

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

GUSTAVO PIMENTA GUIMARÃES MENEZES

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, ALTITUDE E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NA
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

UBERLÂNDIA – MG

2022

GUSTAVO PIMENTA GUIMARÃES MENEZES

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, ALTITUDE E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NA
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel
Carmelino Hurtado.

UBERLÂNDIA – MG

2022

GUSTAVO PIMENTA GUIMARÃES MENEZES

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, ALTITUDE E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NA
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo

Uberlândia, 18/08/2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado – (ICIAG-UFU)

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista – (ICIAG-UFU)

Prof. Dr. Hamilton Kikuti – (ICIAG-UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, meu pai Alceste, minha mãe Vanilze e minha irmã Isabela, que com muito esforço, apoio e confiança me deram a oportunidade de concluir essa graduação.

Ao Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado, por toda a oportunidade de estar sob sua orientação e por todo o auxílio na realização desse trabalho.

A toda equipe da Fazenda Mandaguari pela oportunidade e suporte na realização do trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	MATERIAL E MÉTODOS	6
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4	CONCLUSÕES	13
	REFERÊNCIAS	14

RESUMO

MENEZES, Gustavo Pimenta Guimarães. **Índice de vegetação, altitude e produtividade de grãos na definição de zonas de manejo**. 9 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2022.

Para economia e melhor aproveitamento dos insumos podem ser gerados mapas identificando zonas de manejo (ZM) a partir de índices de vegetação e atributos de solo do talhão. Neste sentido, o trabalho teve por objetivo definir zonas de manejo a partir de dados de altitude, índices de vegetação e mapas de produtividade e realizar a sua validação a partir de parâmetros de fertilidade do solo e resistência à penetração (RP). O experimento foi desenvolvido na fazenda Mandaguari, no município de Indianópolis, Minas Gerais, nas safras de verão 2020/21 e segunda safra do ano de 2021. Para a coleta dos atributos de solo (fertilidade e RP) foi delimitada uma malha regular com 62 pontos, a partir do software Qgis (Qgis Development Team, 2020). Foram definidas duas estratégias para a definição das zonas homogêneas. A primeira utilizando a altitude e o índice de vegetação por diferença normalizada na borda do vermelho - NDRE, e a segunda, utilizando a altitude, o índice de vegetação NDRE e os dados de produtividade. Para a elaboração do mapa temático de zonas homogêneas foi realizada a interpolação dos dados por krigagem, com auxílio do programa Smart Map Plugin (SMP), em ambiente Qgis. A partir dos mapas das ZM foram identificadas a existência de duas zonas de manejo. A validação das zonas de manejo foi realizada a partir de dados da resistência à penetração (RP) em conjunto com os valores dos atributos pH H₂O, fósforo mehlich1, potássio, cálcio, magnésio e saturação por bases. A informação disponibilizada pelo índice de vegetação NDRE guarda estreita relação com os dados de produtividade. A associação do índice de vegetação NDRE com os dados de altitude possibilita a identificação de zonas de manejo com diferenças de potenciais produtivos. Valores de resistência a penetração superiores a 2000 kPa avaliados na camada de 0,0-0,4m, comprometem o normal desenvolvimento de plantas de milho e soja.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, fertilidade do solo, variabilidade espacial, zonas de manejo.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta importante contribuição ao agronegócio mundial, sendo o principal responsável para os resultados econômicos do país (CHAVES et al., 2020), devido em parte, à produção do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max* L. Merr.). Para o milho, o Brasil representa a terceira maior produção, equivalente a 8,7% da produção total, após os Estados Unidos e China, com uma produção mundial aproximada de 1,12 bilhão de toneladas em 2020 (SHAHBANDEN, 2021). Para a soja, o Brasil se consolidou em 2021, como maior produtor mundial do grão, com 125,5 milhões de toneladas, em uma área próxima de 41,5 milhões de hectares e produtividade de 3.029 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). O crescente aumento produtivo da cultura da soja, importante como ração animal e para consumo humano, é atrelado ao desenvolvimento de novas tecnologias (TANCREDI et al., 2020), onde as pesquisas e o próprio agronegócio têm importante papel (HANYU et al., 2020).

Entre as ferramentas utilizadas no setor agrícola está a Agricultura de Precisão (AP). A ferramenta visa o manejo eficiente das lavouras e o uso correto dos recursos naturais, ao gerenciar a variabilidade espacial de atributos relacionados à produtividade (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020). O sensoriamento remoto é uma ferramenta amplamente utilizada e essencial para a agricultura de precisão, ao permitir obter dados em grandes extensões territoriais de forma remota. Auxilia dessa maneira, no entendimento do histórico da área (OLDONI et al., 2013) e na detecção de variações nas lavouras, a partir do uso de índices de vegetação (TURCATTO; ZANDONAD, 2018).

O índice de vegetação por Diferença Normalizada na Borda do Vermelho – *Normalized Difference Red-Edge* (NDRE) está entre os índices mais utilizados, ao permitir avaliar a presença de cobertura vegetal e o vigor vegetativo das culturas (BARNES et al., 2000; LIMA et al., 2013). O índice NDRE é capaz de direcionar a evolução de biomassa da cultura ao longo do ciclo, podendo contribuir no monitoramento e servir de indicativo nutricional da lavoura. Possibilita, ainda, relacionar os valores do acúmulo de biomassa aos da produtividade das culturas (KLERING et al., 2016).

O uso dos índices de vegetação, em conjunto a informações do relevo e de atributos de solo e produtividade, auxilia na identificação de regiões contrastantes ou zonas de manejo (ZM) nas lavouras. A divisão dos talhões em ZM permite trabalhar a variabilidade espacial existente nas áreas, aprimorando o uso de insumos e conseqüentemente, levando economia para o produtor. Na definição das zonas de manejo podem ser utilizados dados de produtividade, de propriedades físicas e químicas do solo

e de elevação (BAZZI et al., 2019). Quando comprovada a existência das ZM é possível realizar um manejo direcionado dos recursos favorecendo a conservação do solo, tendo como principal aliada a aplicação de insumos em taxa variável (DALCHIAVON et al., 2012; SANCHEZ et al., 2009).

Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo definir zonas de manejo a partir do uso conjunto de dados de altitude, índices de vegetação e mapas de produtividade, e verificar a sua validação a partir do uso de atributos do solo do mesmo talhão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na fazenda Mandaguari, no município de Indianópolis, Minas Gerais situado nas coordenadas 18°59'44.63"S e 47°47'18.79"O. O talhão experimental apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2018), textura argilosa, com aproximadamente 60% de argila, relevo suave ondulado e clima tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen.

O talhão experimental, com altitude aproximada de 930 metros, destina-se ao cultivo de grãos na sucessão soja/milho, em sistema plantio direto. Com auxílio do programa Qgis (Qgis Development Team, 2020), foi definida no talhão uma malha regular com 62 pontos, para amostragem de atributos de solo e planta (Figura 1).

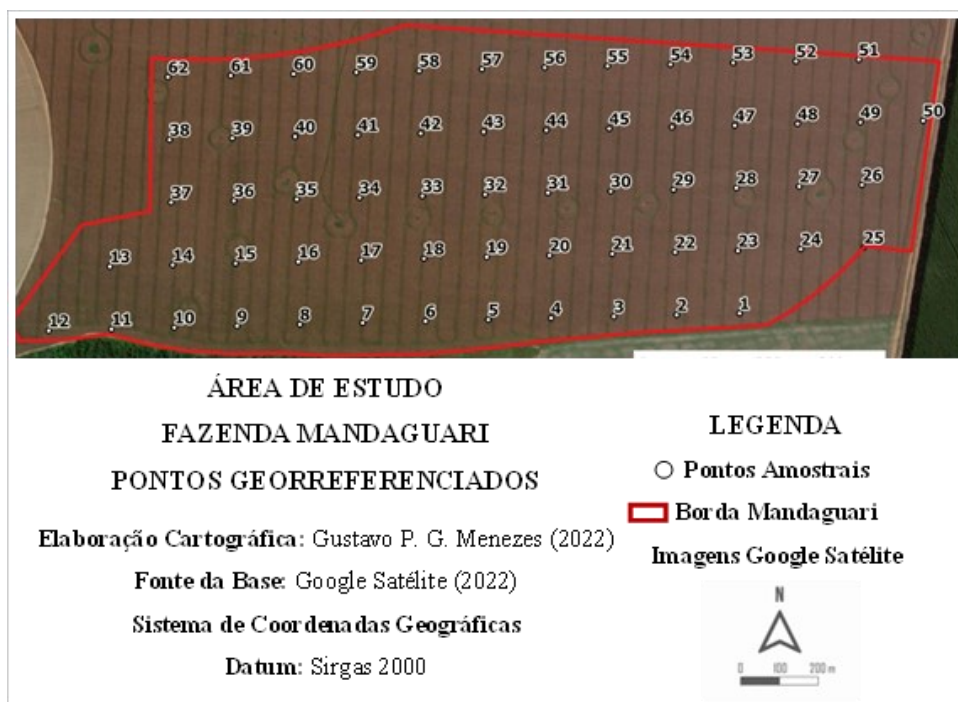


Figura 1. Área de estudo e localização dos pontos amostrais.

No talhão foram obtidos dados de atributos de fertilidade do solo, resistência à penetração, altitude, índice de vegetação NDRE e produtividade. A coleta de solo para avaliação da fertilidade (TEIXEIRA et al., 2017) foi realizada para cada um dos 62 pontos da malha amostral, na profundidade de 0 a 0,2 m. Foram determinados e calculados os atributos pH H₂O, fósforo mehlich-1 (mg/dm³), potássio (cmol_c/dm³), cálcio (cmol_c/dm³), magnésio (cmol_c/dm³), capacidade de troca catiônica (cmol_c/dm³) e saturação por bases (V%). Na mesma malha de amostragem foram obtidos valores de resistência à penetração (RP). As leituras foram realizadas em novembro de 2020, após o início do plantio da soja, considerando as entrelinhas da lavoura. As leituras foram obtidas com auxílio do penetrômetro eletrônico PenetroLOG, marca Falker®. A medição foi realizada com a penetração do aparelho no solo. Foram obtidas leituras com resolução de 1 cm, a 0,40 m de profundidade. As leituras foram coletadas considerando 3 repetições por ponto da malha, num raio de 5 metros do ponto central. A partir das leituras foi feita a análise nas profundidades de 0-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0-0,4 m.

Dados de altitude foram obtidos a partir de operações com uso do pulverizador 4730 da John Deere, equipado com receptor StarFire 6000, permitindo obter o sinal SF3 com correção RTX. A obtenção do índice de vegetação NDRE foi realizado a partir da obtenção de imagens do satélite Sentinel 2, nas datas de janeiro de 2018 e janeiro de 2019, e com uso da equação matemática descrita abaixo (BARNES, 2000; RIBEIRO, 2016).

$$NDRE = \frac{(IVP - RE)}{(IVP - RE)}$$

Onde:

IVP: Reflectância na banda do infravermelho próximo.

RE: Reflectância na banda do *Red-Edge*.

Os mapas de produtividade de soja (safra 2020-21) e milho (safra 2021-21) foram confeccionados a partir de dados brutos coletados com a máquina John Deere S660, equipada com monitor JD - GS3 2630. Os dados foram filtrados usando o programa Map Filter 2.0 e interpolados no Qgis, com auxílio do complemento Smart Map Plugin (SMP).

A definição das zonas de manejo (ZM) foi realizada em ambiente Qgis, com uso do complemento Smart Map Plugin (SMP) e seguiu duas estratégias. A primeira, com

base em dados de altitude e do índice de vegetação NDRE da soja em 2018 e do milho em 2019; e a segunda, com base na estratégia anterior, porém complementada com dados de produtividade da soja safra 2020/21 e do milho safra 2021/21.

Como procedimento padrão para uso do programa SMP, os dados matriciais das imagens do índice NDRE e dos mapas interpolados de altitude e produtividade foram transformados ao formato vetorial. Posteriormente, foi realizado o ajuste de modelos à semivariogramas experimentais e realizada a interpolação por krigagem (VIEIRA, 2000). Na sequência foi definido o número ideal de classes com uso dos índices de performance Fuzzy (FPI) e entropia da classificação normalizada (NCE), e finalmente, foram obtidos os mapas de ZM, para ambas as estratégias, com uso do algoritmo Fuzzy K-means.

A validação da definição das ZM para ambas as estratégias foi realizada a partir dos atributos de fertilidade do solo e resistência a penetração (RP). Para isto foi considerado a diferença dos valores dos atributos para cada uma das ZM previamente definidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados pode-se observar que a altitude influenciou de maneira direta nos resultados de NDRE, para os anos de 2018 e 2019 (Figura 2).

Para esses três atributos avaliados (Altitude, NDRE 2018 e NDRE 2019), os mapas interpolados por krigagem permitiram visualizar os menores valores na parte inferior esquerda do talhão (Figura 2). Por sua vez, houve semelhança entre os valores de NDRE para os anos de 2018 e 2019, momento em que o talhão se encontrava com a presença das culturas da soja verão, com 62 dias após o plantio (DAP) e milho verão com 52 DAP, respectivamente. Os resultados podem ser corroborados no trabalho de Montezano; Corazza; Muraoka (2006), ao concluírem a interferência da altitude nos atributos de fertilidade do solo e índices de vegetação por eles estudados.

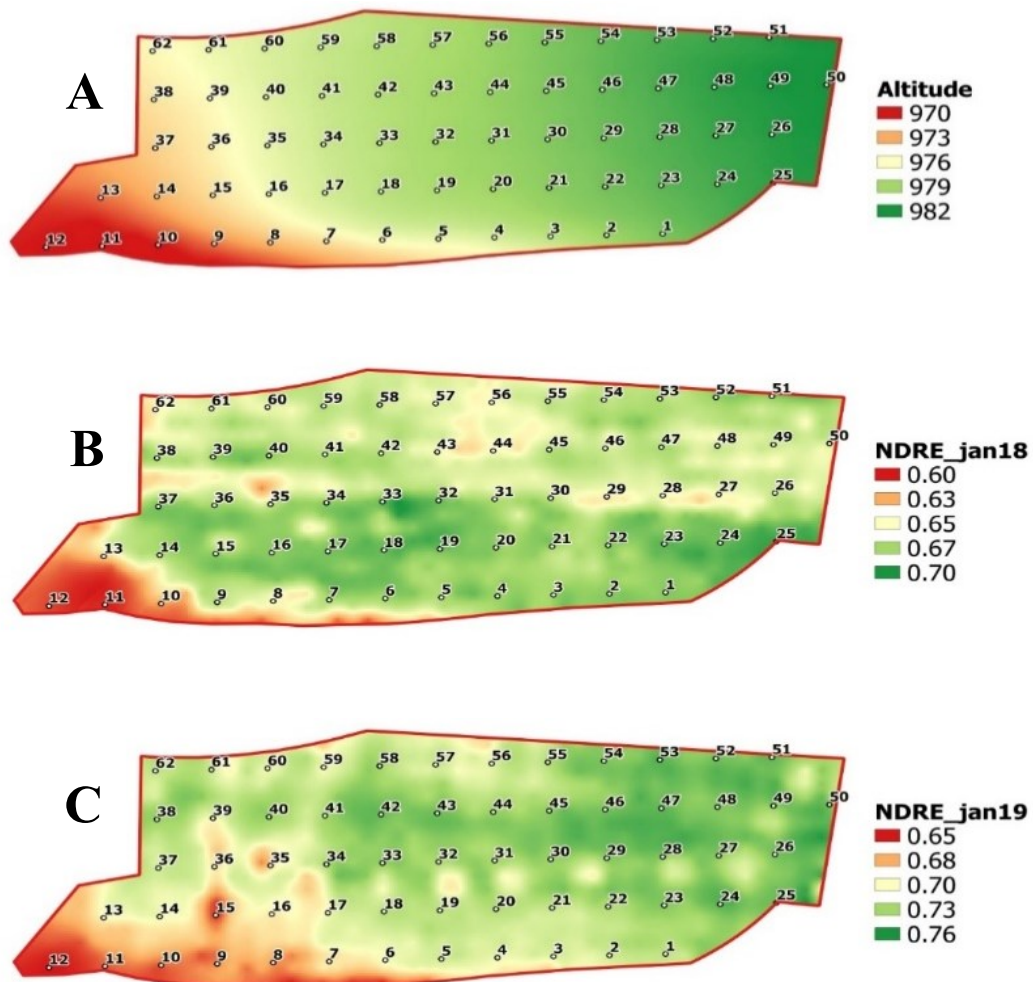


Figura 2. Mapas interpolados de altitude (A), NDRE no ano de 2018 - Soja (B) e NDRE no ano de 2019 – Milho verão (C).

Quando avaliados os dados de altitude e índice NDRE em conjunto aos dados de produtividade é evidenciado relação direta com a produtividade de milho, safra 2021/21 e relação inversa com os da produtividade de soja, safra 2020/21 (Figura 3). Para este último, os menores valores ficaram alocados, principalmente, na porção superior esquerda do talhão.

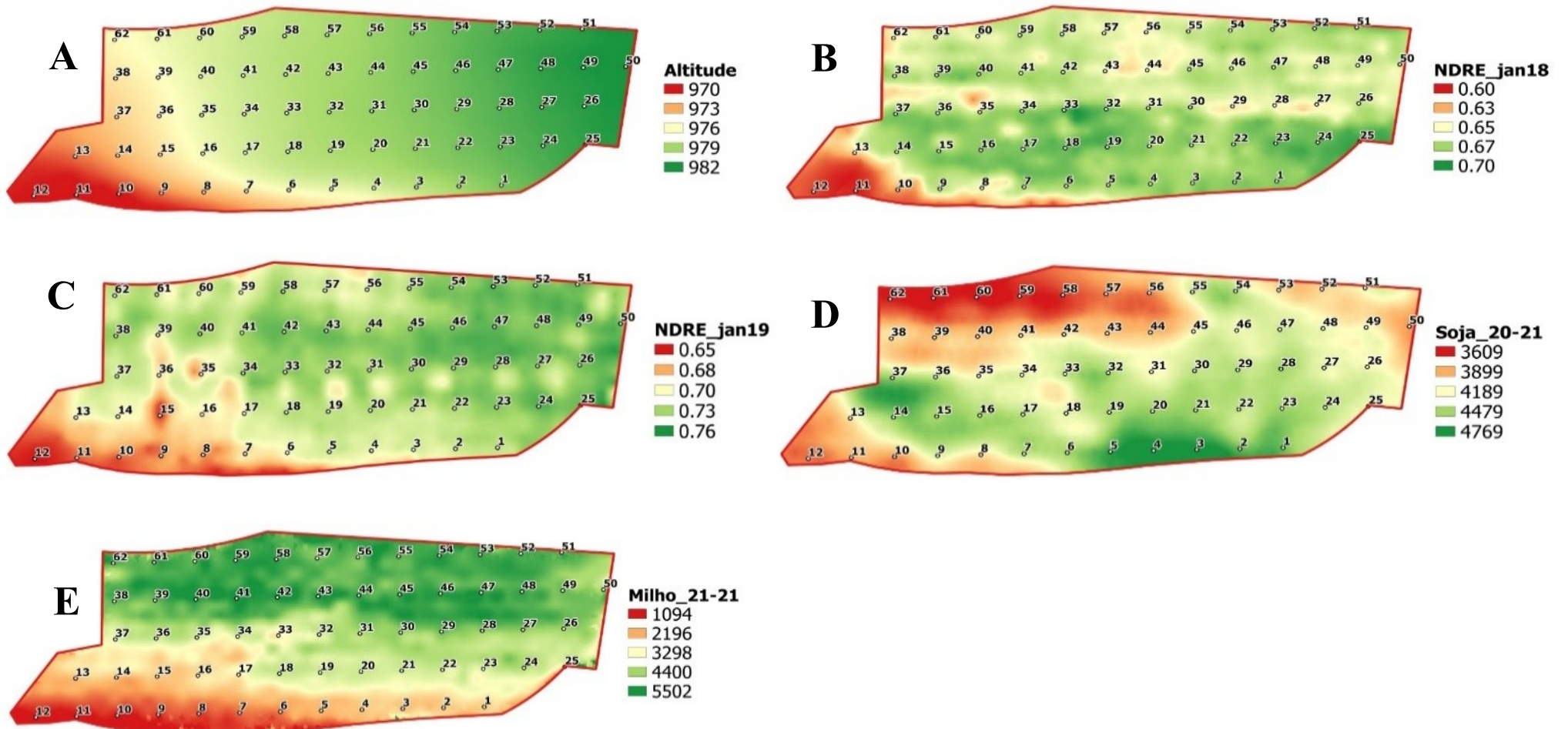


Figura 3. Mapa interpolados de altitude (A), NDRE no ano de 2018 (B), NDRE no ano de 2019 (C), produtividade de soja na safra 2020/21 (D) e produtividade de milho 2021/21 (E).

No presente trabalho foram definidas duas zonas de manejo, consideradas como de alto (vermelho) e de baixo (verde) potencial produtivo (Figura 4), considerando as duas estratégias: com base em dados de altitude e do índice de vegetação NDRE da soja e do milho; e com base na estratégia anterior, complementada com dados de produtividade da soja e do milho. Nelas pode ser observado que houve similar padrão de distribuição encontrado para os atributos que as conformaram (Figura 3). Visualmente, percebe-se que a estratégia que visou a inclusão de dados de produtividade, em pouco somou para a definição das ZM, não sendo possível sugerir mudanças em razão do seu uso (Figura 4).

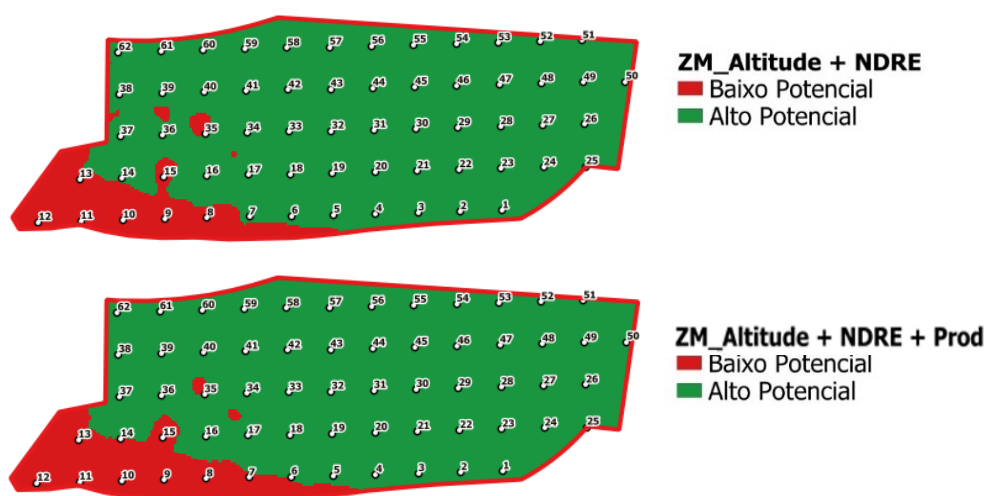


Figura 4. Mapas de zonas homogêneas para o talhão com destaque para as zonas de alto potencial (verde) e baixo potencial (vermelho).

A validação das ZM, para ambas as estratégias, foi realizada a partir dos dados de atributos físicos e de fertilidade do solo (Tabela 1). Diferença estatística entre as ZM foi encontrada ao avaliar os atributos fósforo (P) e resistência a penetração (RP), este último para as profundidades de 0,2-0,4 m e 0-0,4 m. Para ambos os casos, os maiores valores corresponderam à zona de menor potencial (Figura 3), ou seja, naquelas onde foram registrados os menores valores de altitude, índice NDRE e produtividade de milho e soja (Figura 2).

Tabela 1. Médias relativas das avaliações de acordo com cada estratégia.

Avaliações*	Estratégia			
	ALT + NDRE		ALT + NDRE + PROD	
	Baixo Potencial	Alto Potencial	Baixo Potencial	Alto Potencial
pH H₂O	5,5 a	5,6 a	5,4 a	5,6 a
P mehlich	13,6 a	9,1 b	12,5 a	9,1 b
K	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a
Ca	3,4 a	3,2 a	3,3 a	3,2 a
Mg	1,5 a	1,4 a	1,4 a	1,4 a
CTC	7,7 a	7,2 b	7,6 a	7,2 b
V%	67 a	67 a	65 a	67 a
RP (0 – 20)	1698 a	1706 a	1666 a	1712 a
RP (20 – 40)	2428 b	2032 a	2379 b	2026 a
RP (0 – 40)	2059 b	1869 a	2019 b	1869 a

*Médias na linha seguidas de letras iguais para cada estratégia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); ALT + NDRE: Altitude + Índice de Vegetação; ALT + NDRE + PROD: Altitude + Índice de Vegetação + Produtividade; pH: pH H₂O; P meh: Fósforo (mg dm³); K: potássio (cmol_c dm³); Ca: Cálcio (cmol_c dm³); Mg: Magnésio (cmol_c dm³); CTC: Capacidade de Troca Catiônica (cmol_c dm³); V%: Saturação por base (%); RP: Resistência a Penetração (kPa).

O fato de as regiões de menor potencial terem apresentado os maiores teores de fósforo (P) e resistência a penetração (RP), pode estar diretamente relacionado com a presença de compactação no solo. O P apresenta importante demanda pela maioria das culturas (GARCIA; MENDES, 2021; LAUTHARTE et al., 2021), sendo a sua absorção pelas raízes realizada por difusão.

A redução do espaço poroso, advinda da compactação do solo, interfere diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, diminuindo a exploração das raízes no solo, provocando menor interceptação radicular e absorção de água e nutrientes pelas plantas (LEITE et al., 2013; VIZIOLI et al., 2021). Nutricionalmente, há reduzida mobilidade e absorção do P pelas plantas (GIROTTI et al., 2010; GURGEL et al., 2020). De maneira geral, as espécies podem ter o seu desenvolvimento radicular comprometido com valores de RP acima de 2000 kPa (TAYLOR et al., 1966). No presente estudo, a RP permitiu validar a diferença de ambas as ZM quando encontrados valores de 2000 kPa na camada de 0,2-0,4 m e de 1900 kPa na camada de 0-0,4 m. Os dados corroboram os resultados encontrados por Lima et al. (2010), obtidos em solo Argiloso cultivado em sistema plantio direto e convencional, ao concluir o efeito negativo da RP na altura de plantas de soja para valores superiores a 1900 kPa.

A definição de zonas de manejo com diferentes potenciais produtivos é um excelente ponto de partida para direcionar estratégias de manejo nas lavouras. Faz-se necessário o uso de outros atributos de solo e planta que possibilitem a validação das zonas previamente definidas. Neste contexto, os resultados obtidos no presente trabalho servem como auxílio para a identificação das possíveis causas de queda em produtividade, permitindo traçar uma correta estratégia de manejo nas lavouras.

4 CONCLUSÕES

O uso do NDRE guarda estreita relação com os dados de produtividade.

A associação do índice de vegetação NDRE aos dados de altitude possibilita a identificação de zonas de manejo com diferentes potenciais produtivos.

Valores de resistência a penetração superiores a 2000 kPa avaliados na camada de 0,0-0,4m, comprometem o normal desenvolvimento de plantas de milho e soja.

REFERÊNCIAS

- BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; RICHARDS, S. E.; COLAIZZI, P. D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R. J.; LI, H.; MORAN, M. S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. **In: Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture**, Bloomington, MN, USA. 2000.
- BAZZI, C. L.; DE SOUZA, E. G.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A. A software for the delineation of crop management zones (SDUM). **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 26–34, 2019.
- BERTOLIN, N. O.; FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1627, 2017. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n400567>
- CHAVES, T. G.; DAL MASO, A. B.; FIGUEIREDO, A. M. R.; DALLEMOLE, D. Indicador de desempenho competitivo: análise da produção de milho no estado de mato grosso como fator determinante do desenvolvimento competitivo territorial. **Desafio Online**, v. 10, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.55028/don.v10i2.12195>
- CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira de grãos**, v.9 – safra 2021/22 – n.12 – décimo segundo levantamento, setembro 2022. Brasília: Conab, 2022.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.453-461, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300006>
- GARCIA, J. C.; MENDES, M. B. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 2003-2013, 2022. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-044>
- GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. D.; BRUNETTO, G.; ANDRADE, J. G. D.; ZALAMENA, J. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1948-1954, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000141>
- GURGEL, A. L. C.; SANTANA, J. C. S.; THEODORO, G. F.; DIFANTE, G. S.; ALMEIDA, E. M.; ARCANJO, A. H. M.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; FERNANDES, P. B. Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020. <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i1.3154>
- HANYU, J.; COSTA, S.; CECON, P.; MATSUO, É. Genetic parameters estimate and characters analysis in phenotypic phase of soybean during two evaluation periods. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 6, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.33158/ASB.r104.v6.2020>

KLERING, E.V.; FONTANA, E.V.; ROGLIO, V. S.; ALVES, R. C. M.; BERTALO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.2, p.247-256, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.287>

LAUTHARTE, D.; QUINSINSKI, A.; HAUSCHILD, F. E. G.; PORTELA, E. A avaliação da eficiência do uso de solubilizador de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja em São Luiz Gonzaga – RS. **Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão da UERGS (SIEPEX)**, v. 1, n. 10, 2021.

LEITE, G. M. V.; RIBEIRO, G. J. T.; GROSS, M. R.; SCHMIDT, P. A.; CORRÊA, J. B. D.; SILVEIRA, T. Influência da compactação na germinação e desenvolvimento do arroz em três classes de solo. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto - SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003.

LIMA, C. L. R. D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, p. 89-98, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000100012>

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista ambiente & água**, v. 8, p. 204-214, 2013.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500010>

NADIAN, H.; SMITH, S. E.; ALSTON, A. M.; MURRAY, R. S. Effects of soil compaction on plant growth, phosphorus uptake and morphological characteristics of vesicular–arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium subterraneum*. **The New Phytologist**, v. 135, n. 2, p. 303-311, 1997. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00653.x>

OLDONI, L. V.; PRUDENTE, V. H. R.; MERCANTE, E.; LIMA, P. H. P.; JUSTINA, D. D. D.; WRUBLACK, S. C.; LIMA, L. E. P. Acompanhamento da cultura da soja através do índice de vegetação NDVI para 35 municípios localizados no oeste do Paraná. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 16, p. 460-467, 2013.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 329-339, 2020. <https://doi.org/10.31510/infra.v17i1.750>

RIBEIRO, C. **Drones, Índices de vegetação e tomada de decisão na Agricultura**, 2016. Disponível em: <<http://sensix.com.br/2016/08/29/drones-indices-de-vegetacao-e-atomadade-decisao-na-agricultura/>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2022.

ROSA, V. G. C. da; MOREIRA, M. A.; RUDOFF, B. F. T.; ADAMI, M. Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 12, p.1478-1488, dez. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200020>

SANTOS, Arthur Saldanha. A modernização da agricultura no Brasil: transições agrícolas e autogestão. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. 3, p. 209-229, 2020. <https://doi.org/10.20873/uftv7-8777>

SHAHBANDEH, M. Corn production worldwide 2020/2021. **STATUSTA**, 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/254292/global-corn-production-by-country/>. Acesso em: 6 de maio de 2022.

TANCREDI, F. D.; SILVA, F. C. S.; MATSUO, E.; SEDIYAMA, T. Origem, distribuição geográfica e importância econômica. In MATSUO, E.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. (Eds.) **Aplicações de técnicas biométricas no melhoramento genético da soja**. (pp.13-24). Londrina-PR: Editora Mecenas, 2020.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JUNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-texture soil materials. **Soil Science**, 102(1): p. 18-22, 1966. <https://doi.org/10.1097/00010694-196607000-00002>

TURCATTO, L. M.; ZANDONAD, R. S. Variabilidade da produtividade e a relação com padrões de NDVI obtidos com imagens do landsat8. **1º SIMPÓSIO Mato-Grossense De Mecanização Agrícola e Agricultura De Precisão – SIMAP UFMT**, Campus Universitário de Sinop, 2018.

VIZIOLI, B.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; BARTH, G. Effects of long-term tillage systems on soil physical quality and crop yield in a Brazilian Ferralsol. **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104935, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104935>