

Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT)
como plataforma para monitoramento
da produção agropecuária:
estudo de caso para o milho forrageiro



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gado de Leite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 233

Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro

*Ricardo Guimarães Andrade
Marcos Cicarini Hott
Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior
Pérsio Sandir D'Oliveira
Jackson Silva e Oliveira*

Embrapa Gado de Leite
Juiz de Fora, MG
2019

Comitê Local de Publicações da Unidade
Responsável

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Leite
Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Dom Bosco
CEP: 36038-330 – Juiz de Fora/MG
Telefone: (32)3311-7400
Fax: (32)3311-7424
<http://www.embrapa.br>
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Presidente
Pedro Braga Arcuri

Secretária-Executiva
Inês Maria Rodrigues

Membros
Jackson Silva e Oliveira, Leônidas Paixão Passos, Fernando Cesár Ferraz Lopes, Francisco José da Silva Lédo, Fábio Homero Diniz, Naiara Zoccal Saraiva, Julieta de Jesus daq Silveira N. Lanes, José Luiz Bellini Leite, Edna Froeder Arcuri, Leticia Sayuri Suzuki, Frank Ângelo Tomita Bruneli, Virginia de Souza Columbiano Barbosa, Fausto de Souza Sobrinho, Rita de Cássia Palmyra da Costa Pinto

Supervisão editorial
Ricardo Guimarães Andrade

Normalização bibliográfica
Inês Maria Rodrigues

Tratamento das ilustrações e editoração eletrônica
Carlos Alberto Medeiros de Moura

Arte da Capa
Adriana Barros Guimarães

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

1ª edição
On line (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Gado de Leite

Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro / Ricardo Guimarães Andrade ... [et al.]. – Juiz de Fora : Embrapa Gado de Leite, 2019.
20 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 233).

ISSN 1516-7453

1. VANT. 2. Milho. 3. Sensoriamento remoto. 4. Geotecnologias. I. Andrade, Ricardo Guimarães. II. Hott, Marcos Cicarini. III. Magalhães Júnior, Walter Coelho Pereira de. IV. D'Oliveira, Pêrsio Sandir. V. Oliveira, Jackson Silva e. VI. Série.

CDD 681.763

© Embrapa, 2019

Autores

Ricardo Guimarães Andrade

Engenheiro Agrícola, D.Sc., em Meteorologia Agrícola, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Marcos Cicarini Hott

Engenheiro Florestal, D.Sc., em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior

Ciências Econômicas, M.Sc. em Ciência da Computação, analista da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Pérsio Sandir D'Oliveira

Engenheiro Agrônomo, D.Sc., em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Jackson Silva e Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Ph.D., em Nutrição, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Apresentação

Os números da agropecuária brasileira, em termos de área cultivada e de criação de animais, detêm escala continental. A área de pastagem é estimada em 160 milhões de hectares com quase 215 milhões de cabeças. Importante na cadeia produtiva do leite, o cultivo do milho também se estende por grande parte do território, sendo a terceira cultura em faturamento, por volta de 47 bilhões de reais. Devido à enorme área plantada, em torno de 16 milhões de hectares, produção estimada próxima a 90 milhões de toneladas, necessidades nutricionais, ataques de pragas e ocorrência de doenças, a rentabilidade que pode ser atribuída às lavouras de milho e sua integração à produção leiteira justificam um maior investimento em ações antecipatórias em investigação das condições fitossanitárias, melhorias em manejo e pesquisa de instrumentos e metodologias para agregação de valor. A despeito de todo manejo adotado no cultivo de milho, ferramental em geoprocessamento e sensoriamento remoto vem apontando alternativas para subsídio ao aumento de produtividade. Desde o monitoramento da área plantada e destinação à ensilagem, assim como o manejo da rotação de culturas e controle de talhões, índices de vegetação estimados com imagens de satélites proporcionam uma medida importante na tomada de decisão em relação a biomassa a ser produzida. Com a necessidade de aprimorar-se no detalhamento de áreas de plantio e estresses existentes, auferindo precisão, e com o surgimento da agricultura digital, demandas em parques geotecnológicos, todos, hoje, à mão de uma gama de produtores, existe a possibilidade da resolução de problemas antes mesmo que se tornem insolúveis. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT), smartphones e aplicativos, os quais se adequam a solução de problemas inumeráveis, a partir de agora, também, se aplica à estimativa de índices de vegetação,

praticamente, em tempo real. No trabalho, ora, apresentado neste documento, diversos aspectos e alguns índices óticos derivados de lavouras de milho são mensurados, comparados e, esquematicamente, delineados com o intuito de fornecer soluções para o agronegócio do milho com o uso de VANT, visando a fronteira do conhecimento e aplicações tangíveis, tão necessários para a melhoria da agricultura brasileira.

Paulo do Carmo Martins
Chefe-geral da Embrapa Gado de Leite

Sumário

Resumo	9
Introdução.....	9
Identificação de Perdas de Produtividade em uma Lavoura de Milho Forrageiro	12
Uso de imagem RGB	12
Uso de índices de vegetação	13
Considerações Finais	18
Referências	18

Resumo

O crescimento da produtividade agrícola, sem grande impacto ao meio ambiente, é uma verdadeira revolução no campo, utilizando dados, tecnologia e inteligência territorial como ativos de alto valor. Por meio de plataformas de levantamento, mensuração e aplicação aéreas, denominadas VANT (sigla para Veículo Aéreo Não Tripulado) ou drone, é possível a execução de atividades de monitoramento, avaliação e de apoio à tomada de decisão quanto ao aperfeiçoamento do manejo de lavouras e de rebanhos em propriedades rurais de qualquer escala de produção. Tradicionalmente, os índices de vegetação são utilizados no mapeamento da condição vegetativa, principalmente, em larga escala com o uso de imagens de satélites. No entanto, com o advento das plataformas VANT com sensores embarcados que captam dados nas faixas ou bandas do espectro visível e infravermelho próximo, vários índices são aplicados em estudos envolvendo a identificação de estresses da vegetação em escalas espaciais mais precisas. Em ensaios realizados em lavouras de milho, verificou-se que em média, os índices de vegetação VARI e GLI indicaram perdas de produtividade de 5,58 e 7,36%, respectivamente. Na região de borda ao norte da área, o índice não foi satisfatório na discriminação de perdas devido à alta infestação por plantas invasoras. Assim, estimou-se uma menor porcentagem de perdas pela média dos índices de vegetação, em torno de 6,47% ou 0,35 ha. Observou-se que os índices VARI e GLI foram semelhantes na discriminação das classes em intervalos que indicam desde a exposição do solo até o nível de vigor da vegetação. Os resultados dos índices de vegetação, na faixa do espectro visível, comprovam a aplicabilidade do método na extração de dados e informações relacionadas aos aspectos de desenvolvimento e crescimento das lavouras.

Introdução

O crescimento da população mundial aliado à diminuição dos recursos naturais, suscita a questão do uso racional dos recursos, especialmente no campo da produção de alimentos e uso do solo. A próxima revolução agrícola certamente será impulsionada por dados e pelo uso inteligente destes, os quais ajudarão a aumentar a produtividade agrícola com menor impacto ao meio ambiente. Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto e

geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas no setor agropecuário. Essas técnicas permitem avaliar o estado das lavouras, onde os níveis de absorção da luz, assim como da quantidade de radiação refletida pelas folhas indicam a presença de cloroplastos, como a clorofila, água e do parênquima produzido no mesófilo, sendo que o conhecimento deste princípio biofísico é fundamental para o monitoramento das fases de desenvolvimento e crescimento das plantas. Os resultados do monitoramento dessas fases poderão influenciar, por exemplo, as decisões de intervenções na correção dos solos, a proteção contra pragas e doenças ou se outras medidas devem ser tomadas (Tripicchio et al., 2015).

Nos últimos anos, há um crescente interesse no uso de técnicas e procedimentos autômatos para monitorar a sanidade das lavouras. A robótica deu grande salto neste campo, fornecendo soluções interessantes e eficazes para várias fases de crescimento e desenvolvimento das culturas (Tripicchio et al., 2015). Em comparação com a tecnologia de satélites, o uso dos VANTs na agricultura e nas fazendas inteligentes (integração das aplicações digitais) tem sido muito eficaz devido ao fato destes possibilitarem que os produtores tenham visão panorâmica e próxima de seus campos, com avaliações mais precisas das condições das lavouras.

Os VANTs são plataformas de aeronaves leves e de baixo custo operadas a partir do solo e que podem transportar cargas úteis como as câmeras para imageamento. São promissores para o monitoramento responsivo, oportuno e de baixo custo dos alvos de interesse em resoluções espaciais e temporais apropriadas às escalas de muitas variáveis relevantes para a agropecuária e o meio ambiente. Tais equipamentos emergiram de um passado militar e, atualmente, há um número crescente de agências e organizações civis que reconheceram as possíveis aplicações dos VANTs.

A aplicação de procedimentos inovadores a partir dos VANTs tem avançado exponencialmente e revelado novos e importantes conhecimentos para a pesquisa agropecuária. Esta tecnologia vem sendo aplicada com foco no aumento da eficiência e da maximização dos lucros na propriedade rural. O uso de drones na propriedade rural pode ser basicamente resumido em quatro segmentos: varredura de campo com sensores compactos multiespectrais de imageamento; criação de mapas georreferenciados; transporte de carga; e monitoramento de gado.

A partir das câmeras multiespectrais embarcadas nas plataformas VANTs, podem ser obtidas inúmeras informações voltadas para tomadas de decisões mais precisas das atividades na propriedade rural por meio do monitoramento em diferentes escalas. Segundo Grenzdörffer et al. (2008), os VANTs podem ser usados para: (i) testes de campo e pesquisa; (ii) determinação da biomassa, crescimento de culturas e qualidade dos alimentos; (iii) agricultura de precisão, por exemplo, na identificação do grau de infestação por ervas daninhas e sua distribuição no espaço com vistas para aplicações de herbicida apenas no local infestado; (iv) monitoramento de estádios fenológicos da cultura para identificar o melhor período para colheita e otimizar a logística. Além disso, pode ser aplicado no monitoramento das condições de estresse hídrico (Gago et al., 2015) fertilidade e compactação do solo, sistemas de preparo do solo, nutrientes nas plantas, falhas de plantio (Pontes e Freitas, 2015), doenças (Zhang et al., 2018), entre outras. Neste sentido, tornam-se uma excelente oportunidade para monitorar campos de cultivo em alta resolução temporal e espacial e auxiliar no planejamento das diversas atividades de manejo.

As principais vantagens do uso de VANT's leves para a pesquisa da dinâmica da vegetação é que as plantas podem ser analisadas de forma individual no tempo e no espaço. Os tempos de revisitação podem ser otimizados para o ciclo fenológico das espécies/alvos e há possibilidade ou capacidade de transportar radiômetros de faixa estreita ou hiperespectrais em miniatura ou câmeras térmicas para capturar padrões em variáveis biofísicas (Anderson e Gaston, 2013). Também é possível gerar ortomosaico de imagens, modelo digital de superfície, modelo digital de terreno, modelo 3D e índices de vegetação com altíssima resolução espacial (2 cm de *pixel*) e temporal (diárias).

A geração de mapas georreferenciados fornece aos produtores uma visão mais precisa de sua propriedade e, portanto, uma capacidade mais eficaz e maximizada de planejar onde as culturas devem ser plantadas. O transporte de cargas (fertilizantes ou pesticidas), é feito a um custo reduzido com implantação autônoma. Outra possibilidade é o monitoramento do gado por meio de imagem térmica, possibilitando aos produtores verificarem com precisão se há algum animal ausente, ferido ou em trabalho de parto.

Dessa forma, são inúmeras as possibilidades de aplicações de VANT's na agropecuária, como uma nova plataforma geotecnológica. Os avanços alcançados em anos recentes criaram inúmeras possibilidades de uso que denotam a importância dessa tecnologia para gerenciamento dos recursos empregados no campo.

Identificação de Perdas de Produtividade em uma Lavoura de Milho Forrageiro

Uso de imagem RGB

Os drones podem ser equipados com câmeras em que os sensores possibilitam capturar o comportamento de faixas do espectro de luz em interação com as plantas. A partir das câmeras de imageamento da superfície, por exemplo, nas bandas ou faixas do vermelho (R), verde (G) e azul (B), podem ser obtidas inúmeras informações voltadas para tomadas de decisões mais precisas em diferentes escalas. Na Figura 1 tem-se exemplo de identificação de perdas na produtividade da lavoura de milho com o uso de imagens composição RGB (*Red, Green, Blue*). As perdas foram causadas devido a invasão por animais silvestres. As imagens possuem tamanho de pixel ao redor de 2 cm, o que possibilita identificar com precisão as áreas afetadas e assim delimitar os polígonos das áreas de perdas. É possível observar que a lavoura de milho forrageiro apresenta alta densidade de plantas e há vários polígonos destacando “bolsões” de perdas causadas pelos animais. O imageamento foi efetuado no dia 21 de agosto de 2018 e a lavoura estava com 136 dias. Nesta data, as perdas estimadas foram em torno de 12%.

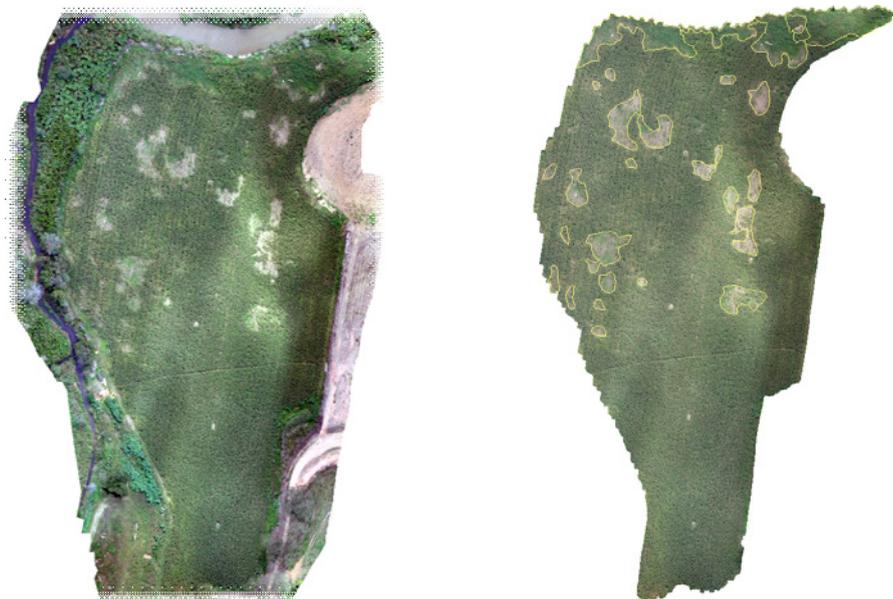


Figura 1. Mosaico de imagens R (Red) G (Green) B (Blue) da lavoura de milho. Destaque para as áreas com identificação de perdas devido a invasão por animais silvestres. Imageamento realizado em 21 de agosto de 2018.

Uso de índices de vegetação

A forma como a luz ou radiação interage com os alvos de superfície pode ser utilizada para analisar fenômenos ou alterações ocorridas no tempo e no espaço. Um exemplo disso seria o comportamento da luz que é absorvida pela planta devido aos processos de fotossíntese. Neste caso, a interação da luz ou radiação com a planta em certas faixas ou bandas espectrais, tais como as bandas do vermelho (*Red*) e do infravermelho próximo (*Near-Infrared*) podem se correlacionar com fatores inerentes à saúde da planta.

Os índices de vegetação são muito utilizados em estudos envolvendo a identificação de estresses da vegetação. Consequentemente, esses índices podem auxiliar na classificação dos alvos, por exemplo, na discriminação da vegetação em desenvolvimento dentro da normalidade e áreas de plantio afetadas por pragas, doenças, deficiências nutricionais da vegetação e do solo, perdas causadas por invasão de animais silvestres, entre outras. A Tabela 1 apresenta os resultados do uso de índices de vegetação (*VARI – Visible Atmospherically Resistant* (Gitelson et al., 2002) e *GLI – Green Leaf*

Index (Hunt Jr. et al., 2013)) na estimativa dos impactos das perdas causados pelos animais. Já na Figura 2 observa-se a variabilidade espacial dos intervalos de classes dos índices de vegetação VARI (Figura 2A) e GLI (Figura 2B).

O índice VARI foi desenvolvido para levar em consideração a influência dos constituintes atmosféricos (Gitelson et al., 2002; Schneider et al., 2008), sendo um bom índice para estimar a fração de vegetação verde a partir da faixa visível do espectro e que pode ser usado para analisar a lavoura em todos os estádios ou fases de crescimento e desenvolvimento, demonstrando, contudo, um melhor desempenho nas fases adiantadas do plantio com alto índice de área foliar (IAF). O índice VARI reduz os efeitos atmosféricos ao considerar, no denominador da sua formulação, a subtração da banda espectral referente ao canal azul (ρ_{Blue}), conforme a expressão seguinte sugerida por Gitelson et al. (2002):

$$\text{VARI} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{Red}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{Red}} - \rho_{\text{Blue}}} \quad (01)$$

Em que, ρ_{Green} , ρ_{Red} e ρ_{Blue} são as bandas espectrais referentes aos canais do verde (*Green*), vermelho (*Red*) e azul (*Blue*), respectivamente. Gitelson et al. (2002) mostraram que o VARI teve bom desempenho na estimativa da fração da vegetação verde com erro inferior a 10%.

Por outro lado, o índice GLI foi desenvolvido para, distinguir no campo, a vegetação fotossinteticamente ativa (plantas vivas) em relação à vegetação seca (não viva) e exposição do solo. É um índice que se fundamenta na cor verde da vegetação saudável. Portanto, ele pode ser usado como um indicador de clorofila, sendo expresso, segundo Louhaichi et al. (2008) pela seguinte expressão:

$$\text{GLI} = \frac{(2 \rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{Red}} - \rho_{\text{Blue}})}{(2 \rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{Red}} + \rho_{\text{Blue}})} \quad (02)$$

O índice GLI se ajusta bem à vegetação verde e amarelada e, assim como o índice VARI, pode ser usado em todos os estádios ou fases de crescimento e desenvolvimento da vegetação, destacando-se, particularmente, para discriminação de diferentes coberturas de solo, mensuração da quantidade de solo exposto e identificação de plantas invasoras durante as etapas iniciais do plantio.

De acordo com o aerolevantamento realizado nesse trabalho, nota-se que, em média, os índices de vegetação (VARI e GLI) indicam perda média de 6,47%, com variação entre 5,58 a 7,36% na lavoura de milho estudada (Classe cor vermelha, Tabela 1). No entanto, na borda norte da área, o índice não foi satisfatório na discriminação de perdas de produtividade devido à alta infestação por plantas invasoras (Figuras 1, 2A e 2B). Este fato contribuiu para a menor porcentagem de perdas estimadas por meio dos índices de vegetação (média de 6,47% ou 0,35ha) quando comparado à metodologia de identificação visual com posterior definição dos polígonos referente às áreas de perdas da lavoura (~12%).

Ao analisar as classes em tons de laranja, amarelo, verde claro e verde escuro (Tabela 1), nota-se que a classe de cor laranja representa uma área de plantio que varia entre 1,15 ha e 1,27 ha, respectivamente, 21,12% (VARI) e 23,32% (GLI) da área total da lavoura. Esta classe indica áreas com baixo vigor da lavoura e exposição de solo. A classe de cor amarela abrange, de acordo com a classificação por intervalos dada pelos índices VARI e GLI, valor médio de 2,30 ha ou 42,31% da área total da lavoura. Já as classes em tons de verde representam as áreas da lavoura com melhor vigor e, conseqüentemente, indicam áreas com maior produtividade da lavoura. Somadas, estas classes representam, em média, cerca de 1,58 ha ou 29,01% da área total da lavoura.

Tabela 1. Intervalos de classes de índices de vegetação VARI (*Visible Atmospherically Resistant*) e GLI (*Green Leaf Index*) com suas respectivas áreas em porcentagem.

Classes	Índices de Vegetação					
	VARI			GLI		
	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)
	0,21 a 0,45	0,23	4,28	0,14 a 0,28	0,28	5,14
	0,15 a 0,20	1,27	23,27	0,11 a 0,13	1,38	25,32
	0,10 a 0,14	2,27	41,78	0,09 a 0,10	2,33	42,84
	0,04 a 0,09	1,27	23,32	0,06 a 0,08	1,15	21,12
	-0,13 a 0,03	0,40	7,36	-0,06 a 0,05	0,30	5,58

Especialmente, nota-se que os índices VARI (Figura 2A) e GLI (Figura 2B) foram semelhantes na discriminação das classes em intervalos que indicam desde a exposição de solo e baixo vigor (tons de vermelho e laranja) até o alto vigor da vegetação (tons de verde). Segundo Hunt Jr. et al. (2013), os

índices espectrais são importantes métodos para extrair informações de dados de sensoriamento remoto e podem reduzir, mas não eliminar, os efeitos dos solos, topografia e ângulo de visada.

Os resultados de aplicação dos índices VARI e GLI no presente estudo demonstram que o método tem potencial para ser utilizado na obtenção de parâmetros agrônômicos das lavouras que possibilitam avaliar no tempo e no espaço as condições da lavoura em termos de desenvolvimento e crescimento. Tais resultados estão fundamentados na literatura recente que utilizam índices de vegetação derivados das bandas R-G-B (Red-Green-Blue) para monitorar e quantificar, por meio de imagens aéreas, diferentes parâmetros agrônômicos (Ballesteros et al., 2018; Zhou et al., 2017; Rasmussen et al., 2016; Li et al., 2016; Saberioon et al., 2014).

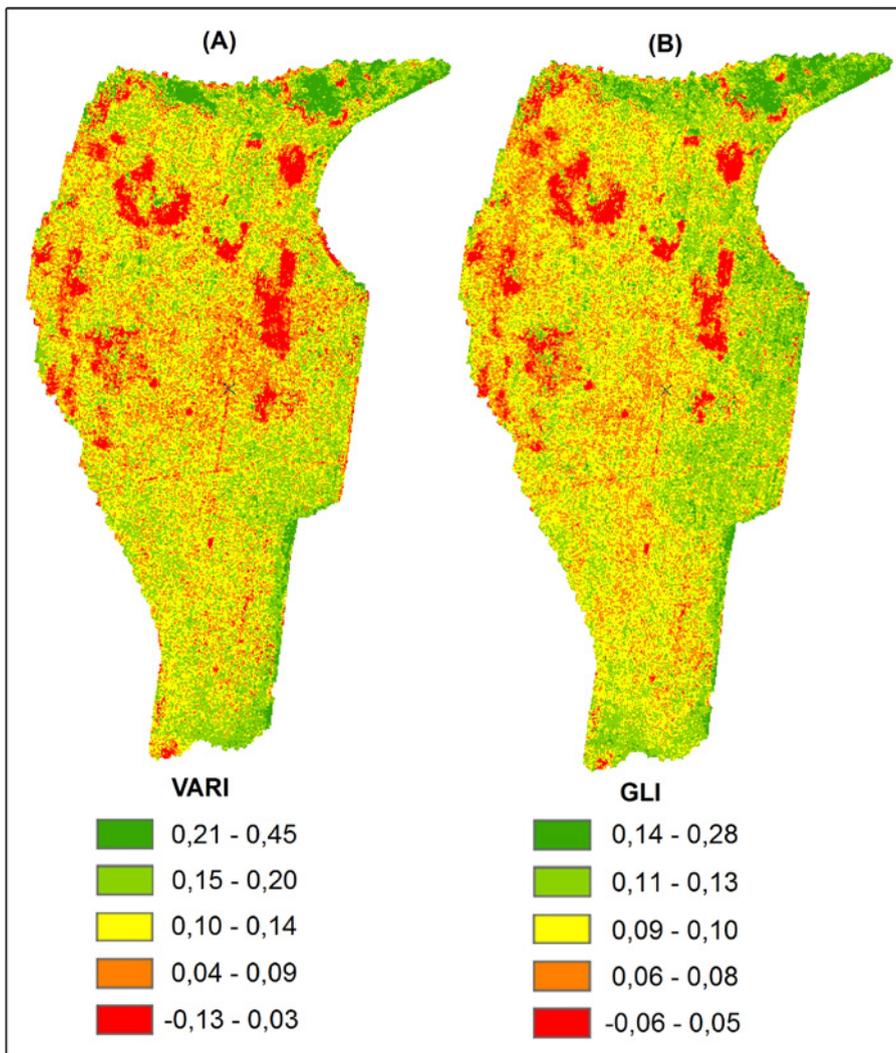


Figura 2. Visualização dos mapas com os intervalos de classes dos índices de vegetação VARI (A) e GLI (B).

Considerações Finais

O estudo de caso do milho forrageiro corrobora para a aplicabilidade dos índices de vegetação VARI e GLI, gerados a partir de sensores de imageamento nas faixas do espectro visível (RGB). Estes índices podem auxiliar no monitoramento das condições da vegetação ao longo do ciclo de vida do plantio, desde que respeitadas suas características e aplicabilidade. Os índices VARI e GLI possuem grande potencial de aplicação como alternativa para situações onde não foi efetuado o imageamento da lavoura na faixa do infravermelho próximo, restringindo o uso de índices como: *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, *EVI (Enhanced Vegetation Index)*, *OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index)*, entre outros.

De forma geral, os avanços tecnológicos recentes poderão impactar significativamente o uso das plataformas VANT's tanto em termos de técnicas de imageamento quanto na geração e disponibilidade de dados com resolução temporal e espacial em nível de propriedades rurais.

Referências

ANDERSON, K.; GASTON, K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 3, p. 138-146, 2013.

BALLESTEROS, R.; ORTEGA, J. F.; HERNANDEZ, D.; DEL CAMPO, A.; MORENO, M. A. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 72, p. 66-75, 2018.

GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R. E.; GALLEGU, P. P.; RIBAS-CARBO, M.; FLEXAS, J.; ESCALONA, J.; MEDRANO, H. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 153, p. 9-19, 2015.

GITELSON, A. A.; STARK, R.; GRITS, U.; RUNDQUIST, D.; KAUFMAN, Y.; DERRY, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2537-2562, 2002.

GRENZDÖRFFER, G. J.; ENGEL, A.; TEICHERT, B. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, Part B1, Beijing, 2008. p. 1207-1214.

HUNT JR., E. R.; DORAISWAMY, P. C.; MCMURTREY, J. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; PERRY, E. M. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 103-112, 2013.

LI, W.; NIU, Z.; CHEN, H.; LI, D.; WU, M.; ZHAO, W. Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 637-648, 2016.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2008.

PONTES, G. R.; FREITAS, T. U. Monitoramento de plantios de eucalipto utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em imagens obtidas por VANT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBSR/INPE, 2015. p. 4057-4064.

RASMUSSEN, J.; NTAOKOS, G.; NIELSEN, J.; SVENSGAARD, J.; POULSEN, R. N.; CHRISTENSEN, S. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 75-92, 2016.

SABERIOON, M. M.; AMIN, M. S. M.; ANUAR, A. R.; GHOLIZADEH, A.; WAYAYOK, A.; KHAIRUNNIZA-BEJO, S. Assessment of rice leaf chlorophyll

content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, p. 35-45, 2014.

SCHNEIDER, P.; ROBERTS, D. A.; KYRIAKIDIS, P. C. A vari-based relative greenness from MODIS data for computing the Fire Potential Index. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 1151-1167, 2008.

TRIPICCHIO, P.; SATLER, M.; DABISIAS, G.; RUFFALDI, E.; AVIZZANO, C. A. Towards Smart Farming and Sustainable Agriculture with Drones. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ENVIRONMENTS. **IEEE Computer Society**, 2015. p. 140-143.

ZHANG, D.; ZHOU, X.; ZHANG, J.; LAN, Y.; XU, C.; LIANG, D. Detection of rice sheath blight using an unmanned aerial system with high-resolution color and multispectral imaging. **Plos One**, v. 13, n. 5, e018747, p. 1-14, 2018.

ZHOU, X.; ZHENG, H. B.; XU, X. Q.; HE, J. Y.; GE, X. K.; YAO, X.; CHENG, T.; ZHU, Y.; CAO, W. X.; TIAN, Y. C. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 246-255, 2017.

Embrapa

Gado de Leite

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO