

CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (IVS) E A RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO (RSP) APÓS SAFRA DE TRIGO

LEITZKE, Leonardo Elvenios Sbaraini¹

ROSA, Helton Aparecido²

PRADO, Nilson Gabriel³

RODRIGUÊS, Daniel Willian³

RESUMO

Na busca de mais informações sobre a melhora dos cultivos e obtenção de resultados mais eficientes, aproximou o produtor rural ao uso de novas tecnologias. O sensoriamento remoto envolve o uso de fontes de imagens como de satélites, aviões ou drones. O objetivo do trabalho é analisar a correlação de índices de vegetação obtidos com imagens de satélite, com resistência do solo à penetração (RSP) na cultura do trigo (*Triticum spp*). A pesquisa foi realizada na Fazenda Escola do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, localizada no município de Cascavel - PR, durante o ciclo da cultura do trigo semeado em meados do mês de maio de 2021. Após a colheita do trigo foram avaliados os pontos de RSP, elaborando um grid com 17 pontos amostrais com espaçamento de 90x90 m, com três perfurações por ponto, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. As imagens orbitais foram obtidas com a utilização do sensor MSI instalado no satélite Sentinel-2. No software QGIS foi realizado o cálculo dos índices de vegetação (IV), NDVI e GNDVI, em diferentes datas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do trigo. Também no software, realizou-se a interpolação dos dados de RSP para geração dos mapas temáticos nas 3 profundidades utilizando o interpolador IDW. Após a obtenção dos dados realizou-se correlação linear de Pearson (r), entre os IVs. A camada 10-20 cm foi a que apresentou maiores valores de RSP para toda área do estudo. O índice GNDVI, analisado em 04/07, foi o que apresentou maior valor de correlação com a RSP, classificada como moderada (0-10 cm), e fraca (10-20 cm).

PALAVRAS-CHAVE: NDVI; *Triticum spp*; geoprocessamento.

1. INTRODUÇÃO

Na busca de mais informações sobre a melhora dos cultivos e obtenção de resultados mais eficientes, tem aproximado o produtor rural ao uso de novas tecnologias, o sensoriamento remoto que envolve o uso captura de fontes de imagens como de satélites, aviões ou drones é uma dessas tecnologias.

Como um conceito de gestão agrícola, a agricultura de precisão (AP), é uma prática essencial, considerando as diferentes atividades que podem ser realizadas em uma lavoura, permitindo uma utilização mais racional dos insumos como água, pesticidas, fertilizantes, energia, herbicidas, com maior qualidade e aumento da produtividade (EZENNE *et al.*, 2019). Na década de 1960 nos Estados Unidos, teve início o desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto orbital.

O objetivo era auxiliar a pesquisa científica aplicada à agricultura, floresta, geologia e água (MARINO JUNIOR, 2006).

¹Engenheiro Agrônomo, Egresso do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

²Engenheiro Agrícola, Professor Doutor, Docente do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

³Acadêmicos do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

Com o objetivo de capturar informações espaciais, foi desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), o programa LANDSAT. Com dois tipos de sensores a bordo: o RBV (Return Beam Vidicon), para aplicações cartográficas e o MSS (Multispectral Scanner Subsystem) para análises espectrais de feições terrestres operaram nas plataformas LANDSAT 1, 2 e 3 (JENSEN, 2009).

Em 2012, uma missão do Programa Global Monitoring for Environment and Security (GMES) com administração conjunta entre a Comunidade Europeia e a ESA, lançam em 2014, pares de satélites especializados chamados de Sentinel 2A e 2B para observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e umidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica (EMBRAPA TERRITORIAL, 2021). Este satélite realiza a coleta de dados com uma resolução espacial de 10 m, resolução radiométrica de 12 bits por pixel e acrescido de 13 bandas espectrais, sendo 4 bandas no espectro visível, no infravermelho: 6 bandas no “red edge” e infravermelho de ondas curtas e 3 bandas para correção atmosférica (FEIO, 2017).

Sem ter o contato físico entre o sensor e o alvo, as imagens geradas pelos satélites proporcionam uma melhor visão da área, através do espectro eletromagnético, possibilitando desse modo um aproveitamento melhor do contexto espacial para medir os impactos naturais, como a vegetação (GAMEIRO *et al.*, 2016).

Nos diferentes sensores aplicados no sensoriamento remoto, pode-se obter informações, como índices de vegetação (IV) (LADEIRA, 2020). Os IV, são medidas radiométricas adimensionais, criados para distinguir as informações espectrais da vegetação em relação as demais superfícies da Terra (OLIVEIRA *et al.*, 2009) e indicar a quantidade e qualidade da vegetação em uma área imageada (JENSEN, 2009).

Para Castro, Sartori e Moraes (2017) e Castro *et al.* (2018), a partir das imagens, pode-se extrair os valores das grades de amostragens nos pixels e realizar a correlação dos valores dos IV com os parâmetros de solo coletados em campo.

O Índice de vegetação da diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), é um dos IV mais empregados na agricultura, utilizado para analisar a cobertura vegetal através do sensoriamento remoto corrigindo os efeitos de sombras oriundas da elevação topográfica sobre a imagem, além de fornecer um diagnóstico detalhado da fitomassa fotossinteticamente ativa (SOUZA, GONZALEZ e TEIXEIRA FILHO, 2019).

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Green Normalized Difference Vegetation – GNDVI), é o índice mais sensível à variação da clorofila e é utilizado quando o desenvolvimento da

planta está mais avançado, faz a saturação mais tarde que o NDVI e determina a absorção da água e nitrogênio da planta (MELLO *et al.*, 2020). O GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation) é um IV utilizado para determinar a absorção de água e nitrogênio no dossel da cultura. O GNDVI é mais sensível à variação da clorofila na cultura do que o índice NDVI e apresenta maior ponto de saturação, podendo ser utilizado em estágios mais avançados de desenvolvimento, enquanto o NDVI é adequado para estimar o vigor da cultura nos estágios iniciais (AURAVANT, 2021).

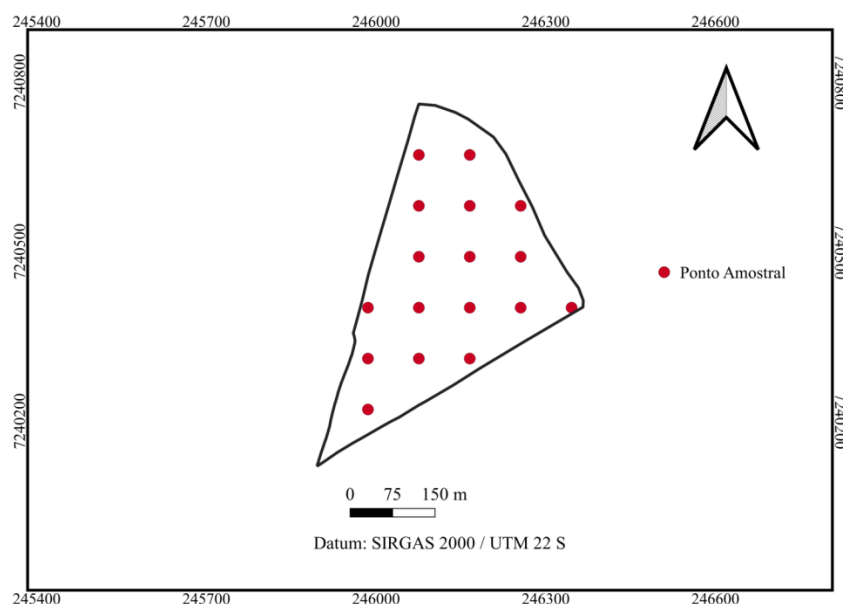
A Resistência do Solo a Penetração (RSP), limita o tamanho e o crescimento do sistema radicular, dificultando também a produtividade das culturas (CARVALHO *et al.*, 2012). A RSP é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade que este oferece à penetração das raízes. Por isso, sua quantificação representa um importante indicativo da dinâmica de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Diante disso, o trabalho teve como objetivo analisar a correlação de dois IV obtidos através de imagens de satélite, com a RSP em diferentes camadas de solo na cultura do trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Fazenda Escola, CEDETEC no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, localizada no município de Cascavel -PR. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (SANTOS *et al.*, 2018). A área do experimento tem 14 ha, e estava coberta com a cultura do trigo (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização e GRID amostral da área do estudo.



Durante o ciclo da cultura do trigo, semeado no mês de Junho de 2021, fez-se uso de imagens do satélite Sentinel-2, durante o ciclo da cultura, disponibilizadas através da plataforma Landviewer. Com as imagens de diferentes bandas (Tabela 1), calculou-se com auxílio do software QGIS, os índices NDVI (Equação 1), GNDVI (Equação 2).

Tabela 1 – Faixas espectrais Sentinel-2 utilizadas

Resolução	Número da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nm)
10 m	B03	Verde	560
10 m	B04	Vermelho	665
10 m	B08	Infravermelho Próximo	842

Fonte: ENGESAT, 2021.

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)} \quad \text{Equação (1)}$$

$$GNDVI = \frac{(B08 - B03)}{(B08 + B03)} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

B03: refletância do comprimento de onda Verde.

B04: refletância do comprimento de onda Vermelho.

B08: refletância do comprimento de onda Infravermelho próximo.

Após a colheita da cultura do trigo, analisou-se a RSP, utilizando-se o penetrômetro de solo digital (Penetrologger) versão 6.08, e foi elaborado um grid amostral com espaçamentos de 90x90 cm, com três perfurações por ponto, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, calculando-se a média dessas três perfurações. Posteriormente, foram coletadas cinco amostras de solo aleatoriamente nas mesmas camadas utilizadas na RSP para que seja feita a amostragem de solo e avaliada a correlação entre a RSP e o índice de vegetação na cultura do trigo.

Após essa etapa, realizou-se a interpolação dos dados de RSP, com o auxílio do interpolador Inverse Distance Weighted (IDW) do software QGIS, para a geração de mapas de RSP nas diferentes camadas. Com os dados de RSP e NDVI, serão realizadas as análises de estatística descritiva. Para desenvolver os cálculos de correlação entre as variáveis, por meio do cálculo da correlação de Pearson (r), utilizando o software Excel. Ela indica a relação entre duas variáveis lineares, cujos valores

variam de -1 a 0, que indicam correlação inversa negativa e de 0 a +1, indicando correlação direta e positiva.

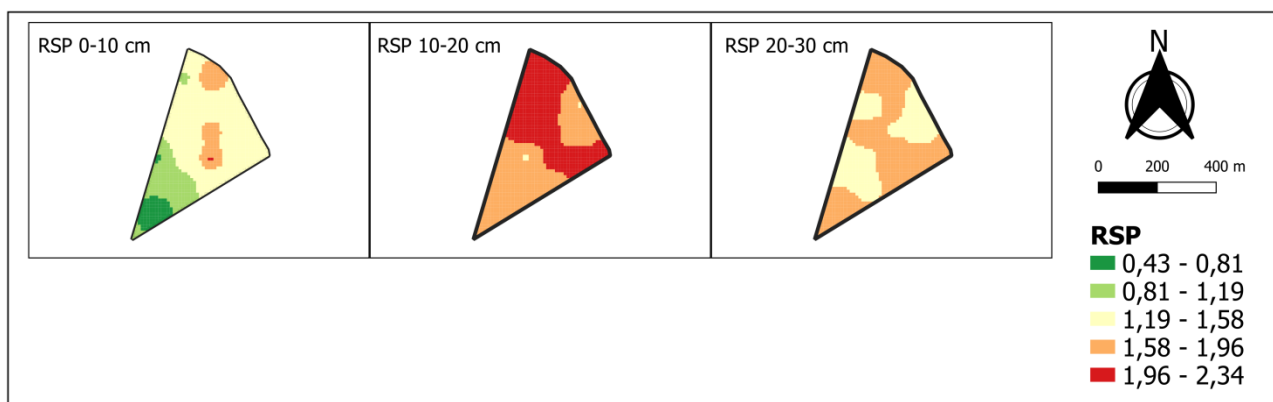
Para avaliar as correlações utilizou-se a classificação de Callegari-Jacques (2003), onde o r pode ser avaliado qualitativamente pelos seguintes intervalos:

- $0,9 \leq |r| \leq 1,0$ significam correlação muito forte;
- $0,7 \leq |r| < 0,9$ representam correlação forte;
- $0,4 \leq |r| < 0,7$ representam correlação moderada;
- $0,2 \leq |r| < 0,4$ significam correlação fraca;
- $0,0 \leq |r| < 0,2$ representam correlação muito fraca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os mapas da RSP (Figura 2), é possível observar que foi a camada de 0-10 cm foi a que apresentou os menores valores de RSP, variando de 0,40 a 1,57 MPa. Em contrapartida a camada 10-20 cm, foi a que apresentou maiores valores de RSP (1,58 a 2,34 MPa), enquanto a última camada analisa (20-30 cm), os valores foram já reduziram a se comparar a camada anterior, com RSP entre 1,58 a 1,96 MPa. Rosa *et al.* (2012), estudando diferentes tempos de adoção de Sistema Plantio Direto (SPD), constataram que na camada de 0,10-0,20 também ocorreram os maiores valores de RSP entre todos os períodos de implantação

Figura 2 – Mapa temático da RSP nas diferentes camadas de solo.

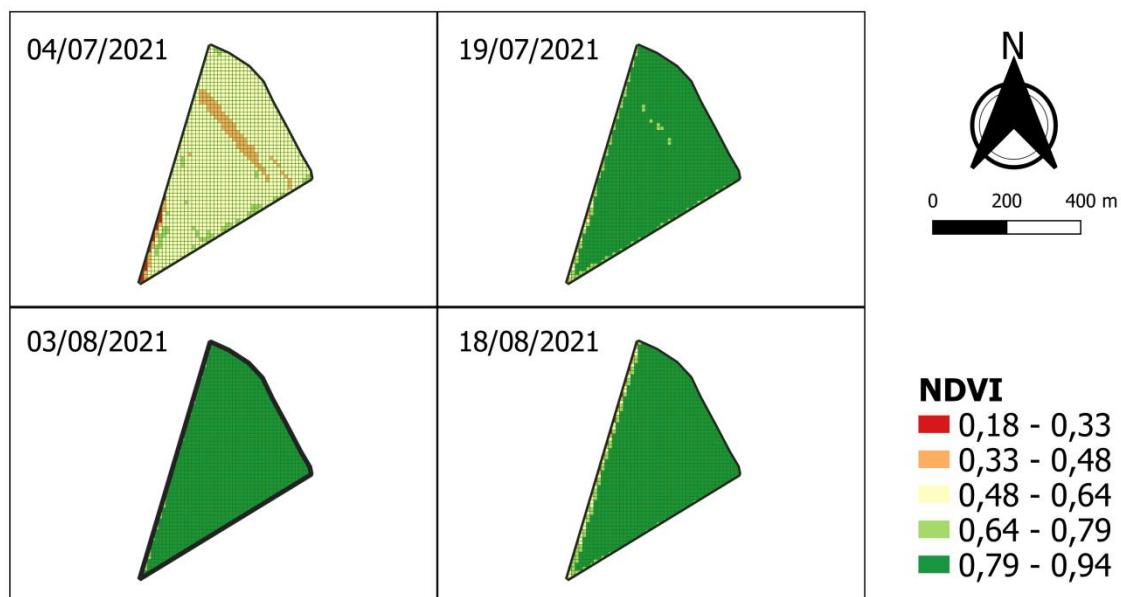


Umidade gravimétrica média do solo no dia da coleta = 28% (peso)

Alves *et al.* (2019), concluíram em seu trabalho sobre variabilidade espacial da RSP em solo argiloso sob pastagem degradada, que a camada que apresentou os maiores valores de RSP foi a de 10-20 cm, colaborando com os valores encontrados no presente estudo. Segundo Secco *et al.* (2009), em Latossolo cultivado sob sistema plantio direto, a maior RSP não foi na primeira camada de solo (0-10 cm). Essa camada acaba sendo mobilizada pelos mecanismos sulcadores das semeadoras-adubadoras, responsáveis por abrir o sulco, mobilizar o solo e depositar o adubo em profundidade (BONATO, 2019).

Nos mapas de NDVI (Figura 3), verifica-se que ao longo das quatro datas, os maiores valores encontrados foram em 03/08, com toda área do mapa na faixa entre 0,79 à 0,94. As demais datas apresentaram também valores elevados, exceto a primeira (04/07), onde maior parte do mapa estava com NDVI entre 0,48 e 0,64, demonstrando que nesse momento a cultura possivelmente ainda estava em fase de desenvolvimento vegetativo. As outras duas datas apresentaram menores valores, tendo em vista que uma era no início do ciclo e outra, próximo da data de colheita.

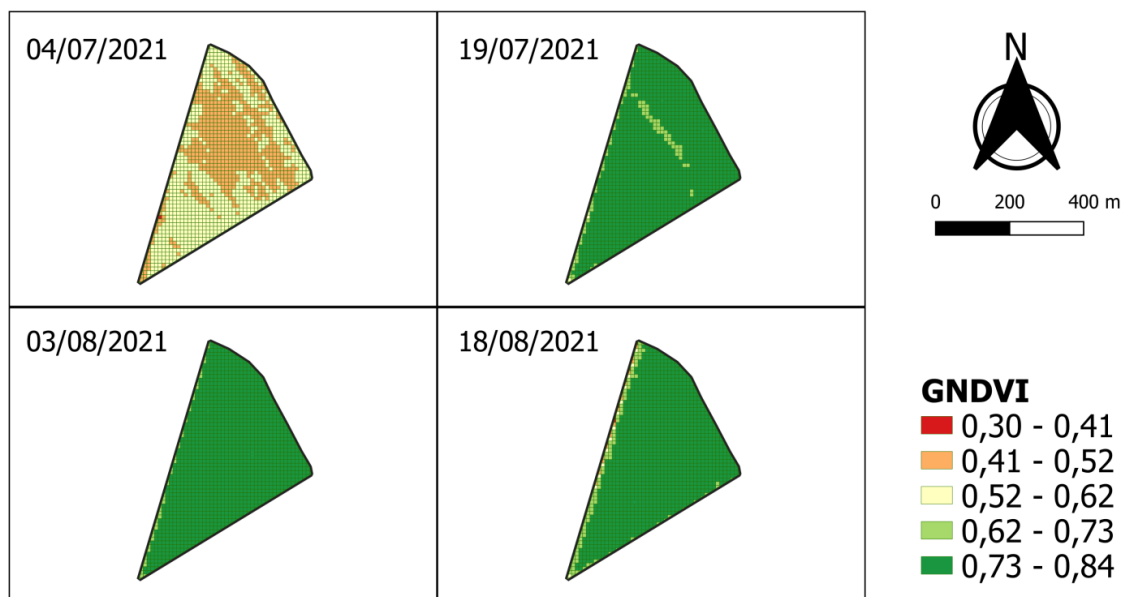
Figura 3 - Mapas de NDVI em diferentes datas durante o ciclo da cultura do trigo.



Os resultados do NDVI podem variar de -1 a 1, sendo que os resultados mais próximos de 1 representam áreas com maiores quantidades de vegetação com a fotossíntese mais ativa, enquanto os valores mais próximos de 0 ou negativos indicam a não existência de atividade vegetativa (ROSA, 2021). Portanto, em 03/08 a vegetação na área apresentava maior vigor, possivelmente próximo do seu pico vegetativo.

Para os mapas de GNDVI (Figura 4), os maiores valores foram encontrados também principalmente em 03/08, com maior parte do mapa com valores entre 0,73 e 0,84. Em 18/08, o índice apresentou valores entre 0,63 e 0,85. Os menores valores também foram para data 04/08, com faixas de GNDVI entre 0,41 e 0,62 em maior parte da área.

Figura 4 - Mapas de GNDVI em diferentes datas durante o ciclo da cultura do trigo.



Ao analisar a Tabela 2, verifica-se que a maior correlação, foi encontrada entre o GNDVI (04/07) e a RSP na camada 0-10cm, com valor de -0,41(classificada como moderada), indicando que a correlação foi inversa, indicando que em vários pontos da área, locais que apresentaram maiores valores de IV para essa data, apresentaram menores valores de RSP. A segunda maior, também foi para o GNDVI, na camada de 10-20 cm na mesma data, com valor de -0,33 (classificada como fraca).

Tabela 2 – Correlação de Pearson (r) entre os IVs e a RSP nas diferentes camadas de solo.

	RSP 0-10 cm	RSP 10-20 cm	RSP 20-30 cm
NDVI 04/07	-0,28	-0,29	0,00
NDVI 19/07	0,01	-0,11	-0,05
NDVI 03/08	0,16	-0,01	-0,03
NDVI 18/08	0,25	-0,01	0,00
GNDVI 04/07	-0,41	-0,33	0,02
GNDVI 19/07	-0,17	-0,22	-0,01
GNDVI 03/08	0,00	-0,09	0,04
GNDVI 18/08	0,26	-0,01	0,00

Para o NDVI, os maiores valores também foram em 04/07, com correlações classificadas como fracas, -0,28 e -0,29, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm respectivamente.

5. CONCLUSÕES

A camada 10-20 cm foi a que apresentou maiores valores de RSP para toda área do estudo.

O índice GNDVI, analisado em 04/07, foi o que apresentou maior valor de correlação com a RSP, classificada como moderada (0-10 cm), e fraca (10-20 cm).

REFERÊNCIAS

ALVES, E.; SANTOS, A.B.S.; MEDEIROS, L.C.L.; ALBERTO, D.; GOMES, M.D.A.; SANTOS, M.A.L.; GOMES, C. Variabilidade espacial da resistência a penetração em solo argiloso sob pastagem degradada. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26570-26577, 2019.

AURAVANT. **Índices de vegetação e sua interpretação**. [2021]. Disponível em: <https://www.auravant.com/pt/blog/agricultura-de-precisao/indices-de-vegetacao-e-sua-interpretacao/#como-usar>. Acesso em: 23 nov. 2021.

BONATO, G.P. **Eficiência da semeadura de soja com distribuição simultânea ou antecipada de adubo**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CARVALHO, J.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; RODRIGUES, E. C. P. Avaliação da resistência do solo sob dois sistemas de manejo: plantio direto e convencional. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v.22, n.2, p. 1-11, 2012.

CASTRO, B.O.S.; SARTORI, A.A.C.; MORAES, D.A.C. Índices de vegetação (IV's) correlacionados com parâmetros do solo em área de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 2017.

CASTRO, B.O.S.; SARTORI, A.A.C.; SOUZA, F.L.P.; BENITES, L.A. Correlação espacial dos índices de vegetação (NDVI, NDWI E EVI) de imagem LANDSAT-8 com atributos do solo. In: TULLIO, L. (Org.) **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2** [recurso eletrônico]. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. p. 105-116.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Sentinel: missão sentinela**. Campinas, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>.

ENGESAT. **Sentinel-2**. 2021. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 04 set. 2021.

EZENNE, G.I.; JUPP, L.; MANTEL, S.K.; TANNER, J.L. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 158-164, 2019.

FEIO, S.V.M. **Análise multitemporal de imagens do satélite Sentinel-2 como suporte à elegibilidade das ajudas comunitárias agrícolas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

GAMEIRO, S. TEIXEIRA, C.P.B.; SILVA NETO, T.A.; LOPES, M.F.L.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; ZIMBACK, C.R.L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva de recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LADEIRA, C.A. **Uso de sensores ativos e passivos na estimativa de teores de nitrogênio e do desenvolvimento fitotécnico e produtivo do cafeeiro**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2020.

MARINO JUNIOR, E. O uso do sensoriamento remoto orbital na pesquisa socioeconômica. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 5, n. 10, p. 1-9, dez. 2006.

MELLO, D.C.M.; Medeiros Neto, L.G.; Lana, M.G.; Fiorino, P. Uso e ocupação do solo: comparação de índices NDVI e GNDVI e inferências sobre biomassa de dossel vegetal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2020.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223p.

ROSA, H.A. **Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2021. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, J. S.; SILVA, C. A.V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais**, Natal: INPE, abril, p. 2865-2872, 2009.

ROSA, H.A.; VELOSO, G.; SECCO, D.; RUFFATO, G.G.; MARCONDES, L.C.; SANTOS, R.F. Efeitos do tempo de adoção do sistema plantio direto em atributos físicos de um Latossolo argiloso. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 165-174, 2012

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SECCO, D., REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOUZA, D.F.; GONZALEZ, G.D.D.; TEIXEIRA FILHO, J. Variação temporal do Índice De Vegetação Normalizada como ferramenta de identificação dos açudes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cabras. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 17, n. 1, p. 222-239, 2019.

THORSTENSEN, V.; MOTA, C.R.; THOMAZELLA, F. **OCDE e a nova demanda da agricultura: produtividade e políticas agrícolas sustentáveis**. São Paulo: FGV, 2019. (Working Paper 510 – CCGI n. 16).