agricultura irrigada demanda grande volume de água, razão pela qual a implantação do sistema de irrigação deve estar acompanhada de adequado programa de manejo desse insumo. Ademais, a correta gestão da irrigação, além de propiciar economia de água, pode promover ganhos de produtividade, diminuição do risco de doenças, maior eficiência de adubação e economia de energia elétrica. Para tanto, faz-se necessário o acompanhamento detalhado dos fatores que norteiam a decisão de irrigar.

O manejo da irrigação, convencionalmente realizado nas propriedades rurais, tem como base o clima. Nesse tipo de manejo, a demanda hídrica é obtida para todo o talhão agrícola pautada pela evapotranspiração de referência (ET_o) e pelo coeficiente de cultura (K_c), além de outros coeficientes de ajuste, como o coeficiente de

estresse hídrico (K_s). A partir desses dados, gera-se um valor médio de lâmina de água a ser aplicada em todo o talhão. No entanto, os fatores que norteiam a decisão de irrigar, ou seja, as condições de solo, planta e clima, apresentam variabilidades espacial e temporal. Portanto, é necessário o acompanhamento mais detalhado desses fatores, visando atender não só a uma demanda hídrica média por talhão, mas também a uma demanda específica para cada local. Com base nesses preceitos, na necessidade crescente pela busca por maiores rentabilidades na agricultura e no fato de que a água é um recurso finito, os produtores agrícolas estão recorrendo à tecnologia para irrigar com maior precisão.

Nesse sentido, juntamente com a agricultura de precisão e a agricultura digital, nascem os termos *irrigação de precisão* e *irrigação digital*, os quais englobam as tecnologias que permitem que a lavoura seja monitorada e manejada com maior precisão, evitando desperdícios, elevando a rentabilidade e tornando o processo produtivo mais sustentável. A irrigação de precisão traz da agricultura de precisão a ideia de tratar de modo diferenciado o que é diferente, dando detalhamento espacial para a demanda hídrica real no talhão agrícola e promovendo o zoneamento de regiões que necessitam de mais e menos água. Um dos avanços nessa área se deu com a crescente

11 | ZOOTECNIA DIGITAL

Mario L. Chizzotti

Zootecnista, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: mariochizzotti@ufv.br

Fernanda H. M. Chizzotti

Zootecnista, M.S., D.S. e Professora da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: fernanda.chizzotti@ufv.br

Gutierrez J. de F. Assis

Zootecnista, M.S. e Doutorando da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: gutierrez.assis@ufv.br

Igor L. Bretas

Zootecnista, M.S. e Doutorando da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: igor.bretas@ufv.br

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para garantir um planeta mais próspero e saudável. Alguns dos objetivos definidos são: erradicar a fome e todas as formas de desnutrição; dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores; garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos; e aumentar o investimento em infraestrutura rural, pesquisa e desenvolvimento de tecnologia até 2030. Da necessidade de aumentar a eficiência da produção, surgiram os conceitos de *zootecnia de precisão* e *zootecnia digital*. Ambos são baseados no uso de tecnologia para monitorar e gerenciar o sistema de produção de forma mais eficiente. O conceito fundamental da agricultura de precisão é a gestão da variabilidade espacial no campo da produção. Da mesma forma, a zootecnia de precisão visa gerenciar a variabilidade de cada animal ou grupo de animais por meio de *softwares*, sensores, atuadores e robôs, para coletar, armazenar e processar dados que forneçam informações para a tomada de decisões.

Cada sistema de produção – por exemplo, frangos de corte ou aves poedeiras, bovinos de corte ou leite – demanda diferentes tipos de soluções na zootecnia digital. A zootecnia digital tem permitido um controle cada vez maior do sistema produtivo, transformando o

processo de gestão das empresas rurais. Uma gestão eficiente depende da coleta de informações e da capacidade de interpretá-las. Quanto mais dados forem coletados, melhor será o diagnóstico da eficiência da atividade que está sendo desenvolvida e maior será o retorno econômico potencial desse monitoramento.

O objetivo deste capítulo é apresentar algumas tecnologias já em uso ou em desenvolvimento no âmbito da zootecnia digital e descrever as vantagens que podem oferecer para a maior eficiência do manejo de pastagens ou do monitoramento do desempenho animal.

11.1 SENSORIAMENTO REMOTO EM PASTAGENS

As pastagens respondem pela maior parte das terras agrícolas do mundo e cobrem cerca de um quarto da área terrestre do planeta. Uma quantidade significativa de carne é oriunda de sistemas de criação extensivos, com o pasto sendo a base da alimentação dos ruminantes. Assim, a produtividade da pecuária está diretamente ligada ao manejo eficiente das pastagens, de forma a atender à demanda nutricional dos animais e preservar o ecossistema que habitam. Nesse contexto, o *manejo digital de pastagens*, pelo qual o sensoriamento remoto é utilizado para monitorar a quantidade e a qualidade da pastagem,

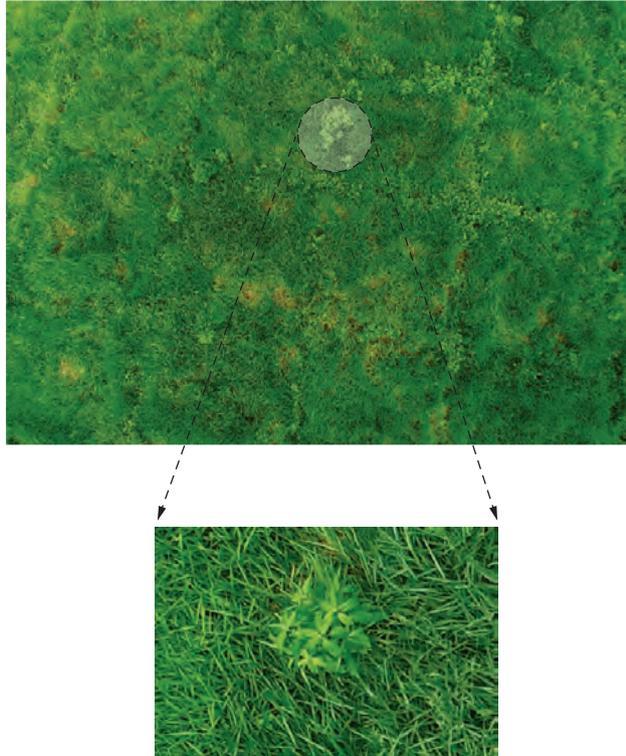


FIG. 11.2 Imagem RGB obtida por VANT voando a 35 m de altura em área de pastagem, destacando uma espécie de planta daninha

11.1.3 Valor nutritivo da forragem e nutrição animal

O monitoramento de pastagens por sensoriamento remoto, que faz parte do conceito de zootecnia digital, também traz subsídios para avanços no desenvolvimento de novos suplementos para nutrição animal. Isso é possível porque a qualidade da pastagem, em termos de valor nutritivo, também pode ser estimada a partir dos índices de vegetação gerados por imagens digitais. É possível estimar o teor de proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e digestibilidade, entre outros parâmetros qualitativos da forragem, em uma área de interesse e, assim, formular um suplemento adequado para essa situação. Wijesingha et al. (2020) usaram uma câmera hiperespectral em um VANT para estimar o teor de proteína bruta e FDA de oito diferentes áreas de pastagem com alta variabilidade de composição botânica e com diferentes regimes de corte e demonstraram que é possível estimar a qualidade da forragem com precisão, independentemente do tipo de pasto.

A previsão do valor nutritivo da pastagem é fundamental para a formulação de suplementos alimentares a

fim de otimizar o crescimento animal. No caso de alta taxa de crescimento da forragem em razão das condições climáticas favoráveis durante uma estação chuvosa, um desequilíbrio poderá ocorrer na dieta dos animais se a alta disponibilidade de energia do pasto não for acompanhada por um aumento proporcional na disponibilidade de proteína bruta. Portanto, é necessário complementar o consumo de proteína bruta pelos animais. Para a formulação de tal suplemento, é essencial saber a quantidade de proteína bruta que a pastagem será incapaz de fornecer e que, portanto, deverá ser fornecida pelo suplemento. Para tanto, o sensoriamento remoto pode ser empregado para prever o teor de proteína da pastagem com baixo custo e em tempo hábil, a fim de determinar o nível ideal de proteína no suplemento. O princípio aplicado em áreas de pastagem é o mesmo utilizado para culturas agrícolas no desenvolvimento da agricultura de precisão. São utilizados índices de vegetação (NDVI, GNDVI e EVI, entre outros), que se correlacionam com a concentração de clorofila na planta. Como a maior parte do nitrogênio presente nas plantas é encontrada na molécula de clorofila, ela está correlacionada com a concentração de nitrogênio nas plantas. Com isso, é possível estimar o teor de proteína bruta da forragem a partir de imagens obtidas por sensoriamento remoto e, assim, formular um suplemento concentrado para cada área e períodos específicos do ciclo de pastejo.

11.2 SISTEMAS AUTOMATIZADOS PARA ALIMENTAÇÃO

A alimentação representa o componente mais significativo dos custos de produção de bovinos, e monitorá-la é crucial para otimizar os retornos econômicos. Alimentadores eletrônicos têm sido desenvolvidos para diferentes espécies, permitindo o monitoramento contínuo e automático dos animais para apoiar as decisões de formulação, bem como para o oferecimento de dietas específicas para cada animal ou curral.

O monitoramento do consumo pode ser usado para ajustar a dieta às necessidades ideais de nutrientes, diminuindo assim o impacto ambiental, ou para realizar a detecção precoce de doenças, reduzindo o uso de antibióticos e evitando a propagação de doenças infecciosas (Pomar; Remus, 2019). Esses sistemas são compostos por comedouros instalados em células de carga (Fig. 11.3),

gens podem ser obtidas automaticamente no ambiente em que os animais são criados. Esse tipo de sistema usa processamento digital de imagens para avaliar medidas biométricas a fim de estimar o peso dos animais (Ozder et al., 2007). As medidas biométricas mais comuns incluem área corporal, volume corporal, altura da cernelha e do quadril, comprimento do corpo, largura do quadril e perímetro torácico. A automação da captura de dados e do processamento das imagens para estimar o peso dos animais possibilitará o monitoramento em tempo real do crescimento corporal. Esse método pode substituir a pesagem em balança ou o uso do ultrassom para prever o acabamento de carcaças, já que tem a vantagem de não exigir nenhum manuseio ou contenção dos animais.

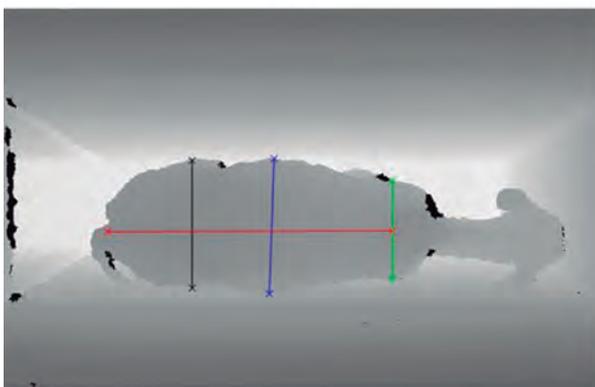
A visão computacional e os sistemas de inteligência artificial também podem ser usados para monitorar o comportamento dos animais no curral, identificando a atividade diária ou o tempo gasto na área de comedouros/bebedouros, permitindo o monitoramento do comportamento alimentar ou detectando um padrão irregular que possa estar relacionado a doença ou estresse ambiental. Algoritmos de aprendizado profundo foram aplicados para a detecção de anomalias em fazendas de suínos, traduzindo imagens de vídeo em informações sobre os padrões de agressividade para apoiar o bem-estar dos suínos. Em aves, a análise de imagens tem sido usada para monitorar os padrões de movimento, a área de piso ocupada pelas aves e o comportamento alimentar a fim de estimar o nível de bem-estar dos animais em resposta à densidade de estocagem e às condições ambientais, visando melhorar a saúde, o bem-estar e a eficiência de produção.

11.9 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA PRODUÇÃO PECUÁRIA

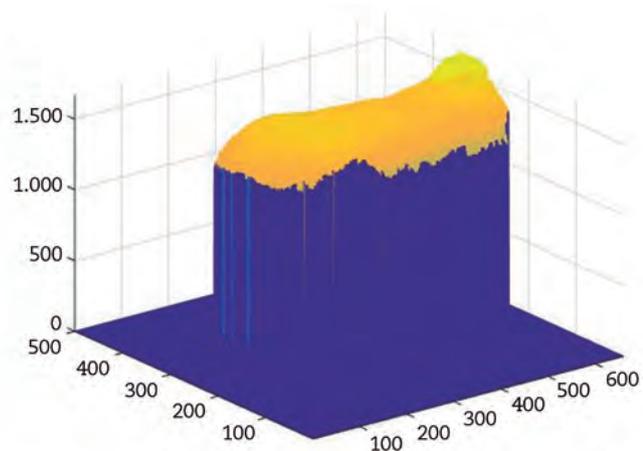
Na produção animal, o uso de novas tecnologias, como a termografia infravermelha, tem surgido para avaliar o impacto dos fatores ambientais e sanitários na produtividade animal, entre outras aplicações (Roberto; Souza, 2014). A termografia infravermelha mede a temperatura superficial usando câmeras que capturam a radiação emitida por um corpo específico. Uma câmera termográfica detecta variações de temperatura, que, por sua vez, indicam anormalidades fisiológicas em animais (Turner; Eddy, 2001; Infernuso et al., 2010). Esse dispositivo é de grande valor para observar os níveis de estresse em animais de fazenda. Na pecuária, estudos têm demonstrado o uso potencial de imagens termográficas para avaliar o conforto térmico de suínos (Kotrbaček; Nau, 1985) e aves (Nääs et al., 2010; Nascimento et al., 2011).

As imagens termográficas também são eficazes na detecção de processos inflamatórios, como laminite ou mastite, em vacas leiteiras ou ocorrência de febre nos animais, permitindo o monitoramento do estado de saúde do rebanho.

A termografia infravermelha também tem o potencial de prever as perdas metabólicas de calor dos animais. Gomes et al. (2016) constataram que a temperatura da superfície ocular se correlacionou positivamente com a produção de calor metabólico em bovinos de corte, e que a temperatura ocular foi mais precisa do que a temperatura da superfície da pele na avaliação da produção de calor pelos animais.



(A)



(B)

FIG. 11.7 Exemplo de análise de visão computacional de imagens (A) 2D e (B) 3D em bovinos de corte

12 | INTERNET DAS COISAS PARA A AGRICULTURA

José Augusto Miranda Nacif

Engenheiro de Controle e Automação, M.S. e D.S. em Ciência da Computação e Professor da Universidade Federal de Viçosa.
E-mail: jnacif@ufv.br

Herlon Schmeiske de Oliveira

Bacharel em Direito, especialista em TIC, pioneiro em sistemas de internet, e fundador da ABINC e CEO Agrusdata. E-mail: herlon@agrusdata.com

Ricardo Ferreira

M.S. e Ph.D. em Ciência da Computação e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: ricardo@ufv.br

O termo *internet das coisas* (*internet of things*, IoT) foi primeiramente utilizado por Kevin Ashton em 1999 e originalmente se referia à leitura de dispositivos RFID (*radio-frequency identification*) para o rastreamento de produtos. Em 2015, o grupo de trabalho de IoT do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) produziu uma definição do termo IoT como sendo “um domínio de aplicação que integra diferentes campos tecnológicos e sociais” (Minerva; Biru; Rotondi, 2015). Apesar de genérica, essa definição trata de dispositivos conectados à internet que leem e armazenam dados do ambiente com o objetivo de automatizar tarefas. Mais especificamente, IoT é uma rede global inteligente que possibilita: (1) interação de dispositivos com capacidade de sensoriamento, computação e comunicação com a internet; (2) processamento e troca de informação entre dispositivos, centros de dados e usuários; (3) e criação de diversos serviços inteligentes (Zhang; Tao, 2020). Um relatório da Cisco Systems (2019) estima que até 2030 aproximadamente 500 bilhões de dispositivos com capacidade de sensoriamento estarão conectados à internet. Esses dispositivos poderão enviar dados utilizando redes IoT. Os dados enviados poderão ser contabilizados, avaliados e distribuídos para processamento utilizando serviços e aplicações IoT. A rede IoT suporta diferentes

formatos de dados e protocolos e está sempre evoluindo devido a mudanças no dia a dia das pessoas. Os principais cenários de aplicação desses dispositivos incluem cidades inteligentes, transportes, agricultura, energia, indústria e saúde.

De acordo com um estudo do Instituto McKinsey (Manyika et al., 2015), o impacto econômico dos sistemas IoT deve variar entre US\$ 3,9 trilhões e US\$ 11,1 trilhões até o ano de 2025. Esses valores consideram apenas o impacto econômico de transformação e não incluem o faturamento com a venda de produtos e serviços IoT. Mais especificamente, o mercado global de IoT para agricultura deve chegar a US\$ 34,9 bilhões em 2027. Dentro do contexto de agricultura, os dispositivos IoT podem ser utilizados para facilitar a adoção de tecnologias avançadas para tornar os cultivos mais sustentáveis, além de aumentar a produtividade melhorando a eficiência de diversas etapas do processo, por exemplo, por meio da otimização do emprego de fertilizantes. A agricultura digital utiliza diversos dispositivos IoT para coletar, em tempo real, dados gerados durante a fase do desenvolvimento do cultivo. O crescimento do mercado de soluções IoT para agricultura está fortemente associado à utilização de técnicas de precisão e ao uso crescente de dispositivos embarcados e computação em nuvem.

para monitorar um site de previsão de tempo e enviar um e-mail se existir previsão de chuva para o dia seguinte. Por meio desse serviço, é possível conectar-se à Alexa, da Amazon, ao Google Assistente, ao Twitter, ao Dropbox, ao Google Agenda etc. O IFTTT é bem difundido e possui muitos exemplos de projetos disponíveis na internet. Assim como o Node-RED, que é uma plataforma aberta, existem várias plataformas comerciais disponíveis, como o IFTTT, que oferecem serviços gratuitos e serviços pagos (ou com custo). Esta seção apresenta alguns exemplos.

O primeiro serviço, que começou de forma gratuita e depois foi adquirido pela MathWorks, é o ThingSpeak. Sua ideia é prover uma interface simples para visualizar, analisar e armazenar dados. É possível também controlar dispositivos com protocolo MQTT, entre outros meios. Outro serviço de nuvem com interface simples e amigável é o Ubidots, que tem suporte para vários sistemas embarcados, com geração de código e facilidades para gerenciar eventos, armazenar dados de forma intuitiva e enviar e-mail, SMS ou mensagem por Telegram, entre outros recursos. Especificamente para telefones celulares, o aplicativo Blynk oferece uma infraestrutura para IoT na qual é possível se conectar a vários sistemas embarcados com suporte para diversos tipos de sensores/atuadores, dispondo de armazenamento em nuvem e interface amigável.

Grandes empresas do setor de tecnologia da informação, como Google, Amazon e Microsoft, também oferecem uma ampla variedade de serviços. O Google Cloud IoT apresenta um conjunto de ferramentas para processar, armazenar e analisar dados, incluindo os serviços do Google, como, por exemplo, e-mail, planilhas e inteligência artificial para reconhecimento de imagens e sons. Assim como o Google, a Microsoft disponibiliza uma grande variedade de funcionalidades na plataforma Azure para IoT e a Amazon Web Services também oferece serviços em geral integrados a serviços específicos para IoT.

12.3 APLICAÇÕES IOT NA AGRICULTURA

Na agricultura, sistemas IoT podem ser utilizados em diversas atividades, mas, de maneira geral, seguem o padrão apresentado na Fig. 12.11. Nesse cenário, diversos sensores IoT enviam dados para servidores na nuvem.

Os dados são processados e fornecem informações para a tomada de decisão por meio de aplicativos ou outros computadores. As principais aplicações podem ser divididas nas seguintes categorias (Kim; Lee; Kim, 2020): (a) sistemas de gerenciamento; (b) sistemas de monitoramento; (c) sistemas de controle; e (d) máquinas agrícolas autônomas.

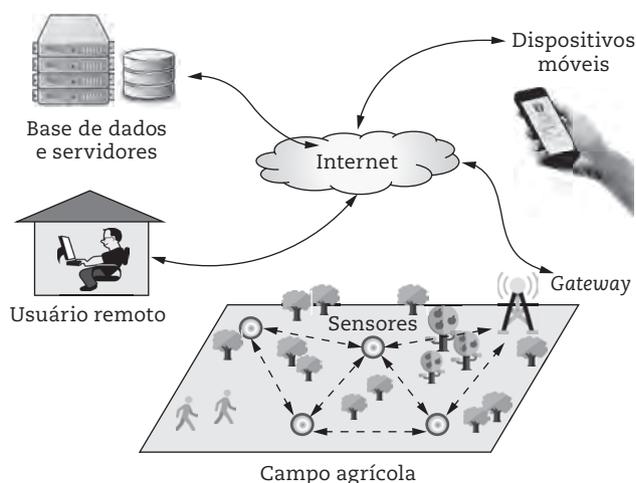


FIG. 12.11 Cenário genérico de aplicações IoT na agricultura

12.3.1 Sistemas de gerenciamento

Com a disponibilidade de dados fornecidos em tempo real por dispositivos IoT, é possível gerenciar de maneira mais eficiente o cultivo, a frota de máquinas agrícolas e o consumo de energia e água. Os sistemas de gerenciamento de informações agrícolas com base em IoT ajudam os agricultores nas tomadas de decisão relativas ao cultivo. Com os dispositivos IoT, geram-se dados sobre maquinário, sementes, pesticidas e fertilizantes. Os tipos de sensores mais utilizados são aqueles de solo que medem umidade, temperatura e pH. Após a coleta dos dados, são realizadas análises financeiras utilizando técnicas de *big data* e aprendizado de máquina com o objetivo de otimizar a lucratividade. Sistemas IoT podem também ser adotados para gerenciar o consumo de água e o nível dos reservatórios, chegando a diminuir em até 60% a demanda desse recurso. Para tanto, são empregados sensores de umidade, temperatura, fluxo e nível de água (ultrassônico). O gerenciamento de máquinas agrícolas, por sua vez, pode ser melhorado por meio de sensores com GPS nos veículos. Dessa forma, é possível otimizar o trajeto e a

13 | TRANSMISSÃO DE DADOS, COMPUTAÇÃO EM NUVEM E BIG DATA

Hannes Fischer

Físico, M.S., D.S. e Professor da Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura. E-mail: hannes@fatecpompeia.edu.br

José Vitor Salvi

Engenheiro Agrônomo, M.S., D.S. e Professor da Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura.

E-mail: josevitorsalvi@gmail.com

Luís Hilário Tobler Garcia

Engenheiro da Computação, M.S., D.S. e Professor da Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura.

E-mail: luishilario@fatecpompeia.edu.br

Produzir alimentos de forma cada vez mais intensiva e sustentável para saciar a fome de uma população que ainda cresce é um grande desafio. E, para isso, é necessário um maior nível de conhecimento sobre as diversas variáveis que envolvem a tomada de decisão no campo.

Nas atividades agrícolas existem dezenas de variáveis controláveis, como quantidade de fertilizantes, sementes e defensivos e tipo de equipamentos a serem usados, entre outras. No entanto, há outras dezenas de variáveis não controláveis, a começar por clima, tipo de

microbiologia do solo, preço das *commodities* etc. Por isso, extrair informações valiosas e construir conhecimentos estratégicos para a boa tomada de decisão em uma realidade com tamanha complexidade têm-se tornado algo imprescindível de ser alcançado pelos produtores rurais. Um exemplo de resultado obtido a partir desse tipo de estratégia é o aumento da produtividade média de milho nos últimos anos no Brasil (Fig. 13.1).

Muita tecnologia (genética, de nutrição, de mecanização, de automação) e muito capital humano estiveram

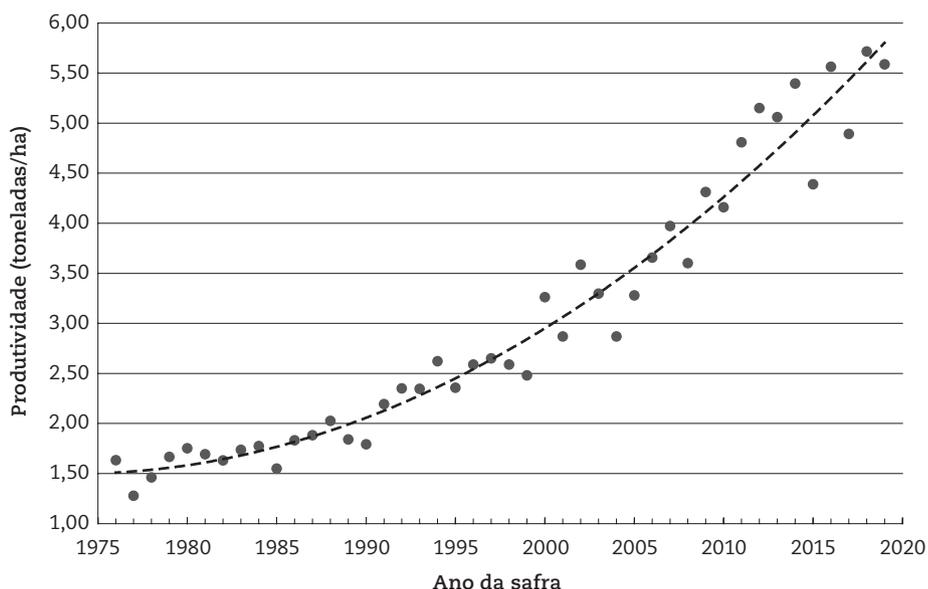


FIG. 13.1 Evolução da produtividade média de milho no Brasil nos últimos 45 anos
Fonte: Conab (2020).

14 | MACHINE LEARNING

Domingos Sárvio Magalhães Valente

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: valente@ufv.br

Daniel Marçal de Queiroz

Engenheiro Agrícola, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: queiroz@ufv.br

Gustavo Willam Pereira

Cientista da Computação, M.S. e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais. E-mail: gustavo.willam@ifsudestemg.edu.br

O termo *machine learning* vem do inglês e pode ser entendido como a capacidade dos computadores de aprenderem com base em dados. Como exemplo, pode-se gerar um modelo para fazer previsão sobre a qualidade de bebida do café, com base em dados de altitude onde o café foi produzido, do regime de chuvas, da temperatura, do tipo, fertilidade e umidade do solo, da insolação na cultura e da cor do fruto. À primeira vista pode parecer algo muito complexo e futurista, mas, na verdade, *machine learning* também pode ser tão simples quanto um modelo de regressão linear.

Os algoritmos de *machine learning* podem ser divididos em algoritmos de classificação e regressão. A classificação gera resultados categóricos (ou discretos), enquanto a regressão gera previsões de valores contínuos. No exemplo da qualidade de bebida do café, pode-se classificar o café em bebida dura e bebida mole (resultados categóricos), ou, por outro lado, pode-se fazer uma regressão para prever a pontuação da qualidade do café numa escala até 100 pontos (números contínuos). Os algoritmos de *machine learning* também podem ser classificados em aprendizado supervisionado e não supervisionado. No aprendizado supervisionado, para cada amostra de entrada é também apresentado ao algoritmo o resultado esperado na saída, conhecido como

rótulo. Existem diversos algoritmos de aprendizado supervisionado, entre eles: K-Nearest Neighbors (K-NN), Regressão Linear, Polinomial e Logística, Support Vector Machine (SVM), Decision Tree, Random Forest (RF), LightGBM, XGBoost e Redes Neurais Artificiais (RNA). No aprendizado não supervisionado, apenas as amostras de entrada são apresentadas ao algoritmo, e os dados utilizados para ajustar (treinar) os modelos não são rotulados. No exemplo do café, seria como se fossem apresentados todos os dados ao algoritmo (solo, clima, planta), mas não os resultados, por exemplo, se o café é bebida dura ou bebida mole. Dessa forma, espera-se que o algoritmo classifique os dados em grupos. Entre os algoritmos de aprendizado não supervisionado, pode-se citar os algoritmos de agrupamento, como: K-Means, Fuzzy K-Means e Agrupamento Hierárquico (aglomerativo, divisivo). Existem outras classificações para algoritmos de *machine learning* que não serão cobertas neste capítulo, como aprendizado semissupervisionado, aprendizado por reforço, aprendizado on-line, aprendizado em lote, aprendizado baseado em modelo e aprendizado baseado em instâncias.

Modelos de *machine learning* podem utilizar dados categóricos e numéricos (binários, inteiros, reais) provenientes de diferentes tipos de sensores. Esses dados são

15 | PLATAFORMAS, APLICATIVOS E SOFTWARES

Andre Luiz de Freitas Coelho

Engenheiro Mecânico, M.S., D.S. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: andre.coelho@ufv.br

Thiago Furtado de Oliveira

Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.S. e Doutorando da Universidade Federal de Viçosa.

E-mail: thiago.oliveira@ufv.br

Maurício Nicocelli Netto

Engenheiro Agrônomo da MONAGRI Consultoria. E-mail: mauricionicocelli@gmail.com

Este capítulo tem por objetivo mostrar algumas das plataformas, aplicativos e programas de computador (*softwares*) que estão sendo empregados na agricultura digital. Essas três ferramentas computacionais vêm contribuindo para a otimização do sistema de produção de alimentos em um cenário mundial. Isto é, essas ferramentas auxiliam o agricultor no manejo das lavouras, facilitando a análise dos dados e tomadas de decisões que visam otimizar o sistema produtivo. A otimização do sistema produtivo com base em informações obtidas e analisadas com as ferramentas utilizadas na agricultura digital objetiva utilizar racionalmente os insumos de produção, o que pode levar a uma redução dos custos de produção e/ou um aumento de produtividade, resultando em maior lucratividade para o agricultor. Essa otimização permite, ainda, reduzir os impactos ambientais no sistema produtivo agrícola, com a racionalização de uso de insumos químicos e a redução de emissão de poluentes por motores de combustão interna.

No Brasil, várias universidades e instituições de pesquisa começaram a trabalhar com agricultura de precisão nos anos 1990. Merece destaque o projeto Aquarius, conduzido pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), cujo início se deu no ano 2000. Esse projeto é considerado um dos precursores na implantação

comercial da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. A UFSM foi a desenvolvedora do programa de computador CR Campeiro, uma das primeiras plataformas utilizadas para gerenciar o manejo em todo o ciclo da produção agrícola.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu, a partir de 1999, sob a coordenação do Dr. Evandro Chartuni Mantovani, o projeto PRODETAB 030-01/99 Agricultura de Precisão. Esse projeto envolveu vários centros de pesquisa da Embrapa, bem como a Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a empresa AGCO. Esse projeto teve por objetivo “estabelecer as bases técnicas e gerar informações para utilização de instrumentos e metodologias em agricultura de precisão, visando o aumento de eficiência dos processos de produção agrícola e utilização de insumos, sob o sistema de plantio direto”.

Nesse mesmo período, a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP), sob a liderança do Prof. José Paulo Molin, também deu início ao desenvolvimento de pesquisas sobre agricultura de precisão. A ferramenta computacional usada foi o SST Toolbox, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) americano que

meio de fotogrametria. Com esse programa é possível realizar o levantamento topográfico e gerar imagens 2D e 3D de alta qualidade de objetos e locais, sendo muito utilizado nos setores da construção civil e na agricultura.

15.2.3 Pix4D

A Pix4D é uma companhia suíça que desenvolve *softwares* e aplicativos destinados a fotogrametria e visão computacional, aptos a processar imagens multiespectrais. Entre os *softwares* desenvolvidos pela Pix4D, destacam-se na agricultura digital o Pix4Dmapper e o Pix4Dfields.

Pix4Dmapper é um *software* de fotogrametria que utiliza imagens capturadas por VANT. O programa permite a geração de mapas digitais georreferenciados e de elevação, nuvem de pontos, modelos digitais de superfície e terreno e ortomosaicos, sendo possível calcular distâncias, áreas e volumes. Esse *software* tem sido empregado em setores como construção, mineração, segurança pública e agricultura. O Pix4Dfields apresenta funcionalidades semelhantes às do Pix4Dmapper, além de gerar mapas de índices de vegetação, zonas de manejo e mapas de prescrição a taxa variável. Ambos os *softwares* permitem a integração com diferentes plataformas e programas do tipo SIG e CAD, o que auxilia na migração de um sistema para outro, possuindo interface simples e amigável.

15.2.4 Sensix

A plataforma da empresa permite analisar e entender a variabilidade espacial dos talhões a partir de imagens de VANT e satélite. Os dados coletados são enviados para a nuvem, onde são processados. Os resultados gerados por meio desse processamento são mapas de aplicação, linhas e falhas de plantio, zonas de classificação do solo, população de plantas, biomassa, teor de clorofila, estresse hídrico e detecção de plantas daninhas.

15.2.5 Taranis e TerrAvion

A empresa israelense Taranis atua no segmento de análise de imagens aéreas (VANT, aviões e satélite) para tomadas de decisões. A tecnologia Ultra-High Resolution (UHR), desenvolvida pela empresa, permite gerar imagens com resolução entre 8 *cm/pixel* e 12 *cm/pixel*. Essas imagens são processadas com tecnologias de inteligência artificial e podem ser utilizadas para a detecção de pragas, doenças e plantas daninhas.

A TerrAvion oferece serviços de coleta e processamento de imagens aéreas, atuando na América do Norte (Estados Unidos e Canadá) e na América do Sul (Brasil e Paraguai). Os resultados gerados podem ser importados e analisados nas principais plataformas de agricultura digital. As imagens são coletadas em múltiplas bandas (Tab. 15.1), permitindo calcular índices de vegetação como o NDVI (*normalized difference vegetation index*) e o CIR (*color infrared*).

Tab. 15.1 Bandas coletadas pela TerrAvion

Banda	Comprimento de onda (nm)
Azul	430-500
Verde	490-580
Vermelho	575-700
Infravermelho próximo	830-800
Verde 2	545-590
Vermelho 2	576-652
Termal	7.500-13.000

Fonte: TerrAvion (2020).

15.3 APLICATIVOS DESENVOLVIDOS PELA EMBRAPA

Empresas públicas, como a Embrapa, têm desenvolvido e disponibilizado aplicativos para dispositivos móveis. Alguns desses aplicativos foram desenvolvidos tendo pequenos e médios produtores como público-alvo. No Quadro 15.2, citam-se os aplicativos disponibilizados pela Embrapa na loja de aplicativos para dispositivos móveis com sistema operacional Android, específicos para a agricultura.

15.4 OS DESAFIOS E O FUTURO DAS FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DIGITAL

O principal desafio para o avanço da agricultura digital no Brasil e em diversos países está relacionado à indisponibilidade de internet nas fazendas. Segundo o Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019), dos 5,07 milhões de estabelecimentos rurais brasileiros, 3,64 milhões (correspondentes a 71,8%) ainda não têm acesso à internet. Contudo, os esforços de empresas do setor, de governos e dos próprios agricultores tendem a mudar esse cenário nos próximos anos. Outro desafio é a falta de profissio-

16 | DADOS DIGITAIS: CICLO, PADRONIZAÇÃO, QUALIDADE, COMPARTILHAMENTO E SEGURANÇA

Antonio Mauro Saraiva

Engenheiro Eletricista e Engenheiro Agrônomo, M.E., D.E. e Professor da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. E-mail: saraiva@usp.br

Wilian França Costa

Cientista da Computação, M.S., D.E. e Professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie. E-mail: wilian.costa@mackenzie.br

Fernando Xavier

Cientista da Computação, M.S. e Doutorando em Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. E-mail: fxavier@usp.br

Bruno de Carvalho Albertini

Engenheiro de Computação, M.E., D.E. e Professor da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. E-mail: balbertini@usp.br

Roberto Augusto Castellanos Pfeiffer

Bacharel em Direito, M.D., D.D. e Professor da Universidade de São Paulo, Faculdade de Direito. E-mail: roberto.pfeiffer@usp.br

Marcos Antonio Simplício Júnior

Engenheiro Eletricista, M.E., D.E. e Professor da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. E-mail: msimplicio@usp.br

Allan Koch Veiga

Cientista da Computação, M.E. e D.E. E-mail: allankv@gmail.com

A principal característica da agricultura digital, ou Agricultura 4.0, como também tem sido chamada essa nova onda de adoção de tecnologia no setor agrícola, é o uso intensivo de dados. Pode-se dizer que a agricultura digital é movida a dados, ou *data-driven*. Em outras palavras, os dados, cada vez mais disponíveis em quantidade e frequências espacial e temporal e em uma escala sem precedentes, passaram a ser insumos essenciais para os processos que culminam com a tomada de decisão.

Esse fenômeno de digitalização que se verifica agora na agricultura repete o que já ocorreu nas outras áreas da atividade humana, que se mostraram mais ágeis na incorporação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) em seus processos. De fato, o setor agrícola como um todo demorou a adotar, de modo intensivo, essas tecnologias. Em comparação com outros setores, a agricultura ainda é um dos menos digitalizados no mundo (Krishnan, 2017). Entretanto, essa situação está

17 | ESTUDO DE CASO: SLC AGRÍCOLA

Ronei Sandri Sana

Engenheiro Agrônomo, M.S. e Coordenador de Agricultura Digital da SLC Agrícola.
E-mail: ronei.sana@slcagricola.com.br

A SLC Agrícola, fundada em 1977 pelo Grupo SLC, é uma das maiores produtoras mundiais de grãos e fibras e é focada na produção de algodão, soja e milho. Com matriz em Porto Alegre (RS), a empresa possui 16 unidades de produção estrategicamente localizadas em seis Estados brasileiros, totalizando 463.220 ha no ano-safra 2020/21 – sendo 109.613 ha de algodão, 229.449 ha de soja, 106.470 ha de milho e 17.688 ha de outras culturas.

O modelo de negócio tem por base um sistema moderno de produção, com alta escala, padronização das unidades de produção, tecnologia de ponta, controle rigoroso dos custos e responsabilidade socioambiental. Ao longo de sua história, a SLC Agrícola desenvolveu uma sólida *expertise* na prospecção e na aquisição de terras em novas fronteiras agrícolas. O processo de aquisição de áreas com alto potencial produtivo também visa capturar a valorização imobiliária que as terras agrícolas no Brasil proporcionam em função das vantagens comparativas em relação aos principais produtores agrícolas do mundo, como Estados Unidos, China, Índia e Argentina.

A SLC Agrícola acredita que a excelência na gestão dos aspectos econômico, social e ambiental tem como fruto a redução dos impactos ambientais das suas operações. A sustentabilidade na empresa está fundamentada

nesses preceitos e no “sonho grande da empresa”: impactar positivamente gerações futuras, sendo líder mundial em eficiência no negócio agrícola e no respeito ao planeta. Os programas e as ações adotados na SLC Agrícola têm como componentes a gestão econômica, bem como a adoção das melhores práticas e tecnologias agronômicas, visando impactar minimamente o meio ambiente. Nesse sentido, a agricultura digital foi um passo essencial para a SLC alcançar esses objetivos.

17.1 AGRICULTURA DIGITAL NA SLC AGRÍCOLA

Para todos os tamanhos de propriedades rurais, desde pequenas até grandes empresas agrícolas, existem tecnologias que podem aumentar a eficiência da produção. A agricultura digital possibilita resolver problemas comuns dos agricultores, razão por que a identificação das ferramentas mais adequadas a cada situação é fundamental para a sua aplicação com sucesso. Não há dúvidas de que essa jornada de digitalização é um caminho sem volta.

A agricultura de precisão foi o marco inicial da adoção tecnológica na SLC Agrícola a partir de 2003, com o emprego da amostragem de solo em grade e da aplicação à taxa variável de calcário. Assim, ela evoluiu ao longo dos anos seguintes ao adotar a aplicação à taxa variável

Agrícola, já foi possível reduzir até 20% o volume de produto aplicado em lavouras de soja.

17.4.4 Gestão de máquinas

Atualmente, as máquinas agrícolas estão equipadas com diversos sensores para monitoramento dos seus componentes e para operação. Isso significa que é possível monitorar o desempenho da máquina, do operador e da operação que está sendo realizada. Na Fig. 17.10, pode-se visualizar um mapa de semeadura de soja, com variação na taxa de sementes depositadas em cada seção da semeadora.

Erros operacionais, como excesso de velocidade, falhas na deposição da semente e falta de regulação das máquinas, podem ser analisados nas plataformas de agricultura digital. Dependendo da disponibilidade de conectividade rural, é possível obter as informações em tempo real (Fig. 17.11) ou extrair os dados das máquinas e importá-los para as plataformas de gestão agrícola.

Na pulverização aérea, a rastreabilidade das aplicações de insumos agrícolas é essencial para validar a qualidade da operação. Na Fig. 17.12 pode ser visualizada uma aplicação que apresentou índices de qualidade adequados, com 97,71% de acerto.

Ainda na questão do monitoramento das máquinas agrícolas, os sensores podem informar o desgaste prematuro de peças, bem como a aproximação da data de manutenção periódica do equipamento, como troca de correias, troca de óleo, limpeza de filtros etc., evitando,

assim, a necessidade de interromper sua utilização em momentos críticos.

17.4.5 Gestão climática

Estações meteorológicas, sensores de umidade de solo, sondas de solo e pluviômetros digitais estão sendo utilizados para a gestão climática das empresas agrícolas. A previsão meteorológica com maior assertividade e registro de precipitação em tempo real possibilita tomar decisões importantes, como a aplicação de insumos no momento certo e quando e onde realizar a semeadura. Por exemplo, na Fig. 17.13 são mostrados uma estação meteorológica instalada em área de cultivo transmitindo os dados em tempo real e um painel de gestão climática.

Estações embarcadas em pulverizadores são decisivas para indicar se as condições de aplicação de defensivos agrícolas estão dentro dos parâmetros recomendados, com base em informações como temperatura, umidade e velocidade e direção do vento pelo Delta T – um indicador confiável e eficiente da quantidade de vapor que a atmosfera pode absorver a determinada temperatura. Do ponto de vista agrônomo, essas informações são essenciais para minimizar possíveis deriva de defensivos.

17.5 GESTÃO DE INDICADORES

A grande quantidade de dados gerados por sensores, máquinas, apontamentos e imagens deve ser organizada, integrada e disponibilizada em indicadores de gestão em

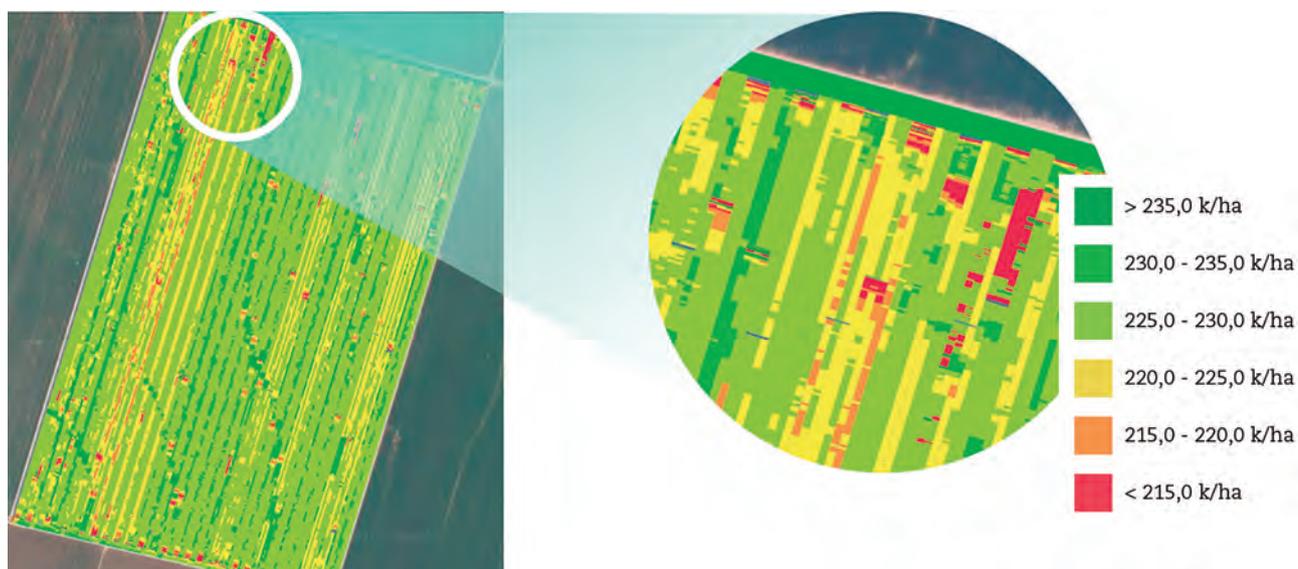


FIG. 17.10 Mapa de semeadura da cultura da soja – Correntina (BA)
Fonte: SLC Agrícola.