

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR MEIO DE ÍNDICES VEGETATIVOS E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

DEFINITION OF MANAGEMENT ZONES THROUGH VEGETATIVE INDICES AND SOYBEAN CROP PRODUCTIVITY

DANIEL ANTÔNIO DA SILVA SOUSA

Universidade Estadual de Goiás
danielantoniosousa2014@gmail.com

GABRIEL DE SIQUEIRA SILVA

Universidade Estadual de Goiás
eng.gabrielsiqueira@outlook.com

DIOGO SANTOS SOUSA

Universidade Estadual de Goiás
diogo.s.sousa.x@gmail.com

JOSUÉ GOMES DELMOND

Universidade Estadual de Goiás
josue.delmond@ueg.br

ELTON FIALHO DOS REIS

Universidade Estadual de Goiás
fialhoreis@ueg.br

Resumo: A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a principal *commodity* produzida no Brasil e se torna cada vez mais presente em todo o território nacional, batendo recordes em produção e em áreas plantadas a cada ano, levando o país a liderar o *ranking* de maior produtor e exportador. O objetivo deste trabalho foi comparar a produtividade de diferentes cultivares de soja, cultivadas em talhões comerciais, um com cultivar de ciclo precoce e outro com cultivar de ciclo médio, relacionando os dados de produtividade com informações obtidas por meio da análise de imagens digitais provenientes de sensoriamento remoto. Para isso foram utilizados dois talhões de cultivo comercial localizados nos municípios de Silvânia-GO e Luziânia-GO pertencentes a Agropecuária Gaulanda, o primeiro talhão de 140 hectares cultivado com soja de ciclo precoce NEO 710 IPRO e o segundo talhão de 200 hectares cultivado com soja de ciclo médio VORAZ IPRO, cultivados na safra 2021/2022. Foram avaliados o índice de vegetação da diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) em quatro fases de desenvolvimento: 20, 40, 60 e 80%, da soja, o NDVI proveniente destas quatro amostragens e a produção final de grãos para ambas as cultivares. Foram confeccionados mapas temáticos para os valores de NDVI e da produção final, posteriormente gerados Zonas de Manejo a partir do potencial produtivo de cada cultivar, comparados por meio do teste de média à 5% de significância. A cultivar de ciclo precoce apresentou valores de produção de grãos superior a cultivar de ciclo médio, comprovando a eficiência no processo de adaptação de fenótipos de cultivares precoce em solos do cerrado. Os valores de NDVI e a produção de grãos apresentaram variação numérica espacial semelhantes dentro de cada zona de manejo, sendo um forte indicador do desenvolvimento da soja ao longo do seu ciclo, demonstrando potencial utilização para estimar a produtividade da cultura.

Palavras-chave: *Glycine Max*. NDVI. Sensoriamento Remoto.

Abstract: Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is the main commodity produced in Brazil and is increasingly present throughout the country, breaking records in both production and planted area each year, positioning the country as the world's leading producer and exporter. The objective of this study was to compare the productivity of different soybean cultivars grown in commercial fields—one planted with an early-maturity cultivar and the other with a medium-maturity cultivar—by relating productivity data to information obtained through the analysis of digital images from remote sensing. Two commercial fields owned by Agropecuária Gaulanda, located in the municipalities of Silvânia-GO and Luziânia-GO, were used in this study. The first field, covering 140 hectares, was planted with the early-maturity soybean cultivar NEO 710 IPRO, and the second, covering 200 hectares, was planted with the medium-maturity cultivar VORAZ IPRO, both cultivated during the 2021/2022 growing season. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was evaluated at four soybean development stages: 20%, 40%, 60%, and 80%. NDVI data from these four stages and the final grain yield were obtained for both cultivars. Thematic maps were created for NDVI values and final production. Subsequently, Management Zones were generated based on the productive potential of each cultivar and compared using a mean comparison test at a 5% significance level. The early-maturity cultivar showed higher grain yield values compared to the medium-maturity cultivar, confirming the efficiency of adapting early-maturing phenotypes to Cerrado soils. NDVI values and grain yield exhibited similar spatial numerical variation within each management zone, serving as a strong indicator of soybean development throughout its growth cycle and demonstrating its potential use in estimating crop productivity.

Keywords: *Glycine max*. NDVI. Remote Sensing.

Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] vem se tornando a principal *commodity* produzida no Brasil e cada vez mais presente em todo o território nacional, batendo recordes em produção em áreas plantadas a cada ano, levando o país a liderar o *ranking* de maior produtor e exportador do cereal (CONAB, 2021).

Com o custo de produção desta leguminosa passando por aumentos significativos, e com recursos e insumos limitados, produtores recorrem a tecnologia como sua principal aliada, tendo em vista uma alta eficiência de produção em suas áreas (ARANTES *et al.*, 2019).

Devido ao significativo aumento da produção agrícola, em escala mundial e as novas tecnologias revolucionando a mecanização no sistema produtivo, torna-se necessário o gerenciamento e monitoramento de todo o processo de produção agrícola, visando otimizá-lo ao máximo. Devido a isso, os métodos geoestatísticos vem ganhando espaço ao estudo da dependência espacial dos índices físico-químicos do solo e até mesmo da produtividade das culturas (KESTRING *et al.*, 2015).

O avanço da informática junto às tecnologias em geoprocessamento, Sistemas de Navegação por Satélite (GNSS), e Sistema de Posicionamento Global (GPS), entre as demais tecnologias, proporcionou ao agricultor novas possibilidades de conduzir sua

lavouira, minimizando assim o custeio da plantação, otimizando todo o processo de produção agrícola, fornecendo ao produtor um controle eficiente em sua cadeia de produção (TSCHIEDEL, 2002).

O conceito Agricultura de Precisão (AP) emprega-se na utilização de equipamentos tecnológicos para monitorar e avaliar as condições variadas de determinados talhões, permitindo ao agricultor identificar a necessidade de fazer eventuais correções e aplicações em dosagens específicas para cada segmento da área, de forma a favorecer o bom desenvolvimento das plantas (COELHO e SILVA, 2009).

Com isso, o sensoriamento remoto se tornou uma ferramenta indispensável e viável para o monitoramento das condições fitossanitárias em áreas de grandes extensões, necessitando apenas de sensores capazes de efetuar o diagnóstico correto (RODRIGUES *et al.*, 2012).

A modelagem dos parâmetros biofísicos das plantas pode ocorrer por meio da utilização de índices de vegetação, para áreas agrícolas o índice de maior utilização visando o monitoramento de lavouras é o NDVI índice de vegetação da diferença normalizada, este índice empregasse ao estudo da área foliar, biomassa e percentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre o desenvolvimento e condições tais como a evapotranspiração das plantas (BORATTO e GOMIDE, 2013).

Os programas de melhoramento genético da soja visam o aumento do potencial produtivo, para que o sojicultor possa atingir maiores produções sem a necessidade de investimentos adicionais em relação aos demais fatores de produção. Para isso é importante que a capacidade adaptativa do fenótipo destas cultivares sejam adequados para o clima, solo e região de onde ocorrerá o plantio. Resistência a doenças, pragas e herbicidas também são fatores consideráveis no processo de melhoramento genético de cultivares de soja (VASCONCELOS *et al.*, 2015).

Devido ao curto período de janela de plantio da segunda safra, agricultores optam em semear em seus campos cultivares de ciclos precoce de soja, levando cerca de 95 dias para atingir o ponto de corte, tendo em vista uma colheita antecipada da leguminosa, visando o plantio da safrinha, ou seja, outra cultura sob a palhada da soja, o mais breve possível (GESTEIRA *et al.*, 2015).

Vasconcelos *et al.* (2015), abordaram sobre a importância de uma boa adaptabilidade de genótipos de soja para assegurar uma produção satisfatória para cultivares de ciclos precoces para que as mesmas possam se igualar em potencial produtivo assim como cultivares de ciclos intermediários ou longos.

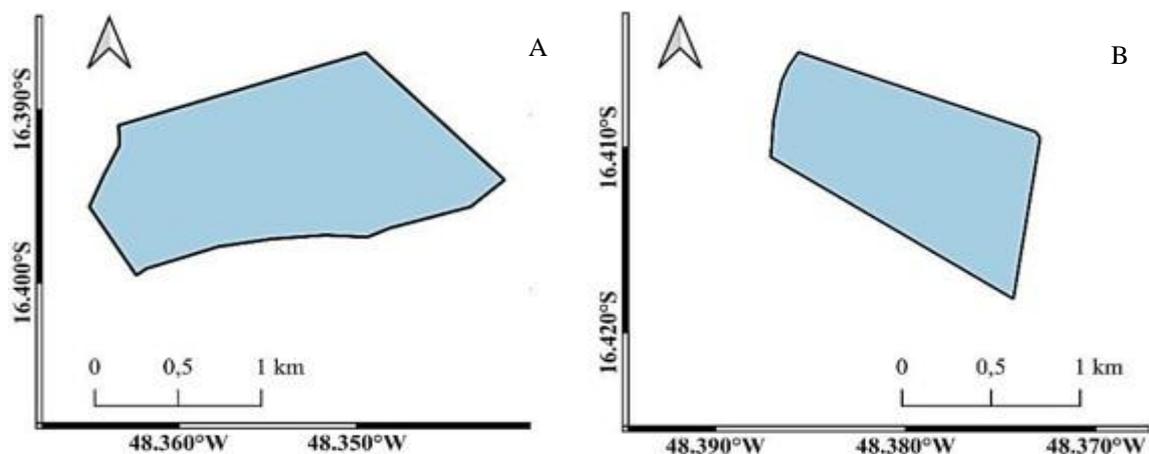
Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi comparar a produtividade de diferentes cultivares de soja, cultivadas em talhões comerciais, um com cultivar de ciclo precoce e outro com cultivar de ciclo médio, relacionando os dados de produtividade com informações obtidas por meio da análise de imagens digitais provenientes de sensoriamento remoto.

Material e métodos

Localização experimental e amostragem

O trabalho foi conduzido com dados obtidos em dois talhões cultivados com diferentes cultivares de soja. Foram utilizados os cultivares de ciclo precoce e de ciclo médio plantados na safra 2021/2022, pertencentes à Agropecuária Gaulanda, propriedade localizada na zona rural do município de Luziânia - GO e Silvânia - GO, sendo os talhões representados em suas respectivas coordenadas geográficas na figura 1.

Figura 1. Representação das áreas do estudo, sendo: área cultivada com soja VORAZ IPRO de ciclo médio (A) e com soja NEO 710 IPRO de ciclo precoce (B)



Fonte: Autores (2022)

Foram utilizados dois talhões, um de 125 hectares semeados com cultivar de soja NEO 710 IPRO de ciclo precoce com 90 a 100 dias para atingir o ponto de colheita, e o outro talhão de 200 hectares com a cultivar VORAZ IPRO de ciclo médio, aproximadamente 125 dias após o plantio para atingir o ponto de colheita. O primeiro talhão mencionado foi semeado entre os dias 15 e 16 de outubro de 2021 e a colheita realizada no dia 24 de janeiro de 2022, já o segundo talhão, a semeadura ocorreu no dia 12 de novembro de 2021 e a colheita realizada no dia 17 de março de 2022.

Em ambas as áreas o plantio ocorreu em sistema de sequeiro, ou seja, sem irrigação artificial da área, os tratamentos culturais ocorreram conforme exigências das cultivares e de acordo com as condições nutricionais do solo, sendo feita as devidas correções por meio de calagem, adubação a lanço em sistema de taxa variada e pulverizações conforme recomendação da fazenda.

A semeadura foi feita em sistema de plantio direto sob a palhada de milho, oriunda da cultura antecedente, por uma semeadora mecânica pneumática Stara Absoluta de 44 linhas com espaçamento de 0,45 m entre linhas. O solo de maior relevância na região trata-se do latossolo vermelho distrófico, sendo o solo predominante para os dois talhões, classificado baseado no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS *et al.*, 2018).

A coleta de imagens digitais referente às áreas ocorreu por meio do site USGS Earth Explorer da NASA disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>, através do satélite orbital Sentinel-2A, sendo baixadas imagens e armazenadas as bandas espectrais do Vermelho (B04) e Infravermelho Próximo (B08), com comprimento de onda central de 0,665 μm e 0,842 μm , ambas com resolução espacial de 10 metros.

Foram determinado o índice vegetal por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) nas duas cultivares, nas diferentes datas entre talhões, visando coincidir os mesmos estádios fenológicos para as duas cultivares, sendo ambas avaliadas nos respectivos estádios fenológicos, no qual: vegetativo; referente ao desenvolvimento da primeira folha trifoliada (20 e 40% do desenvolvimento da planta) visando identificar correlações no potencial vegetativo das duas cultivares; reprodutivo; (60% do desenvolvimento da planta) período de pleno florescimento ao desenvolvimento dos grãos, onde acontece a maior intensidade vegetativa das plantas; maturação; (80%

do desenvolvimento da planta), onde as folhas perdem a intensidade da coloração verde.

As datas foram ajustadas visando coincidir os mesmos estádios fenológicos entre as cultivares, respeitando a escala temporal de 5 dias do satélite Sentinel-2A, e visando uma baixa cobertura de nuvens sobre o local em estudo. Para a cultivar de ciclo médio, as datas para análise do NDVI foram 08/12/2021, 28/12/2021, 22/01/2022 e 22/02/2022, que correspondem aos 26, 46, 71 e 102 Dias Após a Semeadura (DAS), respectivamente, e para a soja de ciclo precoce nas respectivas datas 29/10/2021, 16/11/2021, 03/12/2021 e 28/12/2021, que correspondem aos 13, 31, 48 e 73 DAS, respectivamente.

Delineamento experimental

O primeiro experimento onde foi avaliado o NDVI, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 2x4, em parcelas subdivididas, sendo as diferentes variedades (NEO 710 IPRO ciclo precoce e VORAZ IPRO de ciclo médio) em diferentes datas de coletas (20%, 40%, 60% e 80% do ciclo fisiológico das cultivares), onde os talhões foram subdivididos em 3 áreas iguais, formando 3 repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

No segundo experimento avaliou-se a produtividade e o NDVI Unificado, que representa a união de todos NDVI avaliado nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura da soja. Foi modelada o mapa de zonas de manejo criadas pelo *Plugin Smart-Map* no Qgis, que utiliza o método de agrupamento (clustering) K-means, que agrupa os dados em zonas homogêneas, com base na semelhança dos valores, gerando quatro grupos Z1, Z2, Z3 e Z4.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 2x4, em parcelas subdivididas, utilizando as parcelas as diferentes variedades (NEO 710 IPRO ciclo precoce e a VORAZ IPRO de ciclo médio) em diferentes zonas de manejo classificadas pelos valores de produtividade, com 3 repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

Cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

A estimativa do NDVI ocorreu por meio da metodologia proposta por Rouse *et al.* (1973), destacada pela equação (1), para todos talhões em estudo, correspondendo as bandas espectrais de 10x10 metros, provenientes do satélite Sentinel-2a, com auxílio de software Qgis em sua versão 3.22.0.

A equação 1 com os valores correspondentes as respectivas bandas derivadas do satélite Sentinel-2A corresponderam da seguinte forma:

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

Em que: B08= corresponde a valores Infravermelho Próximo, 0,842 μm ; B04= valores Vermelho (B04) de 0,665 μm .

Confecção dos mapas de produtividade

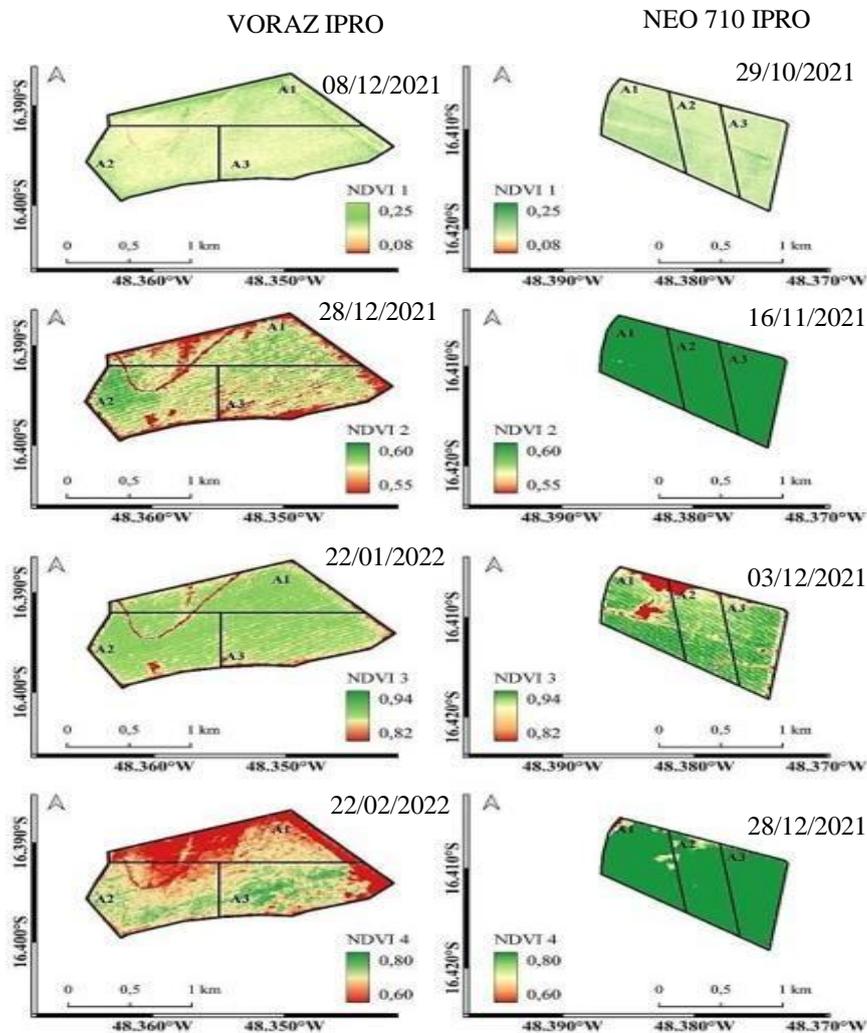
Os mapas de produtividade foram gerados com dados obtidos de forma automática pela colhedora mecânica de grãos da marca John Deere, modelo S790, equipada com display CommandCenter™ 4600, sensores de umidade e peso em seu sistema de transporte de grãos, e receptor de sinal RTK (*real-time kinematic*) StarFire™ 6000, oferecendo precisão de 2,5 centímetros em linhas horizontais.

Os mapas foram criados por meio da interpolação por *Krigagem* ordinária em uma resolução de 10x10 metros, relacionando o peso da massa de grãos colhida e sua respectiva umidade, corrigidas para 13% base úmida, com sua localização, levando em consideração a largura da plataforma de corte com a distância percorrida, apresentando os resultados em formato de mapas temáticos.

Resultados e discussão

Os mapas de NDVI referentes aos quatro estágios de desenvolvimento da soja para as cultivares em estudo em suas respectivas subdivisões estão representados na Figura 2. Na tabela 1 foram apresentados os valores da análise de significância sobre os valores de NDVI para as respectivas datas e cultivares em estudo.

Figura 2. Mapas de NDVI para todos os estágios 20, 40, 60, 80 % do desenvolvimento da cultura da soja para ambas as cultivares (NDVI 1, NDVI 2, NDVI 3, NDVI 4 respectivamente); A1: Área de estudo 1; A2: Área de estudo 2 e A3: Área de estudo 3



Fonte: Autores (2022)

Para valores de NDVI correspondentes ao estágio de 20% do desenvolvimento para as cultivares de ciclo precoce NEO 710 IPRO e VORAZ IPRO de ciclo médio, não houve diferença significativa.

Já para o estágio 80% de desenvolvimento da soja, a cultivar precoce apresentou valor de 0,7052 enquanto a cultivar de ciclo médio apresentou 0,8002, valor maior de NDVI, podendo ser justificado pelo fato de cultivares de soja precoce apresentar velocidade de crescimento superior comparado a soja de ciclo médio ou tardio.

Já os valores médios de NDVI para o estágio de 60% do pleno desenvolvimento da soja a cultivar VORAZ IPRO de ciclo médio apresentou maiores que a de ciclo precoce

NEO 710 IPRO, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de NDVI para respectivas variedades (NEO 710 IPRO ciclo precoce e a VORAZ IPRO de ciclo médio) e diferentes datas de coletas (20%, 40%, 60% e 80% do ciclo fisiológico das cultivares)

DATAS ANALISADAS	CICLO MÉDIO	CICLO PRECOCE
NDVI 1	0,1606 Ad	0,1408 Ac
NDVI 2	0,5772 Bc	0,7213 Ab
NDVI 3	0,8842 Aa	0,8324 Ba
NDVI 4	0,7052 Bb	0,8002 Aa

Fonte: Autores (2022)

NDVI 1: estágio correspondente à 20% do desenvolvimento da cultura; NDVI 2: estágio correspondente à 40% do desenvolvimento da cultura; NDVI 3: estágio correspondente à 60% do desenvolvimento da cultura; NDVI 4: estágio correspondente à 80% do desenvolvimento da cultura. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os valores médios de NDVI para o estágio referente a 60% do pleno desenvolvimento da soja, devidos estarem do período reprodutivo, onde houve diferença significativa entre os materiais estudados, sendo dessa vez a cultivar de ciclo médio superior em relação a cultivar de ciclo precoce.

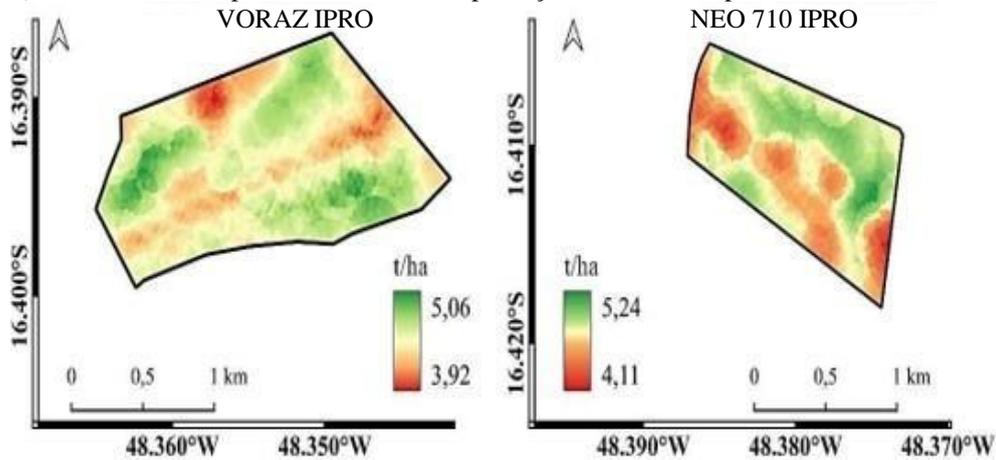
Para valores de NDVI analisados no estágio de 80% do crescimento das cultivares de soja, nota-se diminuição no NDVI para soja de ciclo médio de 0,179 e para ciclo precoce de 0,0322, sendo significativo para a cultivar de ciclo médio, devido as plantas estarem na fase final de seu desenvolvimento como apresentado por Neiverth *et al.*, (2013), a qual consiste no processo de maturação, sendo marcado pela perda gradativa das folhas.

Ao observar os valores de NDVI para cada fase em estudo, nota-se, que para a cultivar VORAZ IPRO de ciclo produtivo médio houve significância entre todos os intervalos, tendo destaque para o quarto estágio de observação correspondente a 80% de seu desenvolvimento, onde é possível identificar uma redução no valor, conforme Neiverth *et al.*, (2013), devido a soja já está no processo de maturação.

Para a cultivar NEO 701 IPRO de ciclo precoce, notamos que para os dois últimos estágios de observação não houve diferença significativa entre eles, devido apresentar precocidade em seu ciclo produtivo, tornando os intervalos de observação reduzidos, para os demais estágios houve significância entre as médias.

A figura 3 representa os mapas de produtividade para as duas cultivares, sendo apresentados em intervalos iguais.

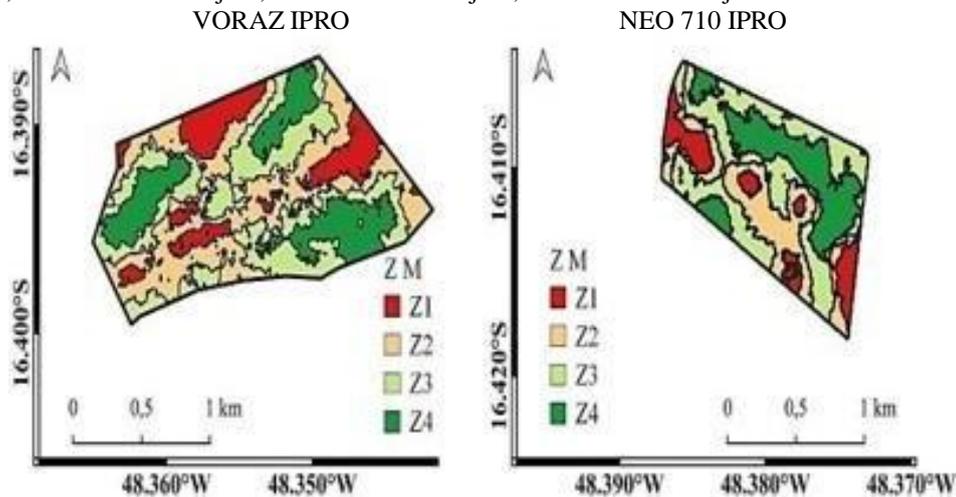
Figura 3. Mapas de produtividade referente a cultivar de ciclo médio (VORAZ IPRO) e ciclo precoce (NEO 710 IPRO) dentro de seus respectivos intervalos de produção em toneladas por hectare



Fonte: Autores (2022)

A partir do intervalo de produção para ambos os talhões, foram criadas zonas de manejo, para o talhão cultivado com soja de ciclo precoce, as zonas de manejo apresentaram os seguintes intervalos de produção, Z1 de 3,92 a 4,25 t.ha⁻¹; Z2 de 4,26 a 4,49 t.ha⁻¹; Z3 de 4,50 a 4,77 t.ha⁻¹ e Z4 de 4,78 a 5,06 t.ha⁻¹. Para a área de cultivar precoce, as zonas de manejo foram divididas da seguinte maneira, Z1 de 4,11 a 4,50 t.ha⁻¹; Z2 de 4,51 a 4,67 t.ha⁻¹; Z3 de 4,68 a 4,96 t.ha⁻¹ e Z4 de 4,97 a 5,24 t.ha⁻¹.

Figura 4. Zonas de manejo criadas a partir dos valores de produção para as duas cultivares. Z1: Zona de Manejo 1; Z2: Zona de Manejo 2; Z3: Zona de Manejo 3; Z4: Zona de Manejo 4



Fonte: Autores (2022)

Na figura 4 acima são apresentadas as zonas de manejo geradas a partir da produtividade de cada cultivar, sendo a zona de manejo 1 (Z1), correspondente a zona de menor valor de produtividade e a zona de manejo 4 (Z4), a de maior produção, e assim sucessivamente com as demais.

Na tabela 2, são apresentados os valores de produtividade, em toneladas por hectares correspondentes a cada zona de manejo, para as diferentes cultivares, comparando os valores entre as zonas e cultivares.

Tabela 2. Valores de produção de soja em toneladas por hectare nas diferentes Zonas de Manejo para as duas cultivares em estudo

ZONAS DE MANEJO	CICLO MÉDIO (t.ha ⁻¹)	CICLO PRECOCE (t.ha ⁻¹)
Z1	4,2171 Bd	4,4145 Ad
Z2	4,4374 Bc	4,6392 Ac
Z3	4,6195 Bb	4,8190 Ab
Z4	4,8158 Ba	4,9911 Aa
MÉDIA GERAL	4,5224	4,7159

Fonte: Autores (2022)

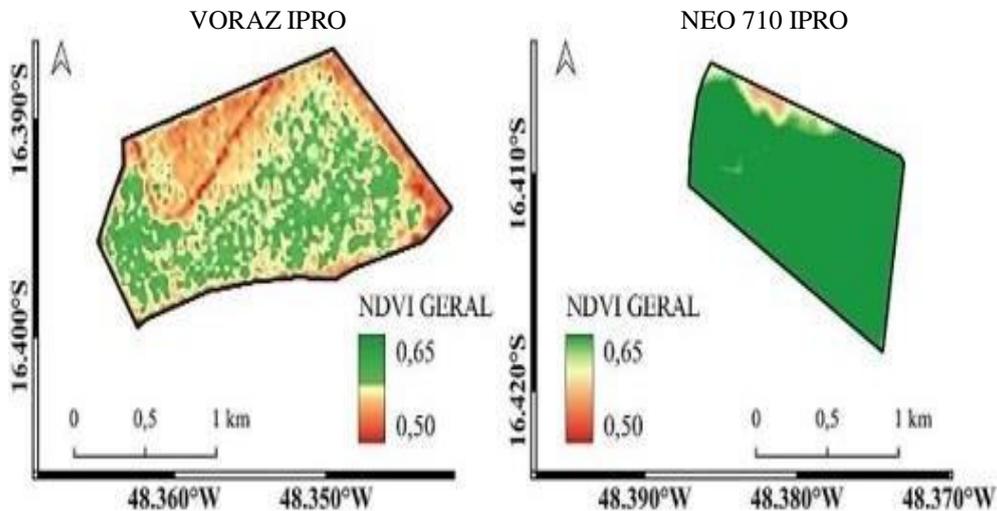
Z1: Zona de Manejo 1; Z2: Zona de Manejo 2; Z3: Zona de Manejo 3; Z4: Zona de Manejo 4. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Pode observar que em todas as zonas de manejo a cultivar de ciclo precoce apresentou superioridade significativa em níveis de produção de grãos em relação a cultivar de ciclo médio, apresentando média geral de produção de 4,7159 toneladas por hectare, cerca de 0,20 toneladas superior a cultivar de ciclo médio, onde sua média geral de produção foi de 4,5224 t.ha⁻¹, comprovando a eficiência na adaptação e no desenvolvimento de cultivares de ciclo precoce, as quais apresentam potenciais produtivos iguais ou superiores em relação a cultivares tardias (POLIZEL *et al.*, 2013).

É possível observar a partir da tabela 2 juntamente com os mapas de produção (figura 3) e zonas de manejo (figura 4) a grande variação em parâmetros produtivos encontrados em ambos os talhões, sendo a média para cada zona de manejo significativa entre elas, as quais, possibilita identificar um intervalo de 0,60 t.ha⁻¹ entre a média da zona de menor produção (Z1) para a média de maior produtividade (Z4), sendo isso para as duas cultivares.

Na Figura 5 são apresentados os mapas de NDVI unificado para todos os estágios analisados (NDVI GERAL) para ambos os materiais.

Figura 5. Mapas de NDVI Unificado para quatro estágios de desenvolvimento da cultura da soja.



Fonte: Autores (2022)

Na tabela 3, são apresentados os valores de NDVI Unificado, correspondentes a cada zona de Manejo para as duas cultivares, aplicando o teste de significância de 5% comparando os valores entre as zonas e cultivares.

Tabela 3. Valores de NDVI Unificado nas diferentes zonas de manejo conforme a produtividade para as duas cultivares em estudo.

ZONAS DE MANEJO	MÉDIO	PRECOCE
Z1	0,5272 Bb	0,7557 Ab
Z2	0,5581 Bab	0,8344 Ab
Z3	0,6654 Bab	0,8402 Aa
Z4	0,7275 Ba	0,8696 Aa

Fonte: Autores (2022)

Z1: Zona de Manejo 1; Z2: Zona de Manejo 2; Z3: Zona de Manejo 3; Z4: Zona de Manejo 4. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O NDVI é considerado por Santos *et al.* (2021), como um forte indicativo da dependência espacial dos atributos químicos do solo, onde é possível observar por meio deste experimento, uma relação entre valores de NDVI e produção, aos quais apresentaram comportamentos semelhantes de significância dentro de cada intervalo, sendo a zona de menor produção (Z1), apresentando menor índice vegetativo, e de maior produção (Z4), abrangendo áreas onde o NDVI se encontrou superioridade significativa para as duas

cultivares.

Conclusões

O índice NDVI apresentou, de modo geral, um comportamento típico dos dosséis vegetais, com valores iniciais baixos que aumentaram gradativamente conforme o desenvolvimento das plantas, atingindo um pico próximo ao estágio de máximo acúmulo de biomassa, seguido por uma redução no final do ciclo da cultura.

Neste estudo, a cultivar de ciclo precoce apresentou produtividade superior à de ciclo médio, evidenciando maior eficiência adaptativa ao ambiente edafoclimático do Cerrado brasileiro.

Observou-se uma correspondência entre os valores de NDVI e a produtividade de grãos dentro de cada zona de manejo, indicando que o NDVI é um indicador confiável do desenvolvimento da soja ao longo do ciclo. Assim, o sensoriamento remoto demonstrou ser uma ferramenta promissora para estimativas de produtividade e apoio à tomada de decisão no manejo da cultura.

Referências

ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, M. V. A. Drone Aplicado Na Agricultura Digital. **Ipê Agronomic Journal**, Goianésia, v. 3, n. 1, p. 14– 18, 2019.

BORATTO, I. M. D. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos, p. 7345–7352, 2013.

COELHO, J. P. C.; SILVA, J. R. M. DA. **Agricultura Precisão**, Lisboa: AJAP, 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Café. **Boletim da Safra 2021 de café**, v. 8, n. Terceiro levantamento, p. 59, 2021.

GESTEIRA, G. D. S.; ZAMBIAZZI, E. V.; BRUZI, A. T.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M.; SILVA, K. B. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 79–88, 2015.

GEOAPLICADA. **Níveis de coleta de dados do Sensoriamento Remoto**. 2018. Disponível em: <[https://www.geoaplicada.com/sensoriamento-remoto/niveis-de-coleta-](https://www.geoaplicada.com/sensoriamento-remoto/niveis-de-coleta-de-dados-335)

sensoriamento-remoto> Acesso em: janeiro de 2022

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Primeira divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281559>> Acesso em: janeiro de 2022

KESTRING, F. B. F.; GUEDES, L. P. C.; BASTIANI, F.; URIBE-OPAZO, M. A. Comparação de mapas temáticos de diferentes grades amostrais para a produtividade da soja. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 733–743, 2015.

NEIVERTH, W.; CRUSIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. F. C.; FERREIRA, L. C.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação. **VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina, p. 204-209, 2013.

POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T.; HAMAWAKI, R. L.; GUIMARÃES, S. L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de Genótipos de soja no estado de Mato Grosso. **Biosci. Jounal**. Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 910-920, 2013.

RODRIGUES, L. V.; ROGGIA, S.; CRUSIOL, L. G.; CAVALLARI, L. S.; PEREIRA, J. P. V.; FERRARI, F. Teor de clorofila e NDVI de soja em resposta ao ataque do percevejo-marrom, *Euschistus Hero*. **VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina, p. 20-23, 2012.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. & DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. NASA/GSFC, Distrito de Columbia, 1973.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Brasília, 2018.

SANTOS, S. C. C. C.; PEREIRA, L. M.; NASCIMENTO, J. M.; SECRETTI, M. L. Correlação da produtividade da soja com os atributos químicos do solo e o NDVI. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (BRAS)**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 430- 438, 2021.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução À Agricultura De Precisão: Conceitos E Vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159–163, 2002.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Grains productivity, adaptability and stability of earlier and medium cycles of soybean genotypes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1203–1214, 2015.