ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

Comportamento espectral e detecção de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com estresse hídrico, por meio de drone

Leticia Tondato Arantes¹, Bruno Henrique Tondato Arantes², Pedro Rogerio Giongo³, Guilherme Zavatti Ceccato⁴, Victor Hugo Moraes⁵, Youlia Kamei Saito⁶, Luiz Fernando Gomes⁷, Alan Carlos de Oliveira Castro⁸

¹ Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP, E-mail: leticia.tondato@unesp.br. ² Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto pela UFRGS, E-mail: bhtondatto@gmail.com. ³ Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pela Esalq-USP, E-mail: pedro.giongo@ueg.br. ⁴ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV, E-mail: gzceccato@gmail.com. ⁵ Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo IF Goiano, E-mail: victor.cm1@hotmail.com. ⁶ Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pela UFV, E-mail: youlia.saito@ufv.br. ⁷ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo IF Goiano, E-mail: luizfernandoz4@hotmail.com. ⁸ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo IF Goiano, E-mail: alan.agrosgia@gmail.com.

Artigo recebido em 25/08/2020 e aceito em 20/10/2020

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de laranja e o maior exportador de suco da fruta, o que destaca a importância do estudo e da melhoria do pomar de citrus. Entretanto, em decorrência dos períodos de seca, ocorre déficit hídrico, consequentemente resultando em perdas de produtividade. Desse modo, surgem novas tecnologias e ferramentas que viabilizam o monitoramento e gerenciamento desse tipo de cultura, de forma rápida e menos onerosa. Nesse sentido, esse trabalho objetivou identificar a melhor banda para a detecção de plantas sem estresse hídrico e com estresse hídrico intenso, bem como o melhor índice de vegetação para o mapeamento dessas áreas, incluindo também a possibilidade de mapear estresse hídrico moderado, por meio de imagens de alta resolução espacial obtidas através de um sensor que opera na faixa do visível, embarcado em um veículo aéreo não tripulado. Foram avaliados diferentes índices de vegetação para a identificação e o mapeamento das regiões e/ou plantas de citrus com estresse hídrico, bem como o comportamento espectral destas plantas que apresentaram estresse hídrico intenso e as que não apresentaram, utilizando as bandas RGB do *Phantom 4 Advanced*. Das bandas RGB, a resposta espectral da banda do azul apresentou-se como a melhor na identificação de plantas sem e com estresse hídrico intenso. O uso de índices de vegetação melhorou as análises das imagens de alta resolução espacial, principalmente, no que diz respeito a identificação de regiões do pomar que possuem déficit hídrico. Os índices de vegetação mais eficientes na identificação de plantas com estresse hídrico intenso, moderado e sem estresse hídrico foi o IAF, seguido pelos COM, ExR, ExGR, CIVE e TGI.

Palavras-chaves: Agricultura de precisão, VANT, Sensoriamento Remoto, Índice de Vegetação.

Spectral behavior and detection of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) with water stress, through drone use

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest orange producers and the largest exporter of fruit juice, which highlights the importance of the study and the improvement of the citrus orchard. However, due to drought periods, there is a water deficit, consequently resulting in losses in productivity. In this way, new technologies and tools emerge that enable the monitoring and management of this type of culture, in a quick and less costly way. In this sense, this work aimed to identify the best band for the detection of plants without water stress and with intense water stress, as well as the best vegetation index for the mapping of these areas, including also the possibility of mapping moderate water stress, through high spatial resolution images obtained through a sensor that operates in the visible range, embedded in an unmanned aerial vehicle. Different vegetation indexes were evaluated for the identification and mapping of regions and / or citrus plants with water stress, as well as the spectral behavior of these plants that presented intense water stress and those that did not, using the RGB bands Phantom 4 Advanced. Of the RGB bands, the spectral response of the blue band was the best in identifying plants without and with intense water stress. The use of vegetation indices improved the analysis of high spatial resolution images, mainly with regard to the identification of regions in the orchard that have water deficit. The most efficient vegetation indexes in the identification of plants with intense, moderate water stress and without water stress was the IAF, followed by COM, ExR, ExGR, CIVE and TGI.

Keywords: Precision agriculture, UAV, Remote sensing, Vegetation index.

Arantes, L. T., Arantes, B. H. T., Giongo, P. R., Ceccato, G. Z., Moraes, V. H., Saito, Y.K., Gomes, L. F., Castro, A. C. O.

Introdução

Os citros estão entre as frutas mais produzidas e consumidas no mundo, representando uma parte importante para a economia agrícola brasileira. No cenário mundial, o Brasil se destaca como o principal produtor de suco de laranja, compondo 76% da pauta do comércio internacional (Soares et al., 2015; Osório et al., 2017; Siqueira e Salomão, 2017; Usda, 2017).

No Brasil, as áreas cultivadas estão sujeitas a mudanças agroclimáticas, apresentando em determinadas regiões, precipitações inferiores a requerida, bem como uma distribuição pluviométrica irregular ao longo do ano, resultando em períodos com déficit hídrico, e consequentemente, acarretando estresse hídrico às plantas, o que se torna uma das principais ameaças ao crescimento e produção de culturas em todo o mundo (Brito et al., 2012; Kunert et al., 2016; Vázquez et al., 2017).

Nesse contexto, o maior desafio é atender as crescentes demandas de produtividade, por meio da melhoria dos métodos de gerenciamento de culturas (Behmann et al., 2014) possibilitando a identificação e quantificação das respostas da planta ao estresse hídrico nos estágios iniciais, antes que ocorra danos de rendimento (Römer et al., 2012).

O uso das informações de sensoriamento remoto (SR) baseado em imagens de satélite tem contribuído com muitas pesquisas (Hogan et al., 2017; Arantes et al., 2019), mostrando ser útil e econômico, quando comparado às técnicas de campo, que requerem um maior tempo para a aquisição dessas informações (González-Dugo et al., 2012), alto custo e não levam em consideração a variabilidade espacial-temporal (Li et al., 2010).

O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), tem apresentado uma nova oportunidade e potencialidade em relação as imagens de satélites, justamente por apresentarem uma escala mais refinada, isto é, uma alta resolução espacial e temporal (Ivushkin et al., 2019), para o monitoramento e quantificação de água em diferentes sistemas de cultivos (Hogan et al., 2017; Trigueiros et al., 2017; Hunt e Daughtry, 2018).

É também um método rápido e não destrutivo para o gerenciamento do estresse hídrico em plantas, através da medição da refletância espectral do dossel da cultura (Jones e Vaughan, 2010). Os índices de vegetação derivados de informações espectrais, oferecem um método rápido e eficaz para detectar o status da água das culturas e avaliar a produtividade por meio de técnicas de sensoriamento remoto (Kross et al., 2015; Hatfield e Prueger, 2010).

Atualmente, a maioria dos índices de vegetação são calculados empregando razões ou diferenças normalizadas entre duas ou três bandas (Hunt et al., 2013), entretanto, muitas vezes para a aplicação desses índices se faz necessário uso de sensores mais complexos, com uma melhor resolução espectral, demandando um maior valor aquisitivo, carecendo o desenvolvimento de índices alternativos (Silva et al., 2019).

Os índices de vegetação podem ser caracterizados como modelos matemáticos utilizados na obtenção de informações de forma quantitativa e qualitativa de objetos na superfície, sendo muito utilizados em estudos envolvendo a identificação de estresses da vegetação (Andrade et al., 2019).

Nesse sentido, a inserção de novas ferramentas e tecnologias de baixo custo, possibilitam o monitoramento e identificação de plantas que apresentam problemas em virtude do déficit hídrico, podendo auxiliar o produtor rural no gerenciamento das culturas.

Deste modo, diante da importância econômica da produção de citrinos no Brasil, e da problemática enfrentada decorrente do estresse hídrico, o objetivo deste trabalho foi identificar a melhor banda para a detecção de plantas sem estresse hídrico e com estresse hídrico intenso, bem como o melhor índice de vegetação para o mapeamento dessas áreas, incluindo também a possibilidade de mapear estresse hídrico moderado, por meio de imagens de alta resolução espacial obtidas através de um sensor que opera na faixa do visível, embarcado em um veículo aéreo não tripulado de baixo custo.

Material e métodos

O estudo foi realizado em uma parcela de 9,7 hectares numa propriedade rural constituída por laranjeiras (20° 13' 55" S e 50° 44' 55" O), situada na região Noroeste do Estado de São Paulo, no município de Aspásia. O clima da região, segundo a classificação de Koeppen, é do tipo tropical, caracterizado por apresentar temperatura média maior que 18°C, sendo a época mais seca coincidindo com o inverno (Cepagri, 2016). Já o tipo de solo predominante na região é o do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico, com relevo suave ondulado (Conceição et al., 1998).

Descrição do sistema de aquisição de imagens

A aquisição das imagens de alta resolução espacial foi por meio de um sensor (CMOS 20MB) que opera na faixa da luz do visível (R (vermelha)

G (verde) B (azul)), embarcado em um veículo aéreo não tripulado do modelo *Phantom 4 Advanced*, fabricado pela empresa DJI.

O plano de voo foi definido utilizando o aplicativo *DroneDeploy* e alguns parâmetros foram estabelecidos: altura de voo de 80 m, com GSD de 2,4 cm e sobreposição longitudinal e lateral das imagens de 80% e 70%, respectivamente (Arantes et al., 2018). Os valores definidos para ambas as sobreposições exercem influência na qualidade do produto, de tal modo que os valores definidos para a sobreposição lateral e longitudinal foram determinados de forma que evitassem falhas na captura de dados entre as faixas de voo. Isto possibilita a construção de um bom ortomosaico, visto que podem ocorrer distorções e falhas (buracos) no mapeamento, em função das variações do relevo, das inclinações das imagens capturadas, bem como, da presença de fortes ventos (Arantes et al., 2018; Giongo et al., 2020).

O voo foi realizado em dia de céu claro e sem a presença de nuvens, minimizando possíveis interferências no processamento dos dados. Por fim, os dados obtidos no levantamento foram processa-

dos utilizando o *software pix4d* para geração do ortomosaico, havendo um total de 195 imagens capturadas. No *pix4d* foram inseridos os parâmetros de orientação interior e exterior da câmera, cuja são buscados de forma automática pelo software. Os parâmetros de orientação exterior são referentes ao arquivo de log (coordenadas do centro de cada imagem e inclinações, ω , ϕ , κ), que podem ser encontrados em cada imagem e o de orientação interior os dados de calibração da câmera (Martinez-Rubi et al., 2017; Arantes et al., 2020; Giongo et al., 2020).

O erro médio quadrático obtido na planimetria foi de 2,7 metros, sendo os alvos visitados em campo identificados na imagem com o uso de uma folha branca A4 em um voo preliminar. Não foi utilizado painel de calibração.

Cálculo dos índices de vegetação

Foram utilizados alguns índices de vegetação da faixa do visível, para identificação do estresse hídrico em laranjeiras (Tabela 1).

Tabela 1 – Índices de vegetação aplicados em laranjeiras com imagens RGB por meio de um drone.

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	EQUAÇÃO MATEMÁTICA	INTRODUZIDA POR
Normalized Green Red Difference Index	$NGRDI = \left(\frac{Green - Red}{Green + Red} \right)$	Tucker (1979)
Redness Index	$RI = \left(\frac{Red - Green}{Red + Green} \right)$	Escadafal e Huete (1991)
Excess Green Index	$ExG = 2 \text{ Green} - Red - Blue$	Woebbecke et al. (1995)
Ground Level Image Analysis	$GLI = \left(\frac{(Green - Red) + (Green - Blue)}{(Green + Red + Green + Blue)} \right)$	Louhaichi et al. (2001)
Visible Atmospherically Resistant Index	$VARI_{green} = \left(\frac{Green - Red}{Green + Red - Blue} \right)$	Gitelson et al. (2002)
Excess Red Vegetative Index	$ExR = 1.4 \text{ Red} - Green$	Meyer et al. (1998)
Vegetative	$^{(2)}VEG = \frac{Green}{Red^a \text{ Blue}^{(1-a)}}$	Marchant e Onyango (2002)
Color Index of Vegetation Extraction	$CIVE = 0,441 * Red - 0,811 * Green + 0,385 * Blue + 18,78745$	Kataoka et al. (2003)
Excess Green Minus Excess Red	$ExGR = ExG - ExR$	Camargo-Neto (2004)
Triangular Greenness Index	$^{(1)}TGI = -0,5[(\lambda Red - \lambda Blue)(Red - Green) - (\lambda Red - \lambda Green)(Red - Blue)]$	Hunt et al. (2011)
Combination	$COM = 0,36ExG + 0,47CIVE + 0,17 VEG$	Guerrero et al. (2012)
Visible-band Difference Vegetation Index	$VDVI = \left(\frac{2 * Green - Red - Blue}{2 * Green + Red + Blue} \right)$	Wang et al. (2015)
$IAF_{Miranda(2017)}$	$IAF = -25,838(\sqrt{Red} + Blue^2 - \sqrt{Green}) + 2,354$	Miranda (2017)

⁽¹⁾ TGI = Os valores de λ foram: Azul (B): 450 nm, verde (G): 560 nm, vermelho (R): 650 nm.

⁽²⁾ $a = 0,667$

Fonte: Adaptado de Silva et al (2019).

A partir das imagens obtidas foi determinado qual os melhores índices de vegetação na espacialização dos locais com ocorrência de plantas sem estresse hídrico, com estresse hídrico moderado e intenso de forma georreferenciada. O estresse hídrico moderado pode ser detectado por valores intermediários dos IVs. Para isto, uma padronização foi realizada nos valores dos IVs a fim de permitir uma comparação. Esta padronização foi realizada por meio da equação abaixo, que reescala todos os valores entre o intervalo de 0 a 1. A equação é definida como:

$$f(x) = \left(\left(\frac{x}{255} \right) - \left(\frac{\text{Min}(x)}{255} \right) \right) / \left(\left(\frac{\text{Max}(x)}{255} \right) - \left(\frac{\text{Min}(x)}{255} \right) \right)$$

onde: x é a matriz com os valores de cada índice de vegetação e $f(x)$ uma matriz com os novos valores entre o intervalo 0 e 1.

Dentro da área de estudo, foram selecionadas 12 plantas visitadas em campo, destas 6 foram definidas como estresse hídrico intenso e 6 sem estresse hídrico. Para cada planta uma circunferência de 1,5 m de raio da área do dossel foi definida para obter o valor médio da resposta espectral de cada índice de vegetação para cada planta, sendo eliminada as sombras. Por conseguinte, foi aplicado o teste de hipótese sobre a média das plantas, baseada na estatística de t para verificar se é possível diferenciar áreas com estresse hídrico intenso e sem es-

trese hídrico através de cada um dos índices de vegetação. Para isto, verificou a normalidade para cada grupo aplicando o teste de Shapiro-wilk e a homogeneidade da variância pelo teste de Levene (Morettin e Bussab, 2017). Para o caso, em que, a homogeneidade da variância não foi atendida, considerou-se essa ocorrência no teste de hipótese. Estas análises foram realizadas no *RStudio*.

Cálculo do comportamento espectral

Para o estudo do estresse hídrico, doze laranjeiras foram utilizadas como referência. A seleção das 12 plantas foi feita a campo, pela verificação e identificação de exemplares com e sem estresse hídrico intenso. Ainda para esta verificação, definiu-se como “estresse hídrico intenso”, plantas que estavam desidratadas devido à ausência do funcionamento do sistema de irrigação. Todas as plantas selecionadas foram demarcadas com um papel branco A4.

Para a obtenção do valor médio da resposta espectral de cada planta, foram criadas regiões de interesse (polígonos), considerando uma circunferência de 1,5 m da área no dossel das laranjeiras (área da copa). No entanto, antes de obter o valor médio para cada planta, se fez necessário a eliminação das sombras das folhas, já que ela exerce influência nos valores da resposta espectral. Os pixels utilizados para o cálculo da média da resposta espectral em cada planta apresentam-se na cor verde no exemplo da imagem abaixo e a sombra eliminada na cor vermelha (Figura 1).

Figura 1 – Área de estudo, identificação de plantas selecionadas em campo e exemplificação da circunferência do dossel da planta utilizada para o cálculo do comportamento espectral dos alvos e da média dos índices de vegetação.

Com base no valor médio da resposta espectral de cada banda do dossel para cada planta, realizou-se uma média da curva espectral para todas as plantas com estresse hídrico intenso e sem estresse hídrico, juntamente com o desvio padrão amostral.

Resultados e discussão

É possível observar que a média das laranjeiras com ocorrência de estresse hídrico intenso apresentou uma maior refletância da radiação eletromagnética, do que, em planta sem estresse hídrico, em todas as bandas da faixa do visível, o que

exemplifica uma satisfatória discriminação entre essas duas classes (Figura 2). Percebeu-se ainda uma alteração muito drástica na quantidade de luz que a planta deixa de absorver nesses comprimentos de onda, quando submetido ao estresse hídrico intenso. Observou-se que houve um aumento da reflexão, maior nas bandas do azul e vermelho, quase na mesma proporção que a luz verde. Em geral, as superfícies mais claras e mais secas, tendem a aumentar sua refletância considerando o comportamento espectral de alvos.

Figura 2 – Curva média das plantas de citrus com estresse hídrico intenso e sem estresse hídrico e o desvio padrão da amostra, para as bandas azul (Blue), verde (Green) e vermelho (Red).

A resposta espectral do dossel das plantas com estresse hídrico intenso foi determinada por fatores fisiológicos, anatômicos e geométricos das folhas, sendo as contribuições desses fatores a resposta espectral do dossel, dependente do tipo da cultivar. No algodão, por exemplo, uma interrupção repentina do fluxo de água para as folhas causa um aumento da reflexão da luz do vermelho em detrimento da diminuição da absorção dessa faixa de luz pelos cloroplastos (Jackson e Ezra, 1985).

Tomando a curva média de luz refletida, a banda do azul foi a que apresentou o melhor resultado para a separação entre plantas com estresse hídrico intenso e sem déficit hídrico, seguida pelas bandas do vermelho e do verde. Ainda sobre a Figura 2, observou-se por meio do desvio padrão amostral da reflexão em cada banda analisada, que as plantas apresentam diferenças na reflexão, o que pode estar ligado a fatores fisiológicos, ou submetida a diferentes níveis de estresse hídrico. Portanto,

não apenas a análise das bandas isoladamente, mas o cálculo do índice de vegetação pode facilitar ainda mais na detecção de plantas com essas características.

Com a inserção dos índices de vegetação para que as laranjeiras com estresse hídrico intenso fossem mapeadas a fim de realizar correções no manejo de irrigação do talhão, o índice de vegetação IAF foi o que apresentou a melhor resultado, uma vez que permitiu discriminar e mapear plantas com estresse hídrico intenso e sem estresse hídrico com grande diferença da média entre seus valores (Tabela 2), sendo respectivamente eles, 0.85 e 0.58. Apenas os índices VARI green e GLI apresentaram valores médios dos índices de vegetação sem a possibilidade de discriminação, com um p-valor maior do que 0,05. O VEG não apresentou sobreposição entre seus valores, porém a diferença é pequena, apesar de ser significativo a 5%.

Tabela 2 – Média dos valores dos índices de vegetação para a classe com estresse hídrico intenso e sem estresse hídrico, considerando 6 plantas para cada classe.

Índice de vegetação	Shapiro-wilk	Teste de Levene	Médias	p-valor
IAF – Com estresse hídrico intenso	0.3938	0.2485	0.58	p < 0,05
IAF – Sem estresse hídrico	0.6199		0.85	
COM - Com estresse hídrico intenso	0.2191	0.2814	0.59	p < 0,05
COM - Sem estresse hídrico	0.9707		0.35	
ExR - Com estresse hídrico intenso	0.2967	0.0467	0.51	p < 0,05
ExR - Sem estresse hídrico	0.5684		0.29	
ExGR - Com estresse hídrico intenso	0.2959	0.0453	0.48	p < 0,05
ExGR - Sem estresse hídrico	0.5742		0.70	
CIVE - Com estresse hídrico intenso	0.1813	0.3022	0.55	p < 0,05
CIVE - Sem estresse hídrico	0.9575		0.34	
TGI - Com estresse hídrico intenso	0.5265	0.4758	0.53	p < 0,05
TGI - Sem estresse hídrico	0.6640		0.74	
VDVI - Com estresse hídrico intenso	0.2650	0.0718	0.46	p < 0,05
VDVI - Sem estresse hídrico	0.7745		0.55	
ExG - Com estresse hídrico intenso	0.2699	0.0637	0.32	p < 0,05
ExG - Sem estresse hídrico	0.7489		0.41	
NGRDI - Com estresse hídrico intenso	0.1235	0.0104	0.49	p < 0,05
NGRDI - Sem estresse hídrico	0.5773		0.56	
RI - Com estresse hídrico intenso	0.1235	0.0104	0.51	p < 0,05
RI - Sem estresse hídrico	0.5773		0.44	
VEG - Com estresse hídrico intenso	0.5910	0.0672	0.20	p < 0,05
VEG - Sem estresse hídrico	0.1711		0.18	
VARI green - Com estresse hídrico intenso	0.2917	< 0.0001	0.46	p = 0.15
VARI green - Sem estresse hídrico	0.1712		0.46	
GLI - Com estresse hídrico intenso	0.9917	0.4582	0.32	p = 0.25
GLI - Sem estresse hídrico	0.2670		0.32	

Na Tabela 2, observa-se de cima para baixo os melhores IVs para a discriminação de plantas com estresse hídrico intenso e sem estresse hídrico. Os índices de vegetação COM, ExR, ExGR, CIVE e TGI apresentaram resultado bem próximos, sendo os melhores IVs depois do IAF. Com a eficiência reduzida aproximadamente pela metade, temos o VDVI, ExG, NGRDI e o RI, porém, ainda capaz de discriminar e mapear plantas com e sem estresse hídrico intenso.

O IAF apresentado no mapa da Figura 3, evidencia com uma cor mais clara em seu dossel, as laranjeiras com estresse hídrico intenso, sendo as plantas de referência e visitadas em campo, aquelas circuladas por uma circunferência vermelha. As outras marcada em amarelo, com cor mais escura não apresentavam estresse hídrico (Figura 3). Ainda, por meio desse índice, foi possível identificar plantas com tonalidade intermediária, ou seja, a presença de estresse hídrico moderado.

Figura 3 – Mapeamento de laranjeiras quanto ao nível de estresse hídrico obtido com o índice de vegetação IAF.

Os índices de vegetação COM, ExR, ExGR, CIVE e TGI também apresentam as regiões mais afetadas do talhão em um tom de cinza mais claro, entretanto, variando a tonalidade de um mapa para o outro em função das particularidades de cada índice de vegetação (Figura 4). Ampliando a escala de

zoom do mapa, é possível também identificar visualmente nesses índices de vegetação e no IAF, plantas com estresse hídrico intermediário, em função da tonalidade (da escala numérica do índice).

Figura 4 – Mapeamento de laranjeiras quanto ao nível de estresse hídrico classificados com índices de vegetação de alto desempenho.

No mapa de plantas, produto dos índices, foi possível observar uma concentração de laranjeiras com estresse hídrico intenso na parte central da região oeste e leste do pomar. Ademais, apesar de existir concentração de plantas com e sem estresse hídrico intenso em determinadas regiões, também há indivíduos isolados dentro do pomar, consideradas bem hidratados, em região de plantas com déficit hídrico, pois apresentam valores de índice de vegetação das plantas sem estresse hídrico visitadas em campo. Também há plantas isoladas com déficit hídrico em região de plantas sem déficit hídrico. Esses resultados permitiram confirmar que a avaliação

é planta a planta, em função do seu tom de cinza e valor do índice de vegetação (Figuras 3 e 4).

Os demais índices testados, como os VDVI, ExG, NGRDI e o RI apresentaram menor eficiência para a detecção e separação de plantas quanto ao nível de estresse hídrico. Apesar de identificar tendência as regiões com estresse hídrico intenso na parte central da região oeste e leste do talhão, não é eficiente na detecção de plantas isoladas na área. O mapeamento só se torna eficiente quando analisado numericamente os valores médios dos índices de vegetação no dossel de cada planta. Além disso, dificulta a exibição de laranjeiras com o déficit hídrico moderado (Figura 5).

Figura 5 – Mapeamento de laranjeiras quanto ao nível de estresse hídrico classificados com índices de vegetação de baixo desempenho.

Conclusões

A utilização do sensor na faixa do visível a bordo do *Phantom 4 Advanced* permitiu capturar imagens de alta resolução espacial. Além disso, a aplicação das técnicas de processamento de imagens, como a matemática de bandas espectrais para o cálculo dos índices de vegetação.

Com as imagens de alta resolução espacial foi possível detectar e mapear as plantas com diferentes níveis de estresse hídrico, por meio do uso de índices de vegetação.

A banda do azul, e os índices de vegetação IAF, COM, ExR, ExGR, CIVE e TGI apresentaram um alto desempenho, na detecção e separação de plantas com e sem estresse hídrico intenso, bem como a possibilidade de mapeamentos de estresse hídrico moderado.

Referências

Andrade, R *et al.* 2019. Uso de veículo aéreo não tripulado (vant) no monitoramento dos estádios

- de desenvolvimento da cultura do milho. Engenharia Sanitária e Ambiental, 225-234.
- Arantes, B. H. T. *et al.* 2018. Uso de drones na atualização de área construída de imóveis urbanos. Scientia Plena, 14, 1-6.
- Arantes, B. H. T. *et al.* 2019. Identificação de ferrugem na soja por meio de imagens de alta resolução espacial. Revista Brasileira de Geografia Física. 12. 1003-1016.
- Arantes, B. H. T. *et al.* 2020. Eficiência de distribuição do sistema de irrigação, por meio de um veículo aéreo não tripulado de baixo custo. Brazilian Journal of Development, 6, 20332-20346.
- Badzmirowski, M. J. *et al.* 2019 Using Hyperspectral and Multispectral Indices to Detect Water Stress for an Urban Turfgrass System. Agronomy, 9, 1-15.
- Behmann, J. *et al.* 2014. Detection of early plant stress responses in hyperspectral images. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 93, 98-111.

- Brito, M. E. B. *et al.* 2012. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7, 857-856.
- Camargo-neto, J. A. 2004. Combined Statistical—Soft Computing Approach for Classification and Mapping Weed Species in Minimum Tillage Systems. University of Nebraska.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, 2016. Clima dos Municípios Paulistas. Campinas.
- Conceição, M. A. F. *et al.* 1998. Informações para a irrigação da videira na região de Jales-SP. *Comunicado Técnico*, 1-8.
- Escadafal, R., Huete, A. 1991. Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 312, 1385–1391.
- Meyer, G. E., Neto, J. C. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 282-293.
- Giongo, P. R. *et al.* 2020. Predição de dados agrônômicos em goiabeiras e separação de alvos por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado. *Scientia Plena*, 16, 1-10.
- Gitelson, A.A. *et al.* 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87.
- González-dugo, V. *et al.* 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agriculture and Forest Meteorology*, 154, 156-165.
- Guerrero, J.M. *et al.* 2012. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 39, 11149–11155.
- Hatfield, J. L.; Prueger, J. H. 2010. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. *Remote Sensing*, 2, 562-578.
- Hogan, S. D. *et al.* 2017. Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. *California Agriculture*, 71, 5–14.
- Huete, A. R. A. 1988. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- Hunt, E. R. *et al.* 2005. Walthall Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass. *Precision Agriculture*, 6, 359-378.
- Hunt, E.R. *et al.* 2011. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, 103, 1090–1099.
- Hunt, E. R. *et al.* 2013. Walthall A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103-112.
- Hunt, E. R., Daughtry, C. S. T. 2018. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture. *International Journal Remote Sensing*, 39, 5345–5376.
- Ivushkin, K. *et al.* 2019. UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502-512.
- Jackson, R. D., Ezra, C. E. 1985. Spectral response of cotton to suddenly induced water stress. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 177-185.
- Jones, H. G., Vaughan, R. A. 2010. *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques and Applications*. Oxford University Press Inc.
- Kataoka, T. *et al.* 2003 Crop growth estimation system using machine vision. *IEEE/ASME International Conference On Advanced Intelligent Mechatronics*.
- Kross, A. *et al.* 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation*, 34, 235–248.
- Kunert, K. J. *et al.* 2016. Drought stress responses in soybean roots and nodules. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-7.
- Li, L. *et al.* 2010. Evaluating the Crop Water Stress Index and its correlation with latent heat and CO₂ fluxes over winter wheat and maize in the North China plain. *Agriculture Water Management*, 97, 1146–1155.
- Louhaichi, M. *et al.* 2001. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*, 16, 65–70.
- Marchant, J. A., Onyango, C. M. 2002. Shadow-invariant classification for scenes illuminated by daylight. *Journal of the Optical Society of America*, 17, 1952–1961.
- Meyer, G.E. *et al.* 1998. Machine vision detection parameters for plant species identification, in: Meyer, G.E., Deshaizer, J.A. (Eds.), *Precision Agriculture and Biological Quality*, 3543, 327–335.
- Miranda, R.Q. Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na Caa-tinga. Tese (Doutorado). Recife, UFPE, 2017.

- Osório, R. M. L. *et al.* 2017. Demandas tecnológicas da cadeia produtiva de laranja no Brasil. *Latin American Journal of Business Management*, Taubaté, SP, 8, 40-66.
- Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C. *Citros do Plantio à Colheita*. Editora UFV, 2017, 258.
- Römer, C. *et al.* 2012. Early drought stress detection in cereals: simplex volume maximisation for hyperspectral image analysis. *Functional Plant Biology*, 39, 878-890.
- Rouse, J.W *et al.* Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Final Report. Greenbelt, MD: NASA, 1974, p.371.
- Schowengerdt, R. A. Spectral Transforms. In: Schowengerdt, R. A. (Org.). *Remote Sensing*. 2007, p. 560.
- Silva, J. *et al.* 2019. Remote Sensing vegetation index for processing images in the visible band (RGB). *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 228-239.
- Soares, L. A. A. *et al.* 2015. Crescimento de combinações copa - porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, PB, 19, 211-217..
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environment*, 8, 127-150.
- Trigueiros, C. R. *et al.* 2017. Effects of saline reclaimed waters and deficit irrigation on Citrus physiology assessed by UAV remote sensing. *Agricultural Water Management*, 183, 60-69.
- USDA, United States Department of Agriculture. 2017. *Agricultural Statistics*. Washington.
- Vázquez, M. N. *et al.* (2017). Estres hídrico y salino en cítricos. Estrategias para la reducción de daños/water and saline stress on citrus. *Strategies for reducing plant damages. Cultivos Tropicales*, 38, 65-74.
- Wang, X. *et al.* 2015 Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31, 152–159.
- Woebbecke, D.M. *et al.* 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. *Transactions of the ASAE* 38, 259–269.