AGRICULTURA DE PRECISÃO

Boletim Técnico 05

Sensores ópticos ativos

Tatiana F. Canata[1]; Marcelo C. Fu Wei[2]; José P. Molin[3]

Dezembro/2019

[1]Eng. Biossistemas, Doutoranda em Eng. de Sistemas Agrícolas (USP-ESALQ); tatiana.canata@usp.br
[2]Eng. Agrônomo, Mestrando em Eng. de Sistemas Agrícolas (USP-ESALQ); marcelochan@usp.br
[3]Professor e coordenador do Laboratório de Agricultura de Precisão (USP-ESALQ); jpmolin@usp.br

Quem somos?

O Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP) pertence ao Departamento de Engenharia de Biossistemas da USP-ESALQ.

Quais os objetivos?

Oferecer infraestrutura e ambiente de trabalho para as atividades e projetos relacionados ao estudo da variabilidade espacial das lavouras e das tecnologias embarcadas nos veículos e máquinas agrícolas.

Onde estamos localizados?

O LAP está sediado no Departamento de Engenharia de Biossistemas da USP-ESALQ, em Piracicaba-SP.

USP ESALQ LAP
Laboratório de Agricultura de Precisão

A coleta de dados de alta densidade na agricultura exige o uso de sensores que sejam capazes de disponibilizar dados úteis ao gerenciamento das lavouras, com praticidade e custo compatível. No contexto da Agricultura de Precisão (AP) esses dados são associados ao solo ou às plantas, de forma georreferenciada, visando a identificação e o entendimento das variabilidades espacial e temporal das lavouras.

Índices de vegetação

A utilização da óptica na agricultura como forma de sensoriamento teve início com os sensores imageadores passivos, que utilizam a energia solar como fonte de radiação, embarcados em satélites orbitais (imagens de satélite). A utilização dos sensores multiespectrais embarcados em plataformas aéreas deu origem aos índices de vegetação (IV), largamente utilizados na agricultura, e calculados a partir das leituras de refletância em dois ou mais comprimentos de onda incidentes no objeto-alvo, sendo que alguns possuem forte associação com a biomassa da vegetação.

De forma geral, as plantas apresentam baixa refletância na faixa visível do espectro devido à forte absorção pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente nas regiões do azul (~450 nm) e do vermelho (~660 nm). Na região do infravermelho próximo (NIR - acima de 700 nm) há maior refletância em razão da ausência de absorção desta pelos pigmentos das folhas (Figura 1).

A interação entre a luz e a vegetação permite o cálculo de IV, por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - do inglês Normalized Difference Vegetation Index), proposto na década de 1970 e calculado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - Vis)}{(NIR + Vis)}$$

em que: NIR é a refletância em um determinado comprimento de onda na região do infravermelho próximo (entre 760 e 1.500 nm) e o Vis é a reflectância em um comprimento de onda da região do visível (entre 400 e 700 nm), ambos específicos para cada sensor de mercado.

No caso do IV, quanto mais próximo do valor 1,0 maior o desenvolvimento da cultura (mais biomassa) e quanto mais próximo do valor 0, mais prejudicada estará a cultura (menos biomassa). A recomendação da utilização da relação entre as bandas do NIR e da borda do vermelho (Red-Edge RE) (650–800 nm) foi difundida para o cálculo do NDRE (Normalized Index Red -Edge), apenas trocando o valor do Vis pelo valor do RE na equação. Este índice normalmente atinge o seu valor máximo em momento mais avançado do desenvolvimento da cultura se comparado com o NDVI. Assim, com o uso do sinal da borda do vermelho, o fenôme-

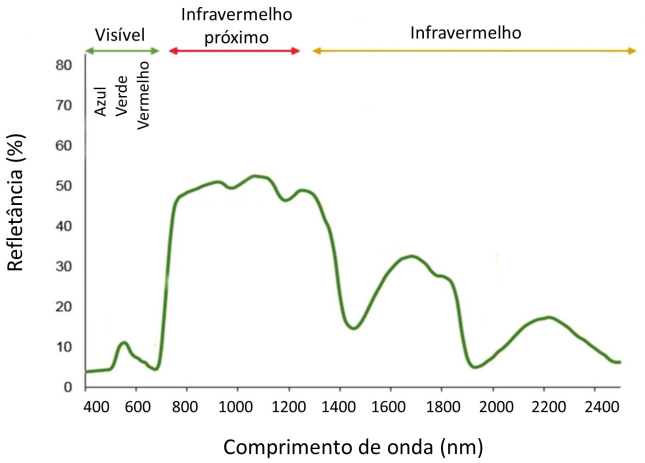

Figura 1. Refletância de vegetação em função do comprimento de onda

no de saturação tende a demorar mais tempo para se manifestar.

Sensores de absorbância

Uma vertente diferente daquela das imagens, deu origem aos sensores ópticos ativos, com fonte de luz própria, medindo a absorbância ao invés da refletância. Os primeiros relatos acerca do seu uso na agricultura objetivavam a mensuração indireta do teor de clorofila nas folhas com o intuito de prescrever recomendações de adubação nitrogenada. O desenvolvimento dos medidores portáteis de clorofila (Figura 2) viabilizou a realização de leituras instantâneas em campo e tornou-se uma ferramenta não destrutiva para a avaliação e recomendação de doses de nitrogênio (N), especialmente em culturas de cereais.

(A) (B)

Figura 2. Medidores portáteis de clorofila: SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) (A) ClorofiLOG (B)

Os valores obtidos por esses medidores consideram os comprimentos de onda associados à atividade da clorofila. Por exemplo, o SPAD utiliza a faixa do vermelho (650 nm), em que a absorbância é alta e não afetada pelos carotenóides e do infravermelho (940 nm), em que a absorbância é baixa. No caso do equipamento ClorofiLOG, de fabricação nacional, são dois emissores na faixa do vermelho (635 e 660 nm) e um no infravermelho próximo com uma interface para a conexão com um receptor GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Porém, as limitações operacionais, como a mensuração pontual, desses medidores em extensas áreas inviabilizaram a sua adoção para os propósitos da AP.

Sensores ópticos ativos

Paralelamente às imagens de satélite, também foram disponibilizados os imageadores multiespectrais embarcados em aviões e, mais recentemente, em RPA (Remotely Piloted Aircraft) ou popularmente denominados de drones. No entanto, todos estes produzem imagens digitais, que necessitam de algum pós-processamento para que seja obtido o mapa do índice de vegetação.

A combinação do domínio da técnica e da aplicabilidade em alvos vegetais motivou o desenvolvimento dos sensores ópticos embarcados em veículos agrícolas. Assim, no final dos anos 1990 surgiram os primeiros sensores ópticos que geravam o dado digital georreferenciado da refletância do alvo, representando um avanço para as práticas de AP, pois viabilizava a mensuração do IV e a imediata aplicação de N em cereais, originando o conceito de "aplicação em tempo real", ou seja, a mensuração, o diagnóstico, o cálculo e a aplicação de uma determinada dose com o sensor embarcado na máquina que aplica o adubo nitrogenado. Mas, ainda faltava a autonomia com relação à fonte de luz e no início da década de 2000 surgiram os sensores com fonte de luz própria (ativos), capazes de sensoriar a vegetação eliminando o efeito da luz solar, permitindo a sua utilização durante o dia e à noite.

Os sensores ópticos ativos detectam os comprimentos de onda na faixa do visível, na borda do vermelho e do infravermelho próximo, dependendo de sua especificação técnica. Os sensores disponíveis comercialmente (Tabela 1 e Figura 3) se diferem, principalmente, pelo número e comprimento de onda das bandas espectrais, área amostral e leitura na forma oblíqua ou vertical.

Alguns desses sensores podem ser portados manualmente e permitem a coleta de dados para representar uma parcela experimental ou um determinado comprimento de fileira de plantas de uma cultura. No entanto, a origem do desenvolvimento desses sensores foi baseada na concepção de serem portados sobre veículos agrícolas e dedicados ao diagnóstico e recomendação de doses de N, com base no IV de cada ponto de coleta. Assim, tais equipamentos permitem a aplicação em tempo real, pois o sensor gera o dado, que confrontado com um determinado algoritmo de recomendação, gera a dose a ser aplicada naquele local.

Além do emprego desses sensores em algorit-

Tabela 1. Sensores ópticos ativos disponíveis comercialmente

Identificação	Sensores	Fabricantes	Comprimentos de onda (nm)	Origem
A	Crop Circle ACS-210	Holland Scientific	590; 880	Norte-americano
B	Crop Circle ACS-430	Holland Scientific	670; 730; 780	Norte-americano
C	Crop Circle ACS-470	Holland Scientific	670; 730; 760	Norte-americano
D	OptRX	AgLeader	670; 730; 780	Norte-americano
E	RapidScan CS-45	Holland Scientific	670; 730; 780	Norte-americano
F	GreenSeeker portátil	Trimble	650; 770	Norte-americano
G	GreenSeeker	Trimble	660; 770	Norte-americano
H	Flexum	Falker	660; 890	Brasileiro
I	N-Sensor ALS	Yara	730; 760	Europeu
J	CropSpec	Topcon	735; 808	Japonês

Figura 3. Sensores ópticos ativos

mos de adubação nitrogenada, outra aplicação envolve a elaboração do mapa de biomassa para o monitoramento do avanço do crescimento de culturas ao longo de seu ciclo (Figura 4), de forma simples e rápida, pois no final do percurso, o usuário já dispõe do dado com latitude, longitude e IV em um único arquivo tipo texto, normalmente na frequência do receptor GNSS (um ponto por segundo). Outro aspecto importante é o momento ou os momentos mais apropriados para o mapeamento das lavouras, que depende do objetivo de sua geração e, em alguns casos, coincide com a expressão da maior taxa de crescimento vegetativo. Em outros, simplesmente deve-se esperar a existência de um mínimo de biomassa para gerar os dados de refletância da cultura-alvo e não do solo ou da palha.

Os sensores ativos possuem especificações e uma delas é a distância em relação ao alvo. Alguns desses sensores tiveram origem na Europa, onde a cultura predominante é o trigo e outros foram desenvolvidos nos EUA, tendo o milho como alvo principal. Assim, no mercado são encontrados sensores que escaneiam faixas de larguras distintas.

Por exemplo, os europeus são configurados para a montagem sobre a cabine do veículo

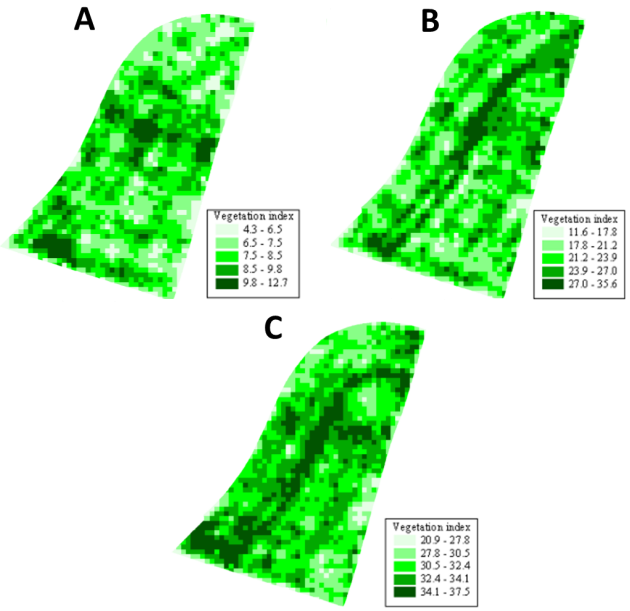

Figura 4. Mapa do índice de vegetação interpolado de um talhão de cana-de-açúcar de 18 ha com colmos em alturas predominantes de 0,20 m (A); 0,40 m (B) e 0,60 m (C)

agrícola e trabalham com o feixe de luz inclinado, focando e iluminando uma elipse nas duas laterais do veículo a distâncias que variam de 3,0 a 5,0 m do alvo, como área amostral para a aplicação de N com máquinas distribuidoras a lanço, com larguras de 30 m ou mais e com adequada uniformidade transversal, característica das máquinas europeias. Os norte-americanos foram projetados para que, posicionados verticalmente, escaneiem uma fileira de plantas de milho a distâncias de 0,30 a 1,50 m do alvo com a largura do feixe de luz entre 0,40 a 0,80 m. Portanto, deve-se definir quantos sensores são necessários em função da largura da máquina, no caso de aplicação em tempo real, ou o espaçamento entre os sensores ou entre as passadas, dependendo da cultura-alvo a ser escaneada.

A origem deste conceito foi a adubação nitrogenada com base na biomassa e consequentemente, o nitrogênio nela contido, pressupondo uma calibração para cada cultura ou mesmo

variedade. Tal calibração é um trabalho dedicado, que consiste na obtenção do mapa do IV de uma determinada lavoura representativa. A partir do mapa obtido é feita a alocação de pontos sobre esse mapa para guiar a amostragem, a coleta das amostras nesses pontos e a sua caracterização para a determinação de biomassa e do teor de N contido. A regressão entre o IV e estes atributos gera os dados básicos, que juntamente com as curvas de calibração de N e as relações entre a biomassa e a produtividade esperada da cultura, originam o algoritmo ou as recomendações (Figura 5).

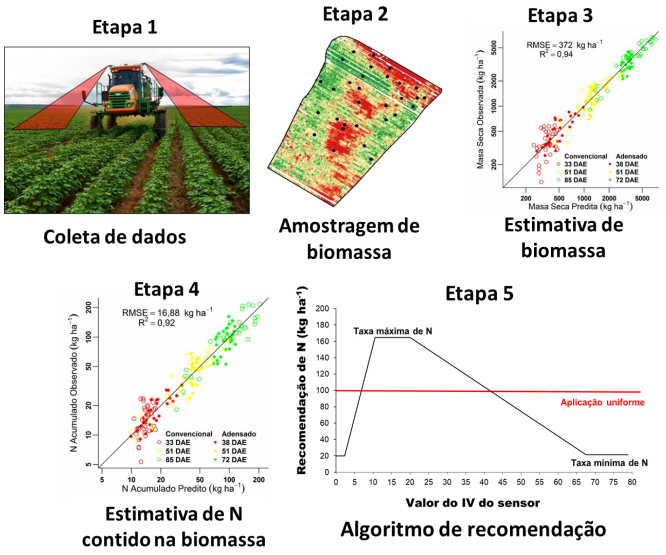

Figura 5. Exemplo de calibração e geração de modelo de recomendações a partir de sensores ópticos ativos

Para a otimização de tais recomendações é importante que se disponha de outras camadas de dados (mapas) das lavouras, sempre em alta resolução, como a dos sensores, de atributos como teor de argila e de matéria orgânica, a fim de melhorar o algoritmo e a consequente recomendação.

Como esses sensores são capazes de estimar com boa assertividade a biomassa, outras aplicações agrícolas têm sido derivadas e já consolidadas. É o caso das aplicações de calda de fungicida e dessecante em volume variável em função da quantidade de biomassa a ser atingida pelas gotas; regulador de crescimento, diretamente associado ao volume do dossel, o qual é fortemente relacionado com a biomassa. Esses usos podem, e a lógica diz que devem, ser executados com a aplicação em tempo real, mas essas aplicações devem ser previamente calibradas e validadas experimentalmente.

Como são sensores de vegetação, também são utilizados para a detecção da presença de plantas daninhas. Nesse caso, são associados ao comando de aplicadores de herbicida pós-emergente em tempo real. No mercado, há equipamentos dedicados a essa finalidade que possuem uma ponta pulverizadora para cada sensor. Enquanto outros tem um sensor que comanda uma válvula associada a uma ponta pulverizadora para cada faixa (Figura 6).

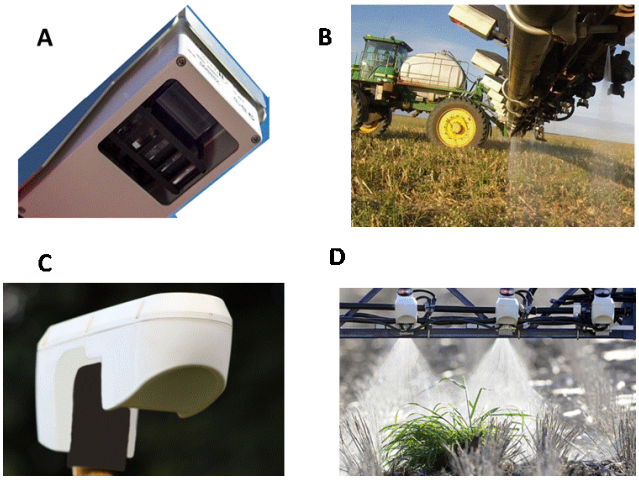

Figura 6. Sensor WeedIt que emite luz vermelha para a detecção de NIR pela presença de clorofila (A); aplicação de herbicidas em tempo real, com cinco pontas pulverizadoras para cada sensor (B); sensor WeedSeeker que se baseia no NDVI para a detecção da planta (C); aplicação em campo com uma ponta pulverizadora para cada sensor (D)

A utilização dos sensores ópticos ativos na agricultura tem se demonstrado como uma alternativa ao mapeamento e a análise da variabilidade espacial das lavouras, além de ser caracterizada como uma ferramenta promissora à elaboração de recomendações, visando a otimização do uso de insumos e a redução do impacto negativo no meio ambiente. Há um amplo espaço na AP para o desenvolvimento de equipamentos e aplicações a partir dos dados disponibilizados por esses sensores. Além disso, no caso específico do controle de ervas daninhas, há diversas oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias visando a diferenciação entre as espécies daninhas com o uso da espectrometria. Porém, o que provavelmente tenha mais desenvolvimento futuro seja a fusão destes dados com os de imagens, sempre exigindo um intenso levantamento de características fotossintéticas das plantas e um banco de dados robusto.

Laboratório de Agricultura de Precisão
Departamento de Engenharia de Biossistemas
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo
Av. Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900
Piracicaba - SP
Fone: (19) 3447 - 8514
E-mail: gmap@esalq.usp.br

Visite nosso site:
www.agriculturadeprecisao.org.br