

USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) NO MONITORAMENTO DOS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO

Ricardo Guimarães Andrade

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Juiz de Fora - Minas Gerais

Marcos Cicarini Hott

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Juiz de Fora - Minas Gerais

Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Juiz de Fora - Minas Gerais

Pérsio Sandir D'Oliveira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Juiz de Fora - Minas Gerais

Jackson Silva e Oliveira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Juiz de Fora - Minas Gerais

RESUMO: Existem grandes desafios ao aumento da produção agrícola, além do aumento de áreas agricultáveis, transgenia e impactos socioambientais: aumentar a produção sustentável, com menor custo e maior precisão. Por meio de plataformas de aerolevante denominadas VANT (sigla para Veículo Aéreo Não Tripulado) ou drone, é possível a execução de atividades de monitoramento, avaliação

e apoio à tomada de decisão quanto ao aperfeiçoamento do manejo de lavouras e de rebanhos em propriedades rurais de qualquer escala de produção. Índices de vegetação são utilizados no mapeamento da condição vegetativa, principalmente, em larga escala com o uso de imagens de satélites. No entanto, a partir de sensores embarcados em plataformas VANT, outros índices podem ser aplicados em estudos envolvendo a identificação de estresses da vegetação em escalas espaciais mais precisas. Verificou-se que os índices VARI e GLI apresentaram desempenhos semelhantes nos estádios vegetativos iniciais da cultura do milho. Estes índices foram sensíveis na discriminação das classes em intervalos que indicam desde a exposição de solo e o baixo vigor (tons de vermelho, laranja e amarelo) até a condição de alto vigor da vegetação (tons de verde). Os resultados dos índices de vegetação, na faixa do espectro visível, comprovam a aplicabilidade do método na obtenção de dados e extração de informações relacionadas aos aspectos de desenvolvimento e crescimento das lavouras. De forma geral, os índices VARI e GLI surgem como potencial alternativa para o monitoramento da lavoura por meio de sensores RGB de baixo custo a bordo de plataformas VANT.

PALAVRAS-CHAVE: Milho, VANT, Índice de vegetação, sensoriamento remoto.

ABSTRACT: There are major challenges to increase agricultural production, in addition to the increase of agricultural areas, transgenics and socio-environmental impacts: to increase sustainable production, with lower cost and greater precision. By means of airborne platforms called UAV (Unmanned Aerial Vehicle) or drone, it is possible to carry out monitoring, evaluation and decision-making support activities in order to improve the management of crops and herds in rural properties with different production scale. Vegetation indexes are used in the mapping of the vegetative condition, mainly, in large scale with the use of satellite images. However, from sensors embedded in UAV platforms, several indices can be applied in studies involving the identification of vegetation stresses at more precise spatial scales. It was found that the VARI and GLI indices presented similar performances in the initial vegetative stages of the maize crop. The indices were sensitive in the class discrimination in intervals that indicate from the soil exposure and the low vigor (red, orange and yellow tones) to the high vegetation vigor condition (green tones). The results of the vegetation indices, in the visible spectrum range, demonstrate the applicability of the method in obtaining data and extracting information related to aspects of development and growth of crops. In general, the VARI and GLI indices appear as a potential alternative for monitoring the crop by means of low cost RGB sensors on board UAV platforms.

KEYWORDS: Maize, UAV, Vegetation Index, Remote Sensing.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, há um crescente interesse no uso de técnicas e procedimentos autômatos para monitorar o crescimento e o desenvolvimento das lavouras. Tudo indica que a próxima revolução agrícola será impulsionada pelo uso inteligente de dados que poderão impactar no aumento da produtividade e contribuir para a sustentabilidade ambiental por meio do uso racional dos recursos, especialmente no campo da produção de alimentos e uso do solo. Haja vista que no setor agrícola torna-se cada vez mais nítido o grande salto da robótica, fornecendo soluções interessantes e eficazes para o aumento da produtividade a partir do monitoramento das lavouras (Tripicchio et al., 2015).

Na propriedade rural, é cada vez mais evidente o uso de drones ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Tais equipamentos emergiram de um passado militar e, atualmente, vem auxiliando o agricultor e o pecuarista em diversas atividades como: transporte de cargas (fertilizantes ou pesticidas), monitoramento do gado e das lavouras em diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento. Em relação às plataformas orbitais, os VANTs têm se destacado nas denominadas fazendas inteligentes, pois são eficazes na geração de dados para extração de conhecimento a partir de uma visão panorâmica próxima dos campos, ou seja, possibilitando avaliações mais precisas das condições das lavouras (Andrade et al., 2019).

O uso de VANT no monitoramento da lavoura pode auxiliar o agricultor nos planejamentos e tomadas de decisões ao atentar-se às peculiaridades do plantio

e as condições edafoclimáticas. A variabilidade da produtividade pode ocorrer em razão de fatores como a época de semeadura, características climáticas, manejo e heterogeneidade do solo, na identificação do grau de infestação por ervas daninhas e sua distribuição no espaço com vistas para aplicações de herbicida apenas no local infestado; identificação do melhor período de colheita com otimização logística, estresse hídrico (Gago et al., 2015), falhas de plantio (Pontes e Freitas), doenças (Zhang et al., 2018), entre outras.

As plataformas VANTs são aeronaves leves e de baixo custo operadas a partir do solo e que podem embarcar sensores para imageamento. Os sensores mais comuns são os que coletam dados na faixa do visível (sensores RGB), no entanto, há uma diversidade de sensores tais como os que captam informações apenas na banda do infravermelho próximo e termal ou aqueles que são multiespectrais e possibilitam obter informações em diversas faixas do espectro eletromagnético. Os sensores RGB são interessantes pelo custo benefício, ou seja, possibilita a geração de índices espectrais na faixa do visível e ainda permite extrair, a partir dos softwares de geoprocessamento, outros produtos como modelo digital de terreno (MDT), modelo 3D, ortomosaico de imagens, estimativa de volume e precisas curvas de nível.

Os avanços alcançados em anos recentes criaram inúmeras possibilidades de uso que denotam a importância dessa tecnologia para gerenciamento dos recursos empregados no campo. Diante do exposto, o presente estudo objetivou o uso de plataforma VANT e sensor RGB embarcado para monitorar a cultura do milho em diferentes estádios de desenvolvimento.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município de Coronel Pacheco-MG, mais precisamente, no Campo Experimental José Henrique Bruschi (CEJHB) da Embrapa Gado de Leite. A área destinada ao plantio do milho forrageiro pode ser visualizada na Figura 1.

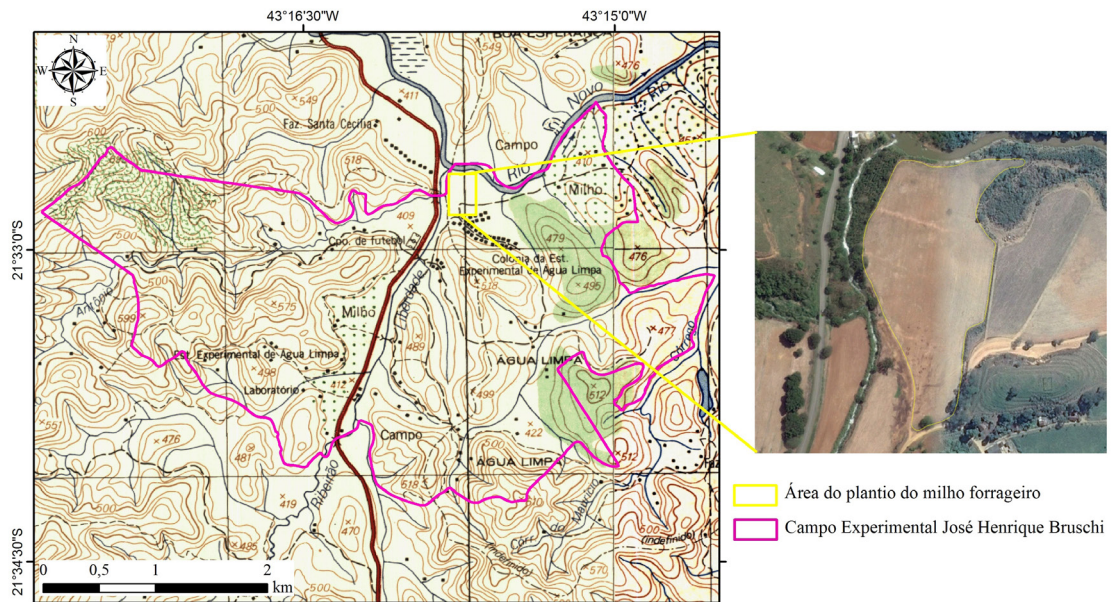


Figura 1 - Localização da área de estudo no Campo Experimental José Henrique Bruschi (CEJHB), Embrapa Gado de Leite, município de Coronel Pacheco, MG.

O plantio do milho foi efetuado em uma área que predomina o Neossolo Flúvico (terraço) distrófico de relevo plano e textura variada. Solos característicos de várzeas colúvio-aluviais. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região é de clima Aw, ou seja, clima tropical com estação seca de inverno. Com base nas normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1981 a 2010, a média anual de temperatura do ar é de 21,4°C e o volume médio de precipitação anual é de 1620,6 mm. Os meses de julho (12,6 mm) e janeiro (355,1 mm) são os de menor e maior precipitação, respectivamente.

Em termos de relevo, o município de Coronel Pacheco, MG, possui 10% de relevo plano, outros 10% considerado como montanhoso e 80% de relevo ondulado. As máximas e mínimas altitudes são de 1.070 m e 409 m, respectivamente. A sede municipal possui altitude de 484 m. A área do plantio do milho possui altitude ao redor da mínima do município (Figura 2). A partir dos dados coletados pela câmera RGB a bordo da plataforma VANT, foram geradas curvas de nível de 2 em 2 metros.

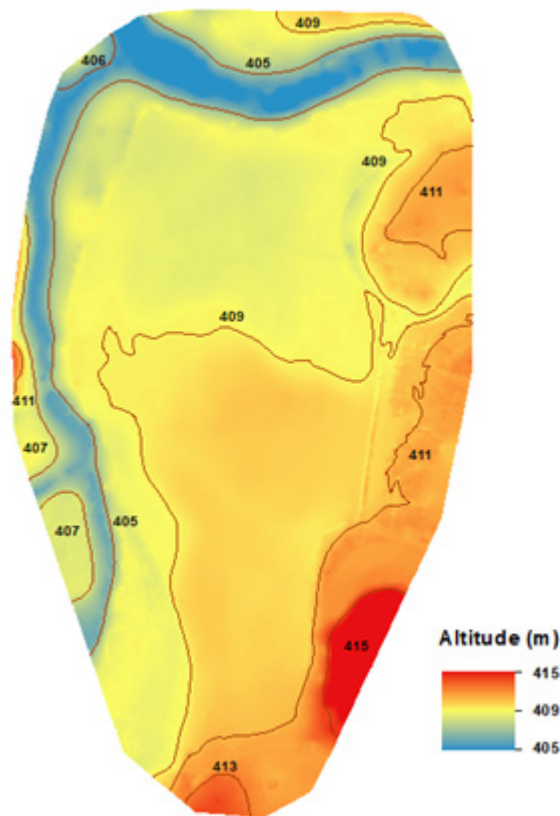


Figura 2 - Visualização das curvas de nível geradas a partir de dados VANT.

3 | PLANTIO DO MILHO, EQUIPAMENTOS E PLANEJAMENTO DOS VOOS

Efetuuou-se a sementeira do milho em 07/04/18, tendo como escolha de plantio o híbrido RB 9308 VTPRO da Riber KWS. Para tanto, definiu-se espaçamento entre linhas de 80 cm e o plantio de 4,6 sementes por metro, com o objetivo de obter o estande de 57,5 mil plantas por hectare, totalizando cerca de 310.000 sementes na área de 5,39 hectares. Os aerolevantamentos foram realizados nos dias 26/04/18 e 24/05/18.

As atividades de aerolevantamento foram executadas por VANT de asas rotativas, tipo quadricóptero, modelo Inspire 1 Pro (Figura 3), que permite o intercâmbio de câmeras com sensores RGB (**R**ed, **G**reen, **B**lue) e multiespectral. Para o imageamento na faixa do visível, utilizou-se de uma câmera RGB modelo DJI Zenmuse X5. Os sensores RGB de alta precisão permitiram avaliar as condições do plantio a partir de procedimentos para mensurações quantitativas da vegetação, como também, nas avaliações qualitativas realizadas por meio de índices de vegetação que operam na faixa visível do espectro eletromagnético.



Figura 3 – Visualização do VANT, modelo Inspire 1 Pro, em voo sobre a cultura do milho. Foto: Marcos La Falce.

Os planos de voo foram realizados sob conformidade técnica padronizada, a fim de que os resultados ou produtos do aerolevante pudessem ser comparados em bases semelhantes, equalizando variáveis como: altura do voo, tamanho do pixel das imagens no solo (*Ground Sample Distance - GSD*), calibração dos sensores, percentual de sobreposição das imagens, velocidade dos ventos, luminosidade, posicionamento das sombras, hora do dia, ângulo de visada, posicionamento do sol, etc.

O plano de voo foi parametrizado da seguinte forma: (i) altura de voo de 90 m; GSD de 2,27 cm; velocidade máxima de 15 m/s, tempo de voo de 9,5 minutos no uso de uma bateria; sobreposição lateral e frontal das imagens de 75% e 85%, respectivamente. Com base nessa configuração de plano de voo, foram necessárias 7 linhas de voo e 146 imagens para cobrir toda a área e, posteriormente, gerar o ortomosaico por meio de processamento no software Pix4D Mapper Pro 4.125.

4 | ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

As análises de vigor do plantio, plantas invasoras, falhas de plantio e produtividade, foram realizadas a partir de índices de vegetação pré-selecionados de acordo com suas características e aplicabilidade que utilizam as bandas **Red-Green-Blue** (RGB) do espectro visível.

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 como capivaras entre outros (Andrade et al., 2019).

No presente estudo, foram usados os índices VARI (*Visible Atmospherically*

Resistant (Gitelson et al., 2002)) e GLI (*Green Leaf Index* (Hunt Jr. et al., 2013)). O VARI foi desenvolvido para levar em consideração a redução de possíveis influências dos constituintes atmosféricos por meio da subtração da banda espectral referente ao canal azul no denominador da equação 1. Já o índice GLI, equação 2, tem sido aplicado na distinção entre vegetação fotossinteticamente ativa e vegetação seca com exposição de solo.





$$VARI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Red} - \rho_{Blue}} \quad (1)$$

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

Em que, P_{Green} , P_{Red} e P_{Blue} são as bandas espectrais referentes aos canais do verde (*Green*), vermelho (*Red*) e azul (*Blue*), respectivamente.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de vegetação revelaram a condição ou estado de saúde das plantas nas datas do imageamento. A seguir são apresentados os resultados do imageamento efetuado com câmeras RGB a bordo de plataforma VANT. Para cada intervalo de classe definidos para os índices de vegetação, foram estimadas a área (ha) e a porcentagem (%) de abrangência em relação à área total do plantio. Conforme Tabela 1 nota-se que o índice VARI apresentou, na maior parte da área (~90%), intervalos de valores negativos. Já o índice GLI teve apenas um intervalo de classe de valores negativos, porém, com abrangência de 1,38 ha ou 25,58% da área total. Estes valores indicam que havia pouca cobertura vegetal ou ampla exposição de solo. No dia 26/04/18 o milho se apresentava com 19 dias após semeadura, ou seja, entre os estádios fenológicos de segunda folha (V2) e quarta folha (V4). As subdivisões V1 a Vn (ultima folha completamente expandida anterior ao pendoamento) são considerados estádios vegetativos. Posteriormente, tem-se os estádios reprodutivos definidos como: pendoamento (R1), grão leitoso (R2), grão pastoso (R3), grão farináceo (R4), grão farináceo duro (R5) e maturação fisiológica (R6). No entanto, no presente estudo monitorou a cultura do milho apenas nos estádios vegetativos iniciais.

Classes	Índices de Vegetação					
	VARI			GLI		
	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)
	0,02 a 0,53	0,08	1,56	0,10 a 0,48	0,04	0,66
	-0,05 a 0,01	0,60	11,09	0,04 a 0,09	0,21	3,84
	-0,09 a -0,06	2,14	39,41	0,02 a 0,03	1,12	20,66
	-0,12 a -0,10	1,96	36,18	0,00 a 0,01	2,67	49,26

	-0,62 a -0,13	0,64	11,75	-0,27 a -0,01	1,38	25,58
--	---------------	------	-------	---------------	------	-------

Tabela 1. Intervalos de classes de índices de vegetação VARI (*Visible Atmospherically Resistant*) e GLI (*Green Leaf Index*) com suas respectivas áreas, em porcentagem, para o aerolevanteamento do dia 26 de abril de 2018

Na Figura 4A tem-se o mosaico de imagens RGB (bandas do visível). Observa-se que predominam áreas com exposição de solo. Visualmente, as linhas de plantio do milho começam a se definir em pequenas áreas nas bordas norte e sul. A região central é a que concentra boa parte dos valores negativos de intervalos de classes dos índices VARI e GLI, representados pelas classes em tons de amarelo, laranja e vermelho no índice VARI (Figura 4B) e laranja e vermelho no índice GLI (Figura 4C). Os índices indicam a heterogeneidade de desenvolvimento da cultura desde os estádios vegetativos iniciais. Neste caso, pode ter sido influenciado pela variabilidade hídrica ou pelos constituintes químicos e físicos do solo. Análises de solos poderão elucidar esta questão.

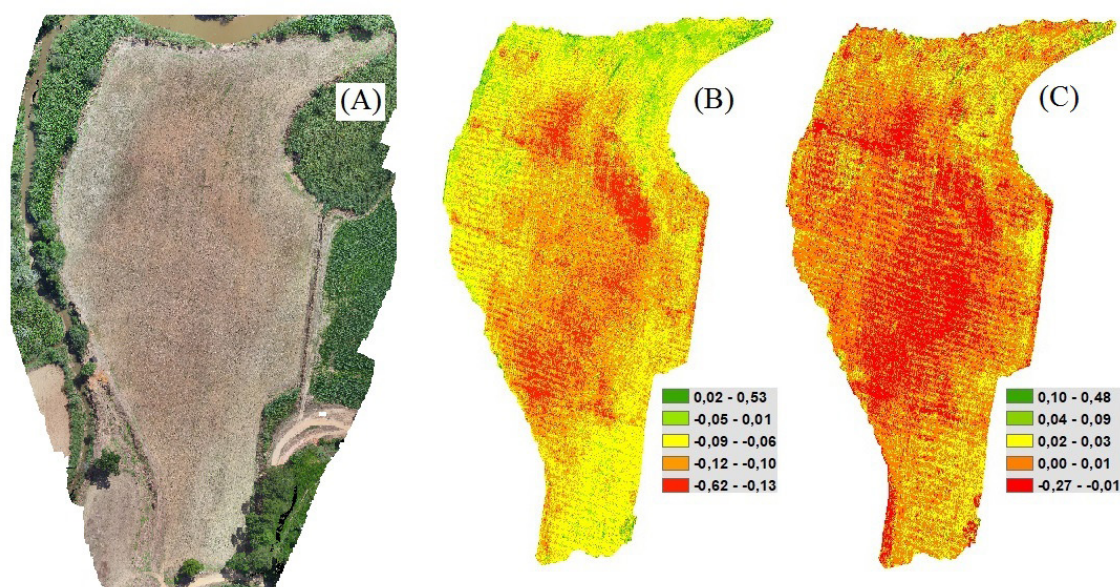


Figura 4 - Imagem mosaico RGB (A) e visualização da abrangência dos intervalos de classes dos índices de vegetação VARI (B) e GLI (C), para o dia 26 de abril de 2018.

Os índices de vegetação podem auxiliar na identificação de áreas do plantio que apresentam desenvolvimento dentro da normalidade ou com alguma deficiência. De acordo com Hunt Jr. et al. (2013), os índices de vegetação possuem fundamental aplicação na extração de informações a partir dos dados de sensoriamento remoto, porém, estes métodos podem reduzir, mas não eliminar, os efeitos dos solos, da topografia e do ângulo de visada.

Para o aerolevanteamento realizado em 24/05/18 verificou-se que os índices de vegetação VARI e GLI apresentaram intervalos de classes positivos em mais de 85% da área de plantio (Tabela 2). Da área total (5,39 ha), apenas 13,13% (0,72 ha) e 14,78% (0,78 ha) foram classificados com intervalos negativos por meio dos índices

VARI e GLI, respectivamente.






Classes	Índices de Vegetação					
	VARI			GLI		
	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)	Intervalo de classes	Área (ha)	Cobertura (%)
	0,24 a 0,60	0,76	13,96	0,20 a 0,50	0,53	9,81
	0,18 a 0,23	1,70	31,14	0,16 a 0,19	1,12	20,50
	0,11 a 0,17	1,31	24,05	0,12 a 0,15	1,53	28,10
	0,02 a 0,10	0,97	17,72	0,07 a 0,11	1,49	27,31
	-0,21 a 0,01	0,72	13,13	-0,06 a 0,06	0,78	14,78

Tabela 2. Intervalos de classes de índices de vegetação VARI (*Visible Atmosphericly Resistant*) e GLI (*Green Leaf Index*) com suas respectivas áreas, em porcentagem, para o aerolevante do dia 24 de maio de 2018

Na Figura 5A pode-se observar que a cultura do milho apresenta o dossel mais desenvolvido (47 dias após semeadura, entre estágio V8 e V9). No entanto, falhas de plantio são visíveis, principalmente na parte central da área. Ao comparar os mapas dos índices VARI (Figura 5B) e GLI (Figura 5C) nota-se que o índice GLI se mostra mais sensível à vegetação verde, neste caso, a formulação do índice pode evidenciar uma possível explicação, devido ao fato da banda espectral do verde ter peso 2 em relação às bandas do azul e vermelho. Assim, os valores positivos de GLI representam características de folhas e caules verdes.

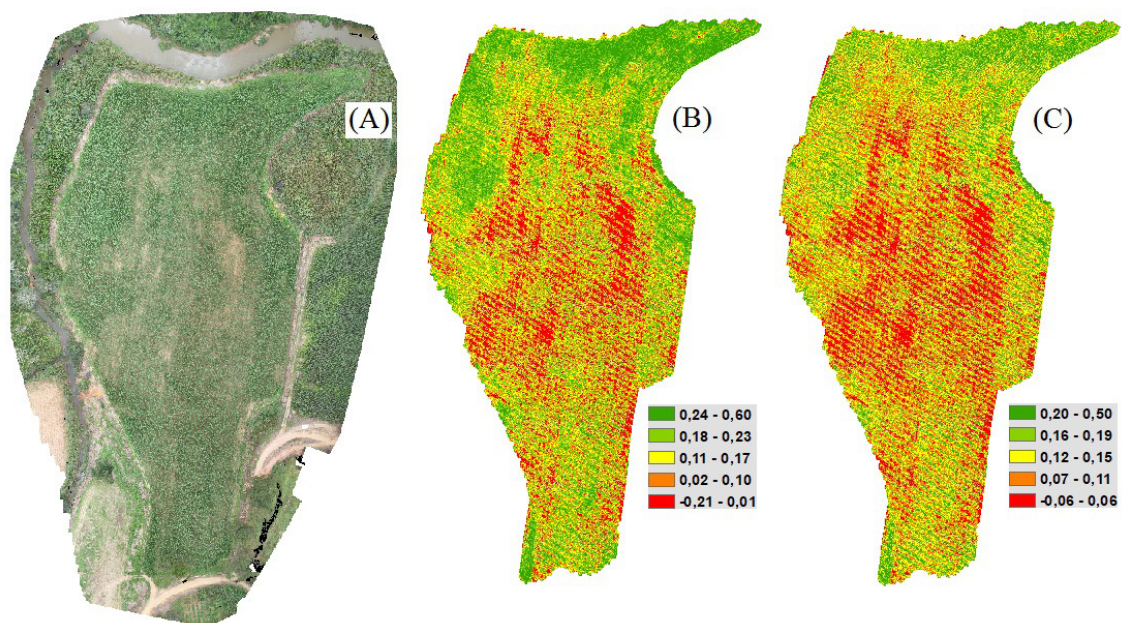


Figura 5 - Imagem mosaico RGB (A) e visualização da abrangência dos intervalos de classes dos índices de vegetação VARI (B) e GLI (C), para o dia 24 de maio de 2018.

6 | CONCLUSÕES

Os índices VARI e GLI apresentaram desempenho semelhantes nos estádios vegetativos iniciais da cultura do milho. Os índices foram sensíveis na discriminação

das classes em intervalos que indicam desde a exposição de solo e baixo vigor (tons de vermelho, laranja e amarelo) até o alto vigor da vegetação (tons de verde). De forma geral, os índices VARI e GLI surgem como potencial alternativa para o monitoramento da lavoura por meio de sensores RGB de baixo custo a bordo de plataformas VANT.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G.; HOTT, M. C.; MAGALHAES JUNIOR, W. C. P. de; OLIVEIRA, P. S. d'; OLIVEIRA, J. S. e. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2019. 20p. (Documentos, 233). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195875/1/DOC-233-Uso-de-VANT-como-plataforma-p-monitoram-da-prod-agropecuaria.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2019.

GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R. E.; GALLEGGO, 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.

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.

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.

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.