



ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO CORRELACIONADAS COM ÍNDICES VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE NA CULTURA DA SOJA

MONTANARO, Vinicius¹
ROSA, Helton Aparecido²

RESUMO

Através de imagens de satélites, consegue-se detectar as diferentes coberturas do solo, identificando áreas cultivadas e também gerar índices de vegetação (IV), que são indicativos da saúde da vegetação e podem ser correlacionados com atributos coletados no solo ou planta. O objetivo do trabalho foi correlacionar o índice de vegetação NDVI, com índice de clorofila, RSP e a produtividade da soja. O experimento foi conduzido em uma propriedade localizada no município de Mamborê- PR. Foi gerado um grid amostral de 1 ponto por hectare, totalizando 22 pontos amostrais. A semeadura foi realizada no dia 30 de setembro de 2021, utilizando a cultivar NEO 610 IPRO. Com auxílio do software QGIS, gerou-se mapas de índice de vegetação (IV), resistência do solo à penetração (RSP) e produtividade da cultura da soja. Posteriormente realizou-se correlação linear de Pearson entre os dados. Na correlação da produtividade e NDVI, os melhores resultados foram com 117 DAS (0,60), e 107 DAS (0,53), ambas classificadas como moderadas. No geral as correlações entre clorofila A e NDVI apresentavam valores baixos, com maior valor para 0,46, com NDVI a 117 DAS. As correlações entre produtividade e RSP para todas as profundidades apresentaram valores negativos (entre -0,45 e -0,53), classificadas como moderadas.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; compactação do solo; sensoriamento remoto.

1. INTRODUÇÃO

Através de imagens de satélites, detecta-se locais que estão cobertos de vegetação e também gera-se índices, que corresponde a o sistema espectral das plantas ou seja com atividades vegetativas, com isso é possível obter correlações diversas.

A compactação do solo pode ser avaliada por vários atributos do solo, dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a resistência do solo a penetração (RSP). Pois a densidade do solo é considerada o atributo físico mais comum em avaliação de compactação de solos em experimentos sobre plantio direto e preparo convencional de solo (CARVALHO *et al.*, 2012).

As imagens via satélite permitem que sem contato físico, tenha-se informações de objetos terrestres feito por uma energia emitida através de sensores remotos, que transformam em um sinal registrado e com isso gerando imagens para obter informações contidas nos objetos, e também assim conseguindo visualizar imagens do espectro eletromagnético, onde a olho nu não se consegue enxergar, com isso aumentando o campo sensorial, e tornando possível a visualização de pequenas e grandes cores nos objetos (GAMEIRO *et al.*, 2017), com isso essas imagens são propícias para calcular os IV.

¹ Acadêmico do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

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



Segundo Marcussi *et al.* (2010), os índices de vegetação (IV) são padrões matemáticos possíveis de avaliar a cobertura vegetal, podendo indicar o índice de biomassa, área foliar, atividades fotossintéticas, porcentagem de cobertura de solos, sendo assim muito utilizado para monitorar mudanças na vegetação em grande escala em todo o globo terrestre.

Com o uso dos IVs na agricultura, pode-se estimar a produção, deficiência de nutrientes, presença de patógenos, estresse hídrico. Também é possível indicar o crescimento e vigor da vegetação, diagnosticar vários parâmetros biofísicos, incluindo o índice de área foliar (IAF), biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, com os quais têm apresentado elevados graus de correlação (Ponzoni; Shimabukuro, 2009).

De acordo com Antuniassi; Baio; Sharp (2007), existe correlação positiva entre a refletância das plantas, expressa em valores de NDVI, e a produtividade das cultura da soja.

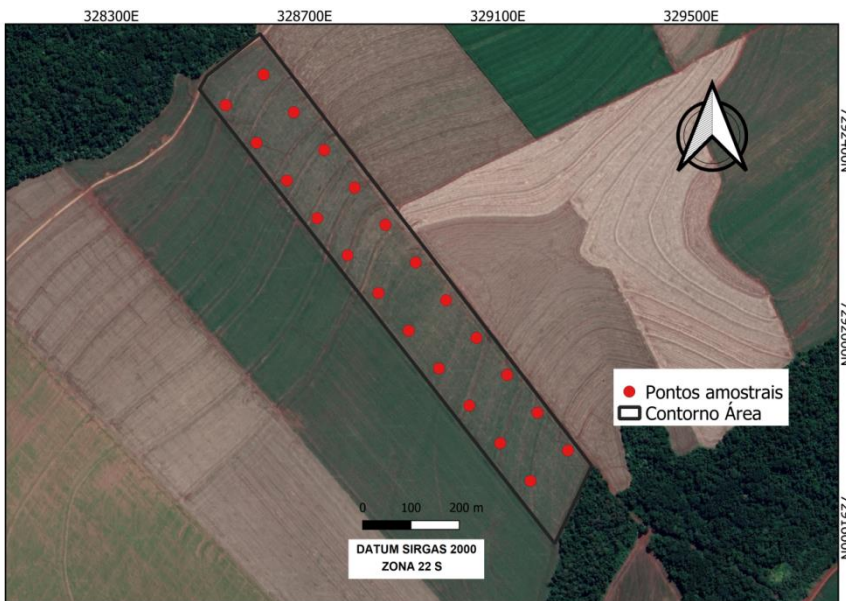
A cultura da soja é de grande importância, sendo uma das principais commodities de exportação do Brasil, na safra 2021/22 houve um crescimento de 4,3% da área de soja cultivada em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Na safra 2021/22, o Brasil produziu 123.829,5 milhões de toneladas de soja, com medias produtivas de 3.026 kg ha⁻¹, somente no estado do Paraná, foram 19,872 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Sendo uma cultura de muita importância para o país, agregando valor a economia pois além de seus valores comerciais de exportação também tem grande participação na cadeia alimentar de animais como bovinos, suínos e aves.

O objetivo deste experimento foi correlacionar o índice de vegetação NDVI, com índice de clorofila, RSP e a produtividade da soja.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma propriedade localizada no município de Mamborê- PR (24°28' 26.41" S – 52°41' 18.61" O), altitude de 600 metros, o clima predominante no local é temperado (IBGE 2002). O solo do local do experimento é classificado como Latossolo vermelho (BHERING; SANTOS, 2008). A área de estudo possui 19,36 hectares de extensão (Figura 1). O experimento se desenvolveu entre os dias 20 de setembro de 2021 e 20 de fevereiro de 2022, abrangendo todo o ciclo da cultura da soja. Elaborou-se um grid Regular de 100x100 m (Figura 1), totalizando 22 pontos amostrais, onde foram realizadas as análises.

Figura 1 - Localização da área experimental.



A cultura da soja foi cultivada na área com fins comerciais, a cultivar a ser utilizada é a NEO 610 IPRO, a adubação da cultura foi dividido em duas etapas foi feito adubação no pré plantio utilizando 200 kg do formulado de NPK 02 23 23, após isso foi feito adubação no sulco de plantio com 500 kg do mesmo formulado de NPK, em relação a controle de pragas e doenças foi feito conforme necessário.

Análise do índice de clorofila na cultura da soja, com 115 DAS. A segunda análise foi com 137 DAS. Para isso, utilizou-se um medidor de Clorofila, Clorofilog Falker CFL 1030. A resistência do solo a penetração, foi avaliada em 3 profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, utilizando um penetrômetro de solo digital (Penetrologger) versão 6.08.

Para obter dados de produtividade foram colhidos 2,7 m², em torno de cada ponto do grid, que posteriormente foram pesados e corrigidos para 13% de umidade e convertidos para kg/ha.

Utilizando plugin *Smart-Map* do software QGIS®, foram gerados o mapas temáticos de produtividade, clorofila e resistência do solo a penetração, pelo método de Krigagem ordinária.

Para gerar o NDVI, foram capturadas cenas da área do experimento utilizando o satélite Sentinel-2, o mesmo tem uma resolução espectral e espacial ampliada que consiste em 13 bandas espectrais (FEIO, 2017). Os índices foram gerados no programa QGIS, para realizar o cálculo do NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), utilizando a (equação 1). Para gerar os índices foram utilizadas cenas de satélite (Sentinel - 2) correspondentes aos 32 DAS, 52 DAS, 62 DAS, 107 DAS, 117 DAS e 132 DAS, as cenas são disponibilizadas pelo *Earth Observing System*.



$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (\text{Equação 1})$$

No qual:

NIR = reflectância no comprimento de onda infravermelho próximo (nm);

RED = reflectância no comprimento de onda vermelho (nm);

Na Tabela 1, encontra-se as bandas do satélite Sentinel - 2, utilizadas no experimento.

Tabela 1 - Faixas espectrais Sentinel-2 utilizadas no experimento.

Bandas	Comprimentos de onda central (nm)	Resolução espacial (m)
B04 (Vermelho)	665	10
B08 (IV Próximo)	842	10

Para determinar as correlações existentes entre as variáveis do solo, índices de vegetação e a produtividade da cultura da soja, realizou-se a análise de correlação linear de Pearson (POTRICH, 2012). A correlação linear de Pearson foi realizada através do software Excel.

As correlações foram avaliadas pela classificação de Callegari-Jacques (2003), onde o r pode ser avaliado qualitativamente pelos seguintes intervalos:

$0,9 \leq |r| \leq 1,0$ representam correlação muito forte;

$0,7 \leq |r| < 0,9$ representam correlação forte;

$0,4 \leq |r| < 0,7$ representam correlação moderada;

$0,2 \leq |r| < 0,4$ representam correlação fraca;

$0,0 \leq |r| < 0,2$ representam correlação muito fraca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de índice de clorofila A, apresentaram intervalos de (30,10 - 40,10) para a primeira avaliação (Figura 2), com 115 DAS, e (21,34 - 27,16) para a segunda (Figura 3). A maior parte do talhão apresentou valores entre (36,10 - 40,10) para medição realizada aos 115 DAS. Já na medição realizada aos 137 DAS foram obtidos a maior parte dos entre (22,50 - 27,16). Ao observar a Figura 2 nota-se que os menores valores se concentraram em maior parte na área central do mapa. Já na amostragem realizada aos 137 DAS (Figura 3), nota-se que os maiores valores estão na parte superior do mapa (acima de 26).



Figura 2 - Índice de clorofila A com 115 DAS.

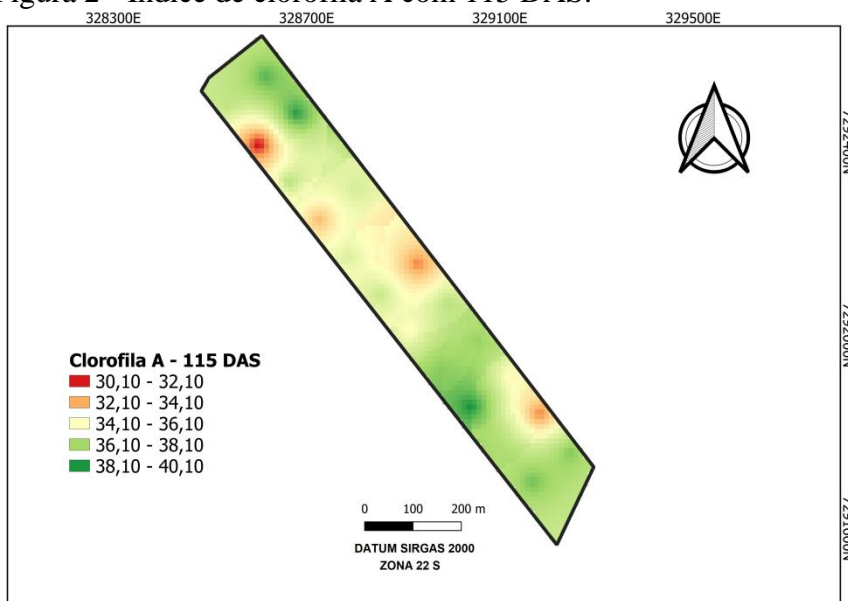
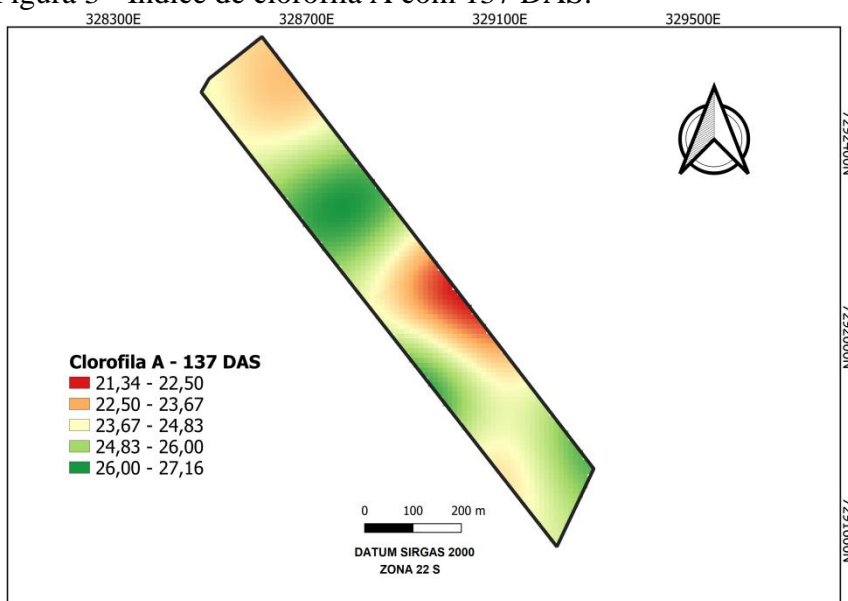


Figura 3 - Índice de clorofila A com 137 DAS.



Observou-se no mapa de produtividade que os valores ficaram entre 2098 e 3752 kg ha⁻¹, com média 2730 kg ha⁻¹, sendo que a maior parte da área apresentou produtividade entre (2280 – 2700 kg ha⁻¹) (Figura 3).

No período do experimento a região passou por vários dias com baixo regime pluviométrico, interferindo diretamente na produtividade da cultura (Tabela 2).

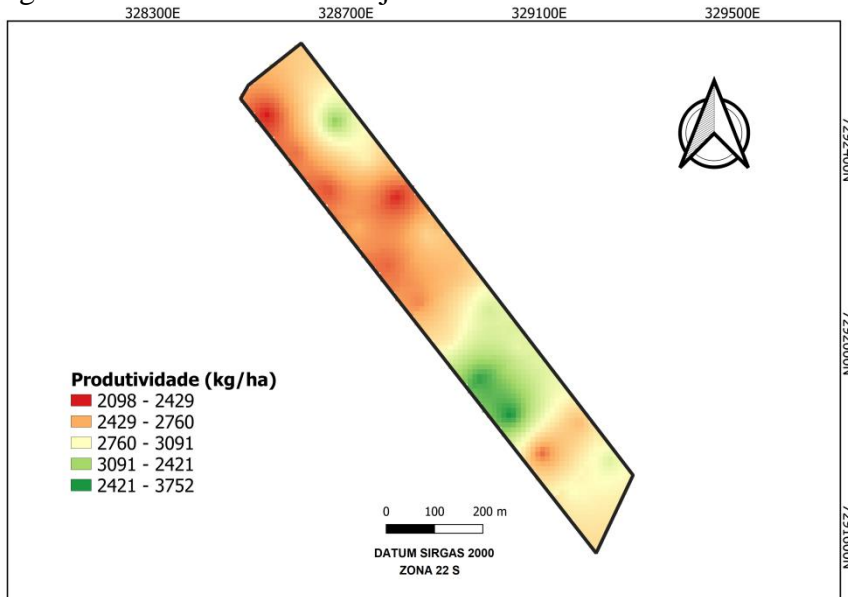


Tabela 2 – Precipitação (mm) durante os meses do experimento em Mamborê - PR.

Meses	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Precipitação (mm)	681,7	89,7	73,3	202,7	50,5

Fonte: AGUASPARANÁ, 2022.

Figura 4 - Produtividade da soja.



No dia da coleta de RSP também realizou-se amostragens para aferição da umidade do solo pelo método da estufa, obtendo valores médios de 26%.

A RSP teve a menor média observada na primeira camada de 0-10 cm (Figura 5), onde geralmente o solo apresenta menor resistência. Isso possivelmente foi causado pelo efeito do uso de semeadoras adubadoras, que revolvem o solo na camada superior quando utilizadas, e pela maior entrada de matéria orgânica na qual contribui para uma maior agregação do solo (CUNHA et al., 2007).

Segundo Montanari et al. (2012), para um mesmo solo Latossolo vermelho quanto maior for a densidade será maior sua resistência à penetração e menor sua macroporosidade, ou seja onde se obteve os maiores valores o solo se encontrava mais denso e menos poroso. Os maiores valores de RSP foram obtidos na profundidade de 10-20 cm (Figura 6), mesmo que muito parecidos com os valores da camada de 20-30 cm (Figura 7), na camada superior o valor mínimo está mais próximo do máximo, mostrando um nível padrão de compactação na camada. As duas camadas mostram uma igualdade, na região da área onde se encontram os maiores valores de RSP.



Figura 5 - Resistência do solo a penetração na camada de 0-10 cm.

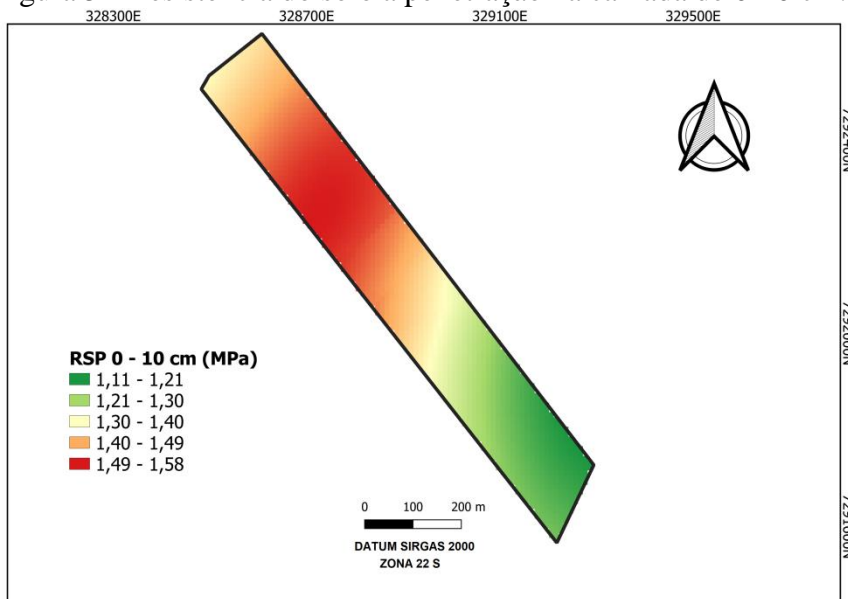
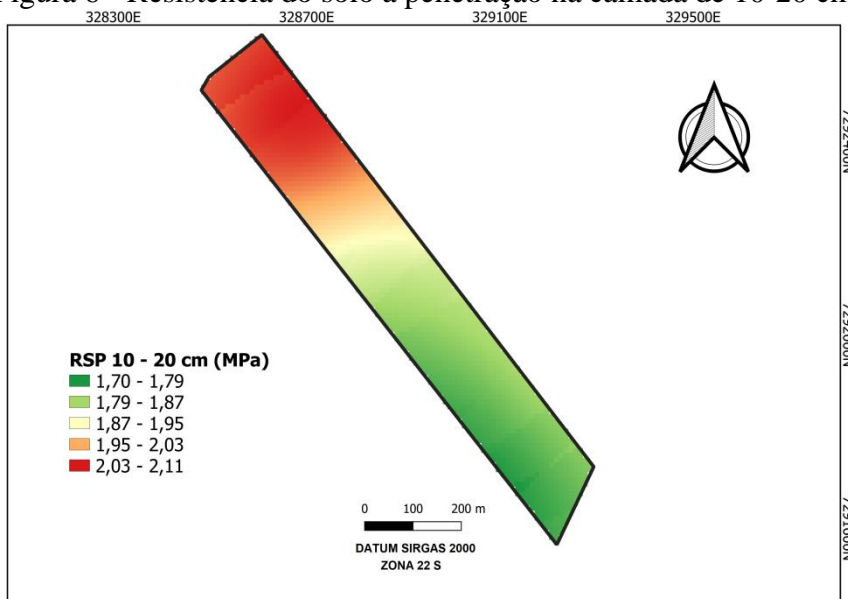


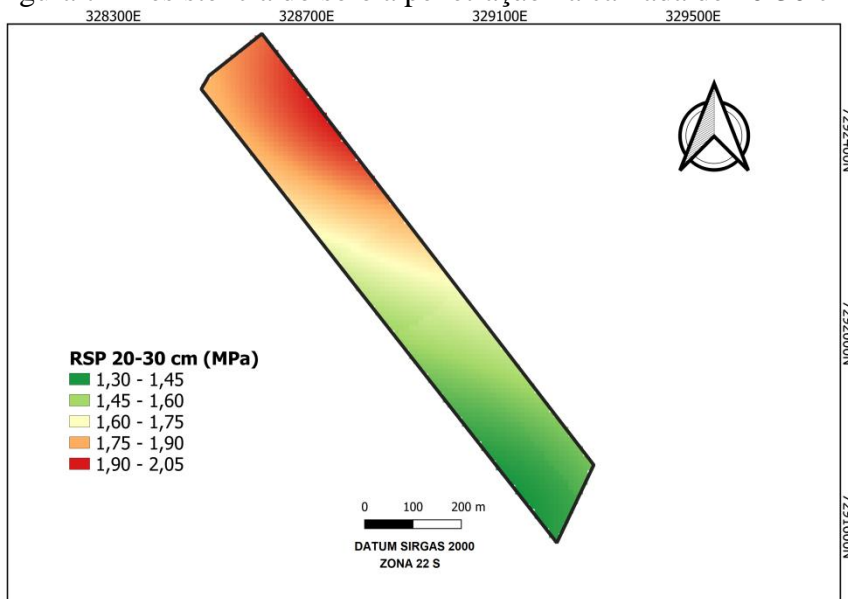
Figura 6 - Resistência do solo a penetração na camada de 10-20 cm.



A terceira camada (20 – 30 cm) apresentou valores intermediários em relação as outras duas, mais próximos da (10–20 cm), pois nenhuma delas possui o fator de revolvimento do solo.

O NDVI apresentou valores de (0 – 0,92), onde os picos de vegetação foram alcançados próximos aos 62 DAS, tendo valores entre (0,61 – 0,92), os menores valores apresentados aos 32 DAS, sendo registrado valores de (0,17 – 0,31), outra cena que registrou valor baixo foi a de 132 DAS, mostrando valores entre (0,02 – 0,57), isso se deve provavelmente pela cultura estar no começo e final do ciclo (Figura 8).

Figura 7 - Resistência do solo a penetração na camada de 20-30 cm.

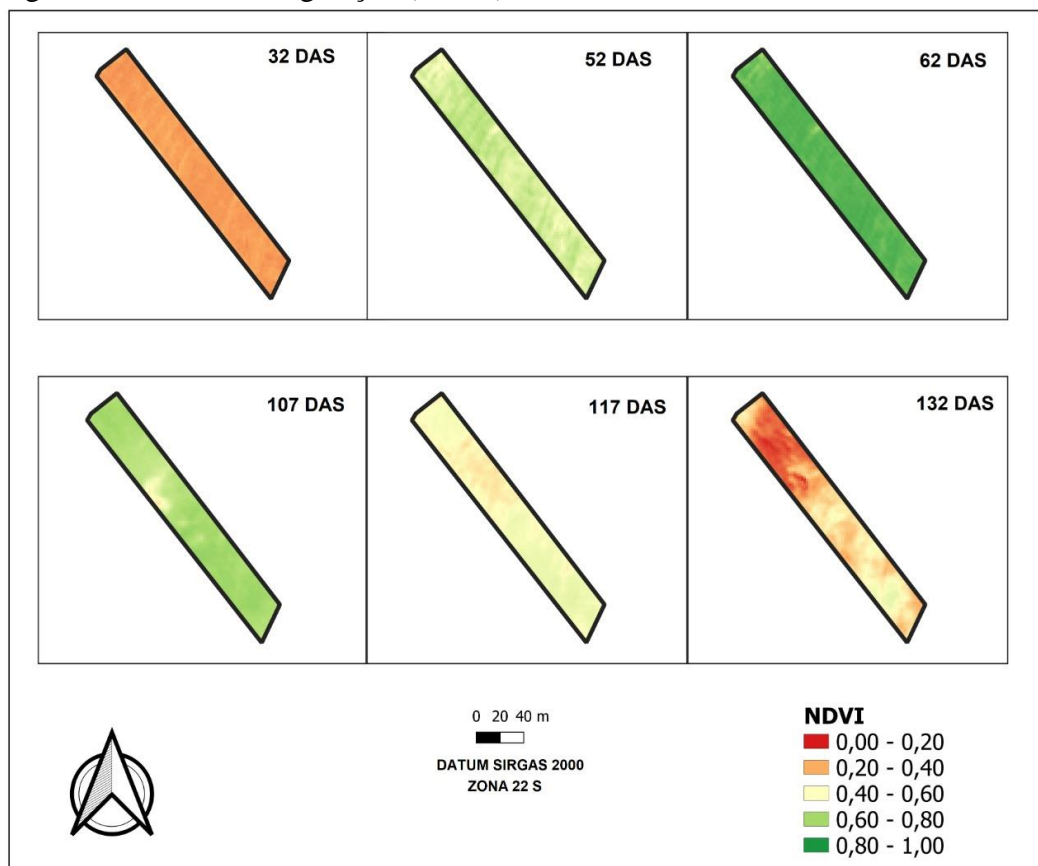


Aos 52 DAS, foram registrados valores medianos (0,40 – 0,77), assim como aos 107 DAS registrando valores de (0,42 – 0,78), isso se deve a questão da planta estar em início de ciclo aos 52 DAS e maturação fisiológica aos 107 DAS.

Aos 107 e 132 DAS mostra valores menores na mesma região onde as três camadas de RSP, apresentou altos valores de compactação, o mapa de produtividade também mostra maiores valores na mesma área onde o NDVI apresentou menores valores. Neste sentido, em um estudo que analisou o NDVI de estádios fenológicos da soja, demonstrou que do estágio R6 ao R7, houveram redução de 19,08% no valor de NDVI que estava ascendente (NEIVERTH et al., 2013).

De acordo com Casaroli et al. (2007), na soja, as variações respiratórias e os níveis fotossintéticos ocorrem de acordo com os estádios de desenvolvimento e as condições ambientais, em função da alteração na força dreno, na arquitetura e estrutura foliar do dossel vegetativo. O processo de expansão foliar está diretamente relacionado ao aumento da taxa fotossintética de forma gradativa durante o estágio vegetativo para o reprodutivo, alcançando valores máximos no período de enchimento de grãos.

Figura 8 - índices de vegetação (NDVI)



Os dados da matriz de correlação de Pearson indicaram que as correlações entre clorofila A e produtividade variaram de (-0,23 – 0,60) (Tabela 3). Somente a clorofila com 115 DAS teve correlação moderada com a produtividade, já com 137 DAS, apresentou correlação negativa e fraca, com a cultura já estando em fase de senescência, em estágio reprodutivo R7, com atividade vegetativa baixa, os índices de clorofila foram menores também.

Tabela 3 - Matriz de Correlação de Pearson entre os dados de produtividade da soja e Clorofila A

	Produtividade	Clorofila A 115 DAS	Clorofila A 137 DAS
Produtividade	-		
Clorofila A 115 DAS	0,60	-	
Clorofila A 137 DAS	-0,23	-0,11	-

A correlação de Pearson apresentou valores negativos (-0,53 a -0,45), tendo correlação moderada entre produtividade e a RSP nas diferentes camadas, assim como o esperado, pois possivelmente em vários pontos, onde foram registrados valores altos de produtividade, ocorreram

menores valores de RSP, assim como o contrário também. Na correlação entre as camadas foram obtidos correlações mais elevadas (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz de Correlação de Pearson entre os dados de produtividade da soja e RSP.

	Produtividade	RSP 0-10 cm	RSP 10-20 cm	RSP 20-30 cm
Produtividade	-			
RSP 0-10 cm	-0,53	-		
RSP 10-20 cm	-0,50	0,74	-	
RSP 20-30 cm	-0,45	0,81	0,97	-

Analisando Correlação de Pearson entre os dados de clorofila A e NDVI (Tabela 5), nota-se que houveram variações entre (-0,50 – 0,46), com a maiores valores positivos entre clorofila 115 DAS com NDVI aos 117 DAS, e clorofila 137 DAS com NDVI aos 52 DAS, sendo as duas classificadas como moderadas (0,46).

Tabela 5 - Correlação de Pearson entre os dados de clorofila A e NDVI.

	32 DAS	52 DAS	62 DAS	67 DAS	107 DAS	117 DAS	132 DAS	142 DAS
115 DAS	-0,16	-0,11	0,02	0,10	0,34	0,46	-0,18	-0,08
137 DAS	0,26	0,46	0,21	-0,11	-0,50	-0,32	0,29	-0,08

As demais correlações apresentaram menores valores, classificadas como fracas ou muito fracas. Na maior parte deles devido ao fato das datas da coleta de clorofila não serem próximas aa data do NDVI gerado.

Ao observar a matriz de correlação de Pearson entre produtividade e NDVI (Tabela 6), nota-se que variaram entre (-0,23 – 0,60), sendo a melhor correlação entre produtividade e o IV 117 DAS (0,60) classificada como moderada, além dessa outras duas foram moderadas, produtividade com IV 107 DAS e 67 DAS (0,53 e 0,41) respectivamente. Oliveira (2021), encontrou correlações moderadas utilizando NDVI de cenas capturadas a 64 DAS correlacionando com a produtividade, tendo como valor (0,428), para a safra 17/18 e (0,438) para a safra 18/19, valores próximos aos encontrados no presente trabalho.



Tabela 6 - Correlação de Pearson entre os dados de produtividade e NDVI.

IV	32 DAS	52 DAS	62 DAS	67 DAS	107 DAS	117 DAS	132 DAS	142 DAS
NDVI	-0,23	-0,16	0,18	0,41	0,53	0,60	0,31	0,31

Aos 132 DAS e 142 DAS houve o mesmo valor de correlação com a produtividade (0,31), classificadas como fraca, também observa-se correlação fraca entre o IV com 62 DAS e a produtividade (0,18). Monteiro (2021) verificou correlação fraca ($r = 0,283$), entre produtividade da soja e NDVI (57 DAS), semelhante ao encontrado na atual pesquisa. Os IVs 32 DAS e 52 DAS apresentaram correlações negativas com a produtividade, possivelmente por se tratar de fase inicial do ciclo da cultura, tendo bastante solo exposto.

4. CONCLUSÃO

Na correlação da produtividade e NDVI, os melhores resultados foram com 117 DAS (0,60), e 107 DAS (0,53), ambas classificadas como moderadas.

No geral as correlações entre clorofila A e NDVI apresentavam valores baixos, com maior valor para 0,46, com NDVI a 117 DAS.

As correlações entre produtividade e RSP para todas as profundidades apresentaram valores negativos (entre -0,45 e -0,53), classificadas como moderadas.

REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ – Instituto das Aguas do Paraná. Alturas diárias de precipitação 2021/2022 na cidade de Mamborê - PR.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R.; SHARP, T. C. Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: CNPA, 2007. p. 11-21.

CALLEGARI-JACQUES, S.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.ex.-x, dez 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n. 7 sétimo levantamento, abril. 2022.



CUNHA, E. Q., BALBINO, L. C., STONE, L. F., LEANDRO, W. M. AND OLIVEIRA, G. C. 2007. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico- hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p.665- 674, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Brasília: 2012. 43 p.

FEIO, S. V. M. **Análise Multitemporal de imagem de satélite Sentinel-2 como suporte à elegibilidade das ajudas comunitárias agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia). Universidade de Lisboa, Lisboa Portugal, 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**, 13(1-2), 2016, p.15-22.

MARCUSSI, B. A.; BUENO, R. P. C.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, p. 41 – 53, 2010.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R.; PELLIN, D. M. P.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milho. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p.125-135, 2012.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; FREITAS, J. G. Resposta espectral do milho e sua relação com altos níveis de produtividade de grãos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2597-2603.

MONTEIRO, P. H. S. **Comportamento espectro-temporal da soja utilizando sensores orbitais e não orbital e correlação dos índices de vegetação com a produtividade**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NEIVERTH, W. et al. NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8., 2013, Londrina. **Anais...**Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 204- 209.(Embrapa Soja. Documentos, 339), 2013.

OLIVEIRA, V.H.D. **Unidades de Gestão Diferenciada por meio de índices de vegetação e mapas de produtividade**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 126 p.

2ª EDIÇÃO



2022



CENTRO
UNIVERSITÁRIO

POTRICH, D.C. **Variabilidade espacial de atributos do solo e correlação com a produtividade da cultura da soja:** Agricultura de precisão. 2012. 67 f. - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados- UFGD, Dourados, 2012.