

Análise da dinâmica temporal de índices de vegetação na geração de zonas de manejo agrícola

João Carlos Biazoto^{1*}; Helton Aparecido Rosa¹

¹Curso de Agronomia, Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*}joaocarlosbiazoto@hotmail.com

Resumo: A agricultura de precisão apresenta potencial de gerar informações detalhadas da lavoura e auxiliar ao produtor a identificar os gargalos a serem corrigidos com maior precisão para que tenha aumento na sua produtividade, qualidade e lucratividade. Este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica temporal de índices de vegetação na geração de zonas de manejo. O experimento foi realizado no município de Catanduvas, localizado na região oeste do estado do Paraná, no período de fevereiro de 2020 a fevereiro de 2023 em uma área de 85 hectares. Utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2 de quatro safras agrícolas das culturas da soja, milho e trigo no seu máximo desenvolvimento através do satélite Sentinel-2 e posteriormente foram gerados o índice de vegetação (NDVI). Foi utilizado o software QGIS para fazer a extração dos dados. Após a inserção das imagens geradas pelo satélite, este software calculou os índices de vegetação. As zonas de manejos foram geradas a partir dos dados de elevação (MDE) e índice de vegetação (NDVI) com o auxílio da plataforma AGDATA-BOX do QGIS, a partir disto foram avaliadas através de métricas o índice de suavidade (SI), o índice de desempenho fuzzy (FPI), a entropia de partição modificada (MPE), a redução da variância (VR) e o índice de validação de grupos aprimorado (ICVI). As variáveis utilizadas para realizar o zoneamento da área foram eficientes para produzir o delineamento, sendo possível aplicar até 5 zonas de manejos, porém, os resultados apontam para delineamento de duas zonas de manejos mais adequado para o talhão.

Palavras-chave: NDVI; Altitude; Agricultura de precisão.

Analysis of the temporal dynamics of vegetation indices in the generation of agricultural management zones

Abstract: Precision agriculture has the potential to generate detailed crop information and help producers identify bottlenecks to be corrected with greater precision so that their productivity, quality and profitability can increase. This work aimed to analyze the temporal dynamics of vegetation indices in the generation of management zones. The experiment was carried out in the municipality of Catanduvas, located in the western region of the state of Paraná, from February 2020 to February 2023 in an area of 85 hectares. Images from the Sentinel-2 satellite of four agricultural harvests of soybean, corn and wheat crops were used at their maximum development through the Sentinel-2 satellite and the vegetation index (NDVI) was subsequently generated. QGIS software was used to extract the data. After inserting the images generated by the satellite, this software calculated the vegetation indices. The management zones were generated from elevation data (MDE) and vegetation index (NDVI) with the help of the QGIS AGDATA-BOX platform. From this, the smoothness index (SI), the fuzzy performance index (FPI), modified partition entropy (MPE), variance reduction (VR), and improved group validation index (ICVI). The variables used to zone the area were efficient to produce the delineation, making it possible to apply up to 5 management zones, however, the results point to the delineation of two management zones that are more appropriate for the plot.

Keywords: NDVI; Altitude; Agricultura de precisão.

Introdução

Com o avanço das tecnologias utilizadas no campo através da agricultura de precisão (AP), tornou possível ao produtor rural acompanhar com mais eficiência e agilidade informações detalhadas sobre sua lavoura. Em pose de correta coleta e análise dos dados é possível ter um aumento na produtividade e qualidade na produção de grãos com a agricultura de precisão.

Através da AP é possível coletar informações, a partir de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial da lavoura e, com isto, analisa las para auxiliar na melhor tomada de decisão, e obter melhor controle em todo o processo produtivo, sendo benéfico para uma produção sustentável, lucrativa e eficaz (VEIVERBERG, 2016).

O Sensoriamento remoto (SR), de acordo com Florenzano (2011), é a tecnologia capaz de obter imagens e dados terrestres por meio da captação e do registro da energia emitida ou refletida pela superfície. Segundo Shiratsuchi (2014) ele é caracterizado por obter dados a longas distâncias sem nenhum contato físico com os objetos.

A partir de imagens de satélites, como o sentinel-2 é possível obter diversos índices de vegetação como EVI (Enhanced Vegetation Index), SAVI (Soil-adjusted vegetation index), IRECI (Inverted Red-Edge Chlorophyll Index), NDI45 (Normalized Difference Index Band 4 and Band 5) e o NDVI (Normalized Difference Index Vegetation Index), usando diferentes bandas espectrais (LEIVAS *et al.*, 2022).

O NDVI, é uma importante aplicação de sensoriamento remoto, apresenta boa resolução espacial (LEE, HWANG, CHO, 2021; XU, *et al.*, 2022). Embora seja uma ferramenta desenvolvida na década de 1970 (PELTA, BEERI, SHILO, 2022; ROUSE, *et al.*, 1974), atualmente é o mais utilizado para monitorar a vegetação por meio de imagem de satélite (JABAL, KHAYYUN e ALWAN, 2022).

O índice NDVI é obtido através de imagens captada por sensores utilizados no SR. Este índice é um indicador da sensibilidade sobre as condições da vegetação, onde valores variam entre -1 a 1, e utiliza para cálculo a refletância dos comprimentos de onda vermelho e infravermelho próximo (BORATTO e GOMIDE, 2013). A partir de dados de índice de vegetação (NDVI) é possível acompanhar e monitorar as culturas agrícolas, por meio de imagens de satélites multiespectrais. Frequente é o uso destas ferramentas para mapear constantemente atributos do meio ambiente, em especial o monitoramento da cobertura vegetal (COUTO JUNIOR *et al.*, 2013; VERBESSELT *et al.*, 2010).

Le Page e Zribi (2019) também comentam a importância do NDVI, que além deste índice ter relação com a fisiologia da planta tem com índice de área foliar, com a produção de biomassa

e com disponibilidade de água no solo, assim torna-se uma ferramenta importante para manejar talhões.

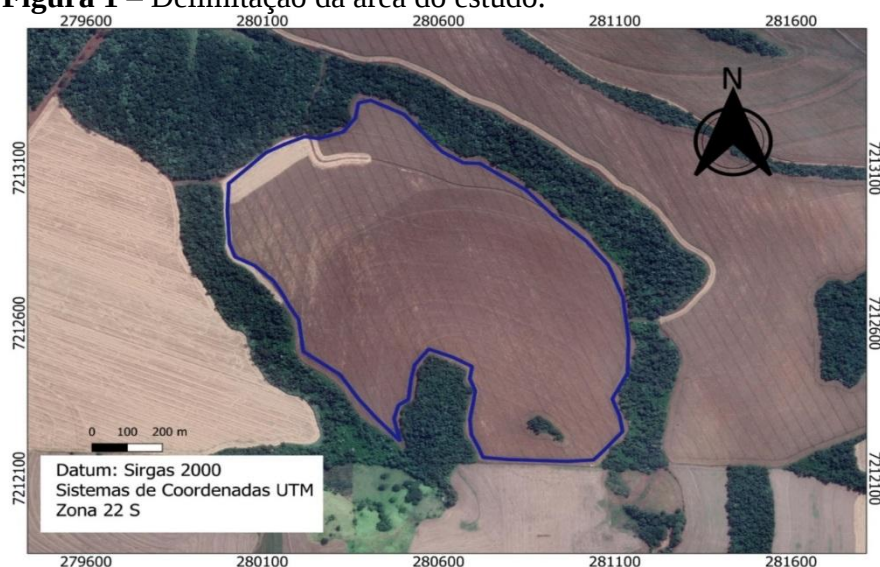
Uma das utilizações dos IVs está relacionada ao fato de poder ser um atributo utilizado na geração de zonas de manejo (ZM). As ZM são áreas com objetivo de homogeneizar a variabilidade espacial existente na área, na busca do aumento da eficiência da produção, com uso eficiente de fertilizantes, corretivos, sementes e agroquímicos. Elas podem ser geradas com mapas de produtividades de diferentes safras, dados de atributos de solo, dados de altitude e IVs (HAUSCHILD, 2013).

Com o agrupamento destas variáveis e sua análise é possível estabelecer zonas com potenciais produtivos que se repetem ao longo dos anos. A partir da classificação de zonas de manejos em níveis de potencial produtivo é possível escolher a melhores estratégias para cada área com isso, otimiza-se os recursos e aumenta a rentabilidade do talhão (SANTOS *et al.*, 2022). Em vista disto, o objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica temporal de índices de vegetação em diferentes safras agrícolas na geração de zonas de manejo.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na propriedade Tormentinha, em um talhão de 85 ha (Figura 1), pertencente ao município de Catanduvas, localizado na região oeste do Paraná, com latitude; 25°11'05.9"S longitude; 53°10'37.3"W e altitude de 800 m.

Figura 1 – Delimitação da área do estudo.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa) e a precipitação anual média está

entre 1800 a 2000 mm (NITSCHKE *et al.*, 2019). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2018).

Foi utilizado uma semeadora 1113 John Deere de 12 linhas de 50 cm acoplada ao trator 7230 J. O trator possui GPS e monitor Command Center™ 4600 quarta geração, e através de sensores que equipam toda a máquina foram gerados dados.

Foi realizado o mapa de elevação do terreno, através do download do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área do estudo. Ele corresponde a modelo matemático que representa altitudes topográficas da superfície do solo agregada a elementos geográficos que existem sobre ela.

Para a geração do índice de vegetação NDVI, utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2 (Sensor MSI), que trabalha com duas bandas de diferentes cores, neste trabalho foram usadas duas delas em resolução espacial de 10 m, nas bandas: B04 (Red-665nm) -Vermelho, B08 (NIR-842nm) - Infravermelho Próximo. Os downloads das imagens foram feitos sem presença de nuvens, em torno do período de máximo desenvolvimento vegetativo das culturas nas quatro safras (Tabela 1).

Tabela 1 – Data de semeadura, data de avaliação, dia após a semeadura e fase fenológica das culturas.

Cultura	Material	Data da Semeadura	Data da avaliação	DAS	Estádio fenológico
Milho	P3016VYHR	24/10/2020	26/12/2020	63	VT
Trigo	TBio astro	16/06/2021	18/08/2021	63	Espigamento
Soja	55I57RSF	02/11/2021	26/12/2021	54	R4/R5
Milho	PRO4	17/09/2022	21/12/2022	95	R4

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Para o cálculo do NDVI (Equação 1), utilizou-se o software QGIS.

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

Em que:

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm).

RED = Refletância na banda do vermelho (nm).

Os dados das variáveis do estudo foram submetidos a análise estatística descritiva, onde foram calculados média, mediana, mínimo, máximo, e coeficiente de variação (CV).

Para o delineamento das zonas de manejo foi utilizado a plataforma AgDataBox-MAP, utilizando o algoritmo *Fuzzy c-means*, com a finalidade de criar grupos com 2, 3, 4 e 5 classes. Eles foram gerados utilizando os índices de vegetação (NDVI) das quatro safras e o mapa de

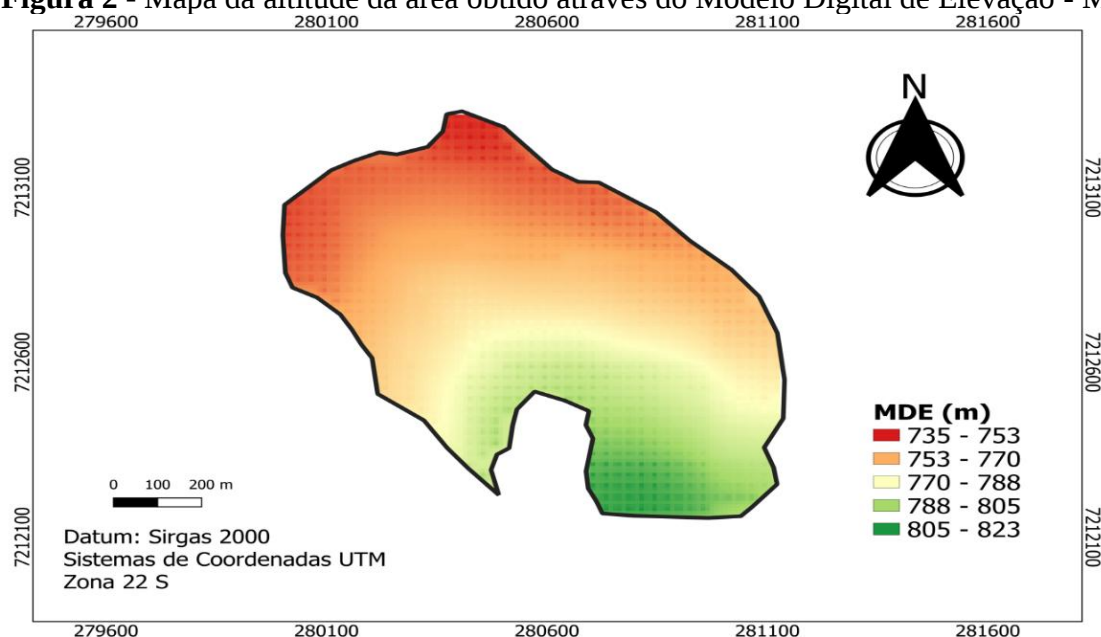
elevação (MDE). A distância euclidiana foi a métrica utilizada, para calcular a diferença da distância entre dois pontos que foi projetado em uma superfície.

Após a geração das ZMs, no AgDataBox-MAP, realizou-se o processo de retificação dos mapas, com objetivo de suavizá-los, deixando as áreas mais uniformes (BETZEK *et al.*, 2018). Após o delineamento das ZMs, foi utilizado as métricas estatísticas índice de suavidade (Smoothness Index – SI) (GAVIOLI *et al.*, 2016); índice de desempenho fuzzy (*Fuzziness Performance Index* - FPI) (FRIDGEN *et al.*, 2004); entropia de partição modificada (*Modified Partition Entropy* - MPE) (BOYDELL; MCBRATNEY, 2002); índice de validação de grupos aprimorado (*Improved cluster validation index* – ICVI) (GAVIOLI, 2017) e redução da variância (*Variance Reduction* – VR) (PING; DOBERMANN, 2003) para avaliar todos os grupos gerados.

Resultados e Discussão

A partir do modelo digital de elevação (MDE) (Figura 2), pode-se observar que grande parte da área tem elevações entre 770 e 753 m. De acordo com a análise, a maior altitude observada foi de 823 m, enquanto que a menor foi de 735 m.

Figura 2 - Mapa da altitude da área obtido através do Modelo Digital de Elevação - MDE.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Os resultados relativos à análise estatística descritiva dos índices de vegetação das safras de milho 2020, trigo 2021, soja 2021 e milho 2022 da área de estudo podem ser observados nos valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação (Tabela 2).

Os dados obtidos mostram que a safra de milho 2020 com o índice de vegetação com maior média, em que o NDVI apresentou 0,93, esta mesma safra também alcançou a maior máxima com 0,95. Porém, a safra com índice de vegetação que melhor apresentou o coeficiente de variação entre as avaliações foi de milho 2022 com o menor CV de 1,23 %. Em contrapartida, a safra de soja 2021, o NDVI apresentou maior coeficiente de variação, sendo 6,60 % CV, com isto é possível observar uma variação significativa dos valores máximos do mínimo (Tabela 2).

Portanto, os valores obtidos do NDVI, nas safras analisadas (Tabela 2), de acordo com o CV, apresentaram baixa variabilidade (PIMENTEL-GOMES, 1985). De acordo com Vanni (1998), o coeficiente de variação maior que 35%, mostra a heterogeneidade dos dados. Assim, os valores observados nas análises seguem um padrão (homogêneos), uma vez que, todas as safras apresentaram CV abaixo de 6,6 % (Tabela 2).

Tabela 2 - Estatística descritiva do NDVI nas quatro safras monitoradas.

Cultura/safra	Mín	Max	Média	DP	CV (%)
Milho 2020	0,58	0,95	0,93	0,02	1,78
Trigo 2021	0,63	0,90	0,85	0,03	3,17
Soja 2021	0,49	0,89	0,77	0,05	6,60
Milho 2022	0,56	0,68	0,64	0,01	1,23

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

De acordo com a Figura 3, o NDVI da safra de milho 2020 apresentou valores entre 0,88 e 1,00. Neste mapa é possível observar relação, apesar de pouco expressiva, do NDVI com o MDE, pois na faixa de elevação de 735 - 753 o NDVI apresentou verde mais intenso.

Ao observar a figura 3, é possível verificar que a safra de milho 2020 apresenta análise visual do NDVI diferente da safra de milho 2022, sendo respectivamente 0,88 - 1,00 e 0,52 - 0,64 NDVI. No entanto, a análise feita nas safras de 2020 e 2022 foram realizados em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. O NDVI está relacionado ao desenvolvimento da cultura, como a área foliar e peso da biomassa seca de parte aérea das plantas (ALLEN; PEREIRA, 2009). Rodrigues *et al.* (2013), constataram que a partir do aumento da biomassa há incremento do NDVI e seu pico se deu no máximo vigor vegetativo da cultura.

Na safra com cultivo de trigo 2021, os valores registrados do NDVI foi de 0,76 - 0,88. Portanto a média do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi de 0,85, valor próximo a 1. Valores deste índice quanto mais próximo a 1 ocorrem em razão do acúmulo de clorofila no tecido vegetal, uma vez que, maior teor de clorofila mostra maior refletância do

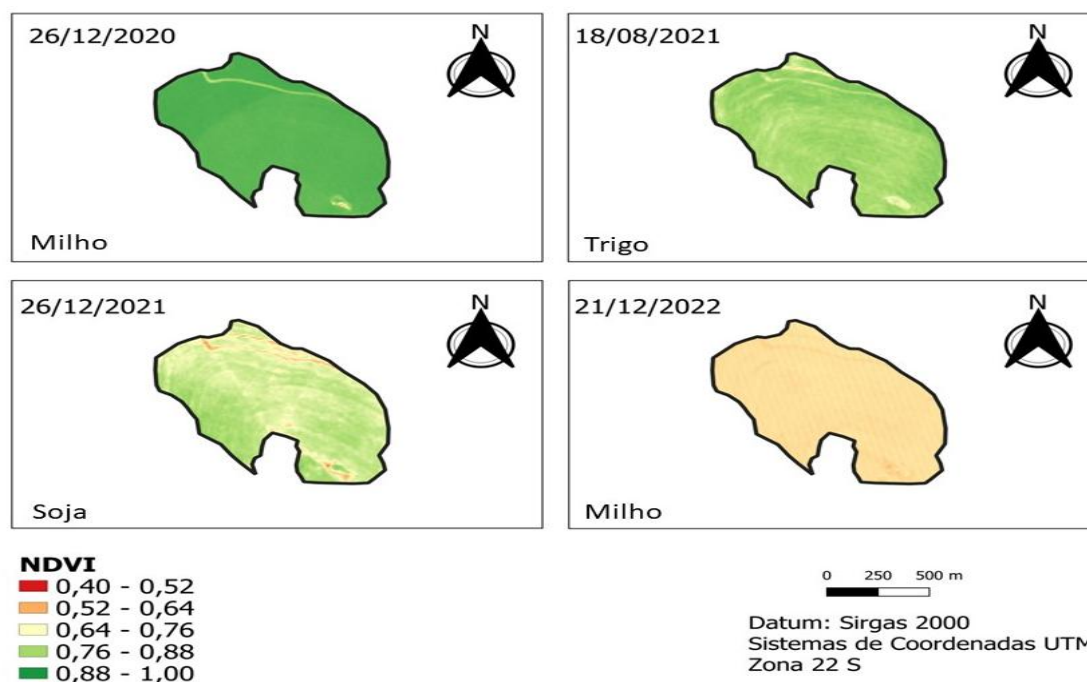
dossel na faixa do infravermelho, maiores índices são observados no estágio reprodutivo, onde a cultura tem maior acumulo do pigmento na folha (PENG *et al.* 2017). De acordo com Bredemeier *et al.* (2013), as leituras do (NDVI) são eficientes em identificar variações de produtividade na cultura do trigo.

A safra de soja 2021 apresentou baixo valor do índice de vegetação no momento da análise (R4), com baixo teor de clorofila, em que a média de NDVI foi de 0,77. Resultados semelhantes foram obtido por Rodrigues *et al.* (2013), no entanto, os valores foram obtidos em estágio R5 (0,79) já o maior valor encontrado foi em estágio vegetativo em V9 (0,84) utilizando o satélite Landsat-5, analisando soja no Rio Grande do Sul. Já Crusiol *et al.* (2013), utilizando sensor GreenSeeker®, na safra 2012/2013 observaram que o máximo de valores de NDVI foi no estágio R4 com 0,89, portanto, resultado contrário a esta pesquisa.

Os maiores valores de NDVI em soja encontrado por Kuiawski *et al.* (2017) foram na fase reprodutiva R5 entre 0,86 e 0,94, vale ressaltar que as avaliações ocorreram em V6, R5 e R5.5, a extração dos resultados foi utilizando espectro radiômetro modelo FieldSpec®

Portanto, o NDVI altera de acordo com a safra, a cultura e com a fase de desenvolvimento da cultura. O NDVI é uma ferramenta que auxilia na identificação de zonas homogêneas. No entanto, é crucial que sua determinação seja considerada mais de uma safra por cultura avaliada.

Figura 3 - Mapa de NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Na safra de soja 2021, com cultivo de soja, o NDVI da área de estudo oscilou entre 0,76 - 0,88 e 0,64 - 0,76 e alguns pontos com 0,52 - 0,64 NDVI. Portanto, é verificada discrepância nos valores, possivelmente pelo estágio de desenvolvimento da cultura R4, iniciando R5. A média ficou em 0,64 NDVI (Tabela 1). Os estágios intermediários de desenvolvimento da soja é o momento em que apresentam os maiores valores de NDVI, já no final de ciclo os valores tendem a reduzir, pois a cultura transloca suas reservas para os órgãos reprodutivos, como também ocorre a senescência das folhas e degradação da clorofila (KUIAWSKI *et al.* 2017). Carneiro *et al.* (2019), comentaram que o melhor momento para monitorar a variabilidade da planta é no estágio R1, pois nesta fase há as melhores correlações entre os indicadores de qualidade. Já no presente estudo, apenas ao analisar o melhor valor de NDVI obtido, verifica-se que a safra de milho 2020 em estágio VT apresentou média de 0,93 NDVI, indicando o melhor momento para seu monitoramento.

Conforme verificado nos resultados em ambas as safras (Figura 3), mais avaliações em diferentes momentos dos estágios vegetativos e reprodutivos seriam importantes para melhor obtenção dos dados de NDVI ao longo desenvolvimento das culturas durante as safras. De acordo com Santi *et al.* (2013), o monitoramento no momento ideal é importante, pois auxilia no diagnóstico dos aspectos que afetam o desenvolvimento da cultura e com isso permite adoção de melhor manejo localizado de insumos.

Ao analisar o SI (Tabela 3), é possível verificar que as ZMs criadas, utilizando mapa da altitude e índice de vegetação apresentaram valores entre 92,60 (5 ZMs) e 98,80 (2 ZMs). Assim, os maiores valores foram encontrados na divisão de duas zonas, o que indica que a divisão com essa quantidade de grupos apresenta maior suavidade no contorno das zonas. Estes resultados corroboram com Schenatto *et al.* (2017), que verificaram que à medida que aumenta o número zonas diminui o SI, deixando complexo a interpretação visual, as operações a campo e as aplicações de insumos.

Tabela 3 – Análise estatística das ZMs, utilizando dados de mapa da altitude (MDE) e índices de vegetação (NDVI), obtidos do Sentinel-2.

ZM	SI	FPI	MPE	VR	ICVI
2	98,80	0,14	0,17	70,51	0,67
3	96,84	0,17	0,18	83,98	0,67
4	95,00	0,21	0,20	87,92	0,67
5	92,60	0,22	0,19	91,13	0,67

Legenda: SI = Índice de suavidade; FPI = Índice de desempenho fuzzy; MPE = Entropia de partição modificada; VR = Redução da variância; ICVI = Índice de validação de grupos aprimorado.

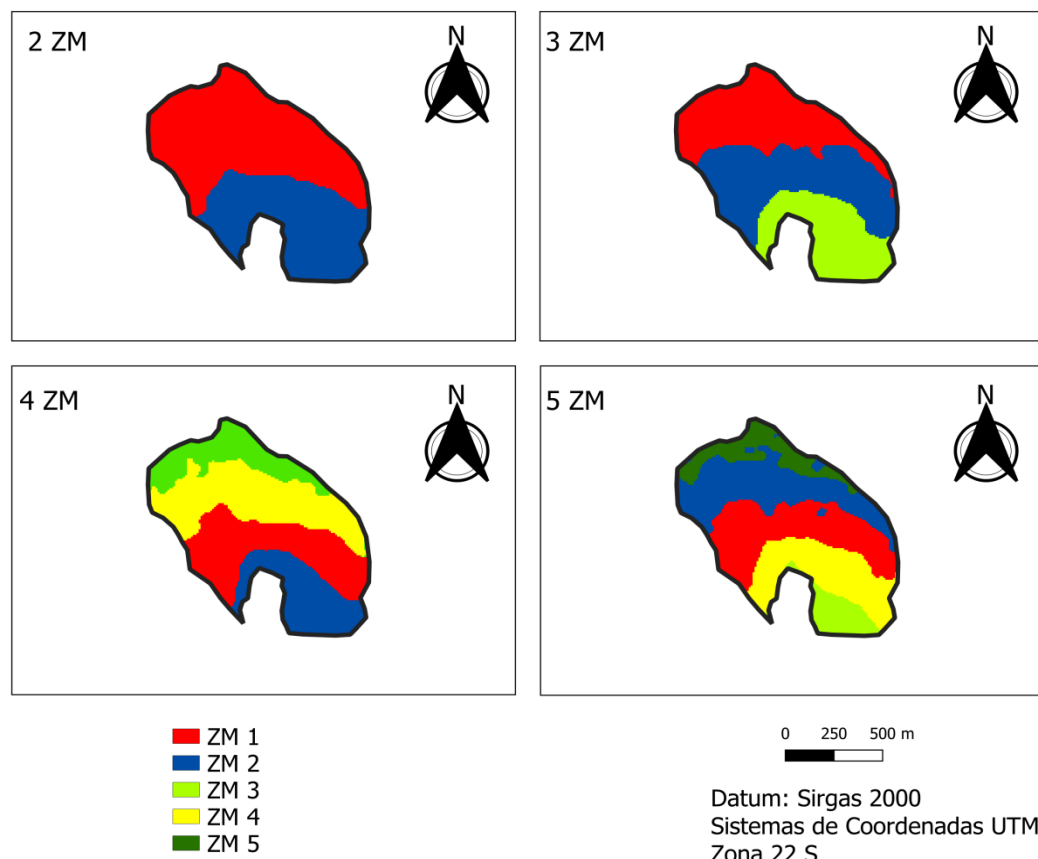
Já para o FPI, a variação entre as ZMs foi de 0,14 (2 ZMs) a 0,22 (5 ZMs) (Tabela 3). Este parâmetro avalia grau de separação entre os grupos difusos, quanto mais próximo de 0, menor será o grau de compartilhamento dos elementos entre os agrupamentos gerados. Portanto, o melhor mapa é com 2 ZMs.

Em relação ao MPE, os valores ficaram entre 0,17 e 0,20 (Tabela 3). Este parâmetro também contempla a área de estudo com mapa com 2 ZMs (Figura 4). Pois, com 2 ZM foi observado menor nível de dificuldade para a organização dos grupos.

O índice VR que apresentou melhores resultados, ou seja, maior redução na variância do conjunto quando os dados são agrupados em 5 ZMs (91,13 %). Os demais delineamentos de ZMs também foram capazes de reduzir a variância, pois apresentaram valores positivos com reduções de variância. Rosa (2021), ao propor ZM com dados de produtividade e índice de vegetação obtidos com imagens de RPA e Satélite Sentinel-2 também verificou que o delineamento com 5 ZMs para os índices de vegetação SAVI, NDVI e NDRE apresentaram maiores valor de VR, sendo respectivamente 46,80 %, 41,54 % e 35,58 %, o que mostra que as divisões com 5 grupos foram as que se mostraram mais eficazes em reduzir a variância, utilizando IVs gerados através das imagens do satélite Sentinel-2, o que corroboram com os resultados desta pesquisa. Em trabalho de Schenatto *et al.* (2016), utilizando dados de resistência do solo à penetração, textura do solo e elevação, verificaram também valores de VR positivos, indicando que a variância total foi reduzida.

Ao analisar o índice ICVI, que tem como função sintetizar os resultados de FPI, MPE e VR, verificou-se que o melhor delineamento de ZMs gerados foi 2 ZMs (0,67), apesar de todas as ZMs terem apresentados valores do índice ICVI iguais, quando se analisa os valores de PFI, MPE e VR, verifica-se que 2 ZMs apresenta melhores resultados, indicando os melhores delineamentos da área.

Figura 4 – Delineamento de ZMs realizados pelo algoritmo *Fuzzy c-means*, com 2, 3, 4 e 5 grupos, utilizando mapa da altitude (MDE) e índices de vegetação (NDVI) obtidos com imagens Sentinel-2.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

O mapa de delineamento de zonas de manejos (Figura 4) visualmente tem relação com o mapa de elevação (Figura 2), principalmente o mapa com 2 ZMs (Figura 4). O mapa com 3 ZMs também apresentam os indicadores com bons valores e assemelha com a divisão do mapa de elevação. É crucial o monitoramento de dados da propriedade, a fim de verificar a estabilidade das zonas de manejos ao longo dos anos, independentemente de quais variáveis utilizadas, uma vez que há uma tendência de alteração nas ZMs (ROSA, 2021).

Conclusão

Os valores mais expressivos de NDVI observado foi na cultura do milho, safra 2020 em fase vegetativa, iniciando a reprodutiva. As variáveis utilizadas para realizar o zoneamento da área foram eficientes para produzir delineamentos, sendo possível aplicar até 5 zonas de manejos.

O melhor delineamento observado é com duas zonas de manejos, onde os valores de SI, FPI e MPE foram melhores. E o segundo delineamento com melhores resultados (SI, FPI e MPE) de divisão foi com 3 ZMs.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* 28: 17-34, 2009.
- BETZEK, N. M.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 146, p. 1-11, 2018.
- BOYDELL, B.; MCBRATNEY, A. B. Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. **Precision Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 9-23, 2002.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A.T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, 2013.
- CARNEIRO, F. M.; FURLANI, C. E. A.; ZERBATO, C.; MENEZES, P. C. de; GÍRIO, L.A. da S. Correlations among vegetation indices and peanut traits during different crop development stages. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. spe, p. 33-40, 2019.
- COUTO JUNIOR, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, de S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 1, 2013.
- CRUSIOL, L. G. T.; NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo. *JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA*, 8, 2013. Londrina -PR. **Anais...** Londrina: p. 87-91.
- DE BORATTO, I. M.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. *In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília/DF: EMBRAPA CNPS, 2018. 5ªed. 532P.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 100-108, 2004.

GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L. P. C.; SCHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 302–310, 2016. Elsevier B. V. Doi: 10.1016/j.compag.2016.06.029.

GAVIOLI, A. **Módulos computacionais para seleção de variáveis e análise de agrupamento para definição de zonas de manejo**. 2017. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

HAUSCHILD, F.E.G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo**. Dissertação (Agricultura de Precisão) PPGAP UFSM. 2013.

JABAL, Z. K.; KHAYYUN, T. S.; ALWAN, I.A. Impact of climate change on crops productivity using MODIS-NDVI time series. **Civil Engineering Journal**, v. 8, n.06, 2022.

KUIAWSKI, A. C. M. B.; SAFANELLI, J. L.; BOTTEGA, E. L.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N. Vegetation indexes and delineation of management zones for soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 47: 168-177, 2017.

LEIVAS, J. L.; TEIXEIRA, A. H.; TAKEMURA, C. M.; GARÇON, E. A. Análise da dinâmica temporal de índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI e IRECI através de imagens sentinel-2a e modis. **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil** - Volume 4, Editora Científica Digital, 2022.

LE P. M.; ZRIBI, M. Analysis and Predictability of Drought in Northwest Africa Using Optical and Microwave Satellite Remote Sensing Products. **Scientific Reports**, v. 9, p.1-13. 2019.

LEE G, HWANG J, CHO S A. Novel Index to Detect Vegetation in Urban Areas Using UAV-Based Multispectral Images', **Applied Sciences**, v. 11 n. 8 p. 3472, 2021.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H., RICCE, W. D. S.; Pinto, L. F. D. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina: **Instituto Agrônômico do Paraná**, 2019.

PENG, Y. et al. Assessment of canopy chlorophyll content retrieval in maize and soybean: implications of hysteresis on the development of generic algorithms. **Remote Sensing**, v. 9, n. 226, 2017.

PELTA R, B. O, TARSHISH R, S. T. Sentinel-1 to NDVI for Agricultural Fields Using Hyperlocal Dynamic Machine Learning Approach. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2600, 2022.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PING, J. L.; DOBERMANN, A. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 5, p. 1121-1131, 2003.

RODRIGUES, C. P. et al. NDVI e fluxo de CO₂ em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 95-104, 2013.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n.1, p.309, 1974.

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.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.; EITELWEIN, M.T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, R.F. da; DA ROS, C.O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.510- 515, 2013.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A.; BENEDUZZI, H. M. Use of the farmer's experience variable in the generation of management zones. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2305–2322, 2017.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A. Interpolação de dados na definição de unidades de manejo. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 38, n. 1, p. 31–34, 2016.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. de P.; VILELA, M de F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

VANNI, S. M. **Modelos de regressão: Estatística aplicada**. São Paulo, Legmar Informática, 1998. 177p.

VERBESSELT, J.; HYNDMAN, R.; NEWNHAM, G.; CULVENOR, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.106-115, 2010.

VEIVERBERG, K. T. **Delineamento de zonas potenciais para manejo diferenciado em nível de talhão a partir de dados de colheita e de imagens de satélite**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2016.

XU Y, YANG Y, CHEN X, LIU Y ‘Bibliometric Analysis of Global NDVI Research Trends from 1985 to 2021’, **Remote Sensing**, v. 14 n. 16, p. 3967, 2022.