

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL**

MARCOS EDUARDO MIRANDA ALVES

**VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA EM
FUNÇÃO DAS ZONAS DE MANEJO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA EM
FUNÇÃO DAS ZONAS DE MANEJO**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul, como parcial
para a obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique
Rojo Baio

CHAPADÃO DO SUL - MS

2024



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **MARCOS EDUARDO MIRANDA ALVES.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dr. Job Teixeira de Oliveira

Membro da Banca Examinadora

Dra. Dthenifer Cordeiro Santana

Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 22 de outubro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Henrique Rojo Baio, Professor do Magisterio Superior**, em 22/10/2024, às 15:06, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dthenifer Cordeiro Santana, Usuário Externo**, em 22/10/2024, às 15:24, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Job Teixeira de Oliveira, Professor do Magisterio Superior**, em 22/10/2024, às 21:28, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5185178** e o código CRC **830C2C63**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000618/2024-11

SEI nº 5185178

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus que sempre me deu forças, a minha família que me apoiou durante todo o curso, aos amigos que fiz durante essa jornada da graduação e a mim mesmo como forma de superação de minha trajetória até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, que sempre esteve comigo principalmente nos momentos mais difíceis. A minha família (Mãe, Pai, Avós) que me proporcionaram condições financeiras para que e realiza-se o curso, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

Aos meus professores que tive durante a graduação, com todo conhecimento passado, pois sem eles nada disso seria possível, em especial a dois que tenho um carinho enorme e admiro muito o trabalho, professora Dra. Meire Aparecida Silvestrine Cordeiro. Sendo minha primeira orientadora, quando participei do grupo PET Agroflorestal e ao meu atual orientador professor Dr. Fabio Henrique Rojo Baio, que me acolheu no seu grupo de estudos GEAP (Grupo de Estudos em Agricultura de Precisão), desde de 2021, onde realizamos trabalhos muito bons, que me fez gostar cada vez mais dessa área da agronomia. Sendo essa uma área de atuação profissional que eu anseio em trabalhar, seguindo como exemplo profissional o professor Fabio.

A Julia F. de Alcantara, que esteve comigo durante quase toda minha graduação, sempre me incentivando, que foi muito importante durante esse período. Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, pois foi de muita importância não passar por tudo isso sozinho. Em especial a Gleciane Aparecida, Gabriela Souza, Grazielle Nogueira, Lauani Fidelis, Alisson Graciano, Francisco Willian, que sempre me apoiaram, me ajudaram nessa caminhada, amigos estes que se tornaram família.

A UFMS que me proporcionou ter um curso de alta qualidade, com um suporte muito bom para o acadêmico. Aos seus colaboradores que sempre me ajudaram, para conduzir os experimentos a campo ou laboratório.

De maneira geral, agradeço a todos que estiveram comigo durante minha graduação.

LISTA DE FIGURAS

Página

01. Figura 1 - Precipitação (mm), temperatura (°C) máxima, mínima e média, a cada dez dias, durante a condução do experimento, na cidade de Chapadão do Sul-MS, na safra agrícola de 2023/24..... 3
02. Figura 2 – Mapa resultado da interpolação dos dados de potássio, oriundos da análise de solo..... 7

03. Figura 3 - Mapa de Índice de Vegetação NDVI (Índice de Vegetação por diferença normalizada), relacionado as Zonas de Manejo..... 10
04. Figura 4 - – Mapa de produtividade gerado pelo programa ArqGis 10.5, através dos dados de colheita do experimento..... 12
05. Figura 5 – Correlação de Pearson com a interação da variável produtividade com altura de planta, peso grãos, NDVI, NDRE, vagens planta..... 13
06. Figura 6 – Análise de variáveis canônicas para avaliação das Zonas de manejo (Pop, alta, média e baixa), produtividade, vagens por planta, altura de planta, peso de 100 grãos, NDVI e NDRE..... 15

LISTA DE TABELA

01. Tabela 1 - Resultados da análise de solo sobre a área experimental.....	Página 6
02. Tabela 2 - Valores baixos, médios e altos que são utilizados para interpretar resultados de análise de solo. EMBRAPA (2006).....	6
03. Tabela 3 - Relação dos índices de vegetação.....	9

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
INTRODUÇÃO	3
MATERIAL E MÉTODOS	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
NDVI em cada zona de manejo	11
Produtividade relacionado com NDVI e as Zonas de Manejo.....	12
Correlação entre as características avaliadas com a produtividade	14
Análise de variáveis canônicas entre as variáveis	15
CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS	18

VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA EM FUNÇÃO DAS ZONAS DE MANEJO

Resumo – A variação populacional de sementes de soja pode ser utilizada em função das zonas de manejo (ZM) em campo. As ZM são regiões dentro do mesmo talhão as quais possuem características e potencial produtivo semelhantes. O objetivo do presente trabalho foi estabelecer zonas de manejo em uma determinada área, utilizando o conceito da lei do mínimo como fator de fertilidade determinante. Anteriormente a instalação do experimento em campo, foi realizado um mapeamento da fertilidade do solo utilizando as análises de solo, afim de ver os níveis dos elementos nutricionais do solo, que posteriormente foi utilizado como variáveis do experimento. As zonas de manejo foram escolhidas de acordo com a variabilidade espacial do nutriente potássio (K) e da CTC (capacidade de troca de cátions), onde a região de fertilidade da área era menor foi semeado mais sementes, a região de maior fertilidade foi semeado menos sementes e a região média de fertilidade foi semeado a quantidade de sementes recomendada pela empresa que comercializa a cultivar. As zonas de manejo foram definidas através da ferramenta álgebra de mapas do programa de SIG Qgis 3.28.2. Foram estabelecidas três zonas de manejo em uma área de um hectare, sendo: zona 1, a maior população 223.200 mil sementes por ha⁻¹, zona 2, população média 192.600 mil sementes por ha⁻¹, sendo a população da Zona de Manejo 2, determinada pela empresa que comercializou a cultivar utilizada no experimento, e zona 3, menor população 169.200 mil sementes por ha⁻¹. Nesse estudo foi verificado, que determinar zonas de manejo em uma área, ocorre variações na produtividade em cada zona de manejo. Sendo a lei do mínimo um fator a se considerar para determinar as zonas de manejo. Por isso surge a importância desse estudo, pois isso pode ajudar os produtores na tomada de decisão para uma melhor distribuição de sementes de soja no cerrado. Na área onde foi realizado o experimento, onde a fertilidade do solo era maior e a população na semeadura foi menor, obteve maior produtividade. Onde a fertilidade era menor e a população na semeadura foi maior teve uma produtividade menor, quando se comparado a zona de manejo de população baixa e maior na zona de população média.

Palavras-chave: Zonas de Manejo, Lei do mínimo, Taxa variável de sementes.

VARIATION IN SOYBEAN SEED POPULATION ACCORDING TO MANAGEMENT ZONES

Abstract - The population variation of soybean seeds can be used according to the management zones (MZ) in the field. The MZ are regions within the same plot that have similar characteristics and productive potential. The objective of this study was to establish management zones in a given area, using the concept of the law of minimum as a determining fertility factor. Before installing the experiment in the field, a soil fertility mapping was performed using soil analysis in order to see the levels of the soil's nutritional elements, which were later used as variables in the experiment. The management zones were chosen according to the spatial variability of the nutrient potassium (K) and CEC (cation exchange capacity). Where the region of the area with lower fertility was sown more seeds, the region with higher fertility was sown fewer seeds, and the region with average fertility was sown the amount of seeds recommended by the company that markets the cultivar. The management zones were defined using the map algebra tool of the GIS program Qgis 3.28.2. Three management zones were established in an area of one hectare, namely: zone 1, the largest population 223,200 thousand seeds per ha⁻¹; zone 2, average population 192,600 thousand seeds per ha⁻¹, with the population of Management Zone 2 determined by the company that marketed the cultivar used in the experiment; and zone 3, the smallest population 169,200 thousand seeds per ha⁻¹. This study found that when determining management zones in an area, variations in productivity occur in each management zone. The law of minimum is a factor to be considered when determining management zones. Hence the importance of this study, as it can help producers in making decisions for a better distribution of soybean seeds in the cerrado. In the area where the experiment was conducted, where soil fertility was higher and the population at sowing was lower, higher productivity was obtained. Where fertility was lower and the population at sowing was higher, lower productivity was obtained, when compared to the management zone with low population and higher in the zone with medium population.

Key-words: Management Zones, Law of Minimum, Variable Seed Rate.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) é uma ferramenta relacionada a prática do uso da informação, através da variedade espacial e temporal dos fatores produtivos, e que podem interferir na produtividade esperada de uma cultura agrícola (Borges et al., 2022). Sua aplicabilidade é ampla, e vem sendo utilizada na prática em campo para melhor adequar as doses de vários insumos agrícolas: como fertilizantes, corretivos, ou mesmo a variação da população de sementes (Basso et al., 2019). Por essa tecnologia é possível maximizar o aproveitamento dos insumos agrícolas, visando a obtenção de maiores lucros na produção, juntamente com uma agricultura mais sustentável (Ezenne et al., 2019).

A estudos da taxa variável de populações de soja, são variados distribuição de sementes e o espaçamento entre linhas (Cox et al., 2010; Thompson et al., 2015) em pequenos campos experimentais. Esses experimentos também são bastante utilizados para adaptação de diferentes materiais genéticos e estudo da população ideal de cada cultivar, para sua comercialização (Ribeiro et al., 2017). A semeadura em taxas variadas pode ser o ponto chave para minimizar os custos de investimento nesse insumo, os quais vem crescendo ao longo dos últimos anos (Kazlauskas et al., 2021).

O conhecimento da variabilidade espacial dos elementos nutricionais do solo pode ajudar a definir a população ideal de plantas de soja no campo a ser cultivada (Machado et al., 2018). Entretanto, a solução do solo possui diferentes concentrações dos diversos nutrientes às plantas, os quais corroboram junto com outros fatores, como ambientais e fitossanitários, no estabelecimento da produtividade da cultura. Um nutriente mineral é um elemento essencial ou benéfico para o desenvolvimento da planta ou aos seus atributos de qualidade ou de produtividade (Brown et al., 2022). Justus Von Liebig é considerado o pai da nutrição mineral de plantas, e popularizou a Lei do Mínimo (a idealização foi de Carl Sprengel em 1826), pela qual foi enunciado que “a produtividade de uma cultura é limitada pelo nutriente que está presente em menor quantidade naquele instante” (Tang e Riley, 2021).

A variação populacional de sementes de soja (*Glycine max*) pode ser utilizada em função das zonas de manejo (ZM) em campo. As ZM são regiões dentro do mesmo talhão as quais possuem características e potencial produtivo semelhantes (Silva et al., 2020). O estabelecimento das diferentes ZM pode ser alcançado segundo a variabilidade do histórico dos mapas de produtividade da área, mapas de índices de vegetação e/ou mapas dos diferentes atributos da fertilidade e física do solo. Na prática, a definição das ZM segue um estudo *in loco* para cada talhão (Machado et al., 2018). De acordo com Machado

et al. (2018), em um experimento de dois anos com a cultura da soja, a utilização de duas populações de plantas proporcionou resultados inversos de acordo com a ZM. Na ZM com maior produtividade potencial, a maior população de plantas resultou em menor produtividade, enquanto na ZM com menor produtividade potencial, o efeito foi o contrário, por onde a maior população resultou em maior produtividade da cultura da soja. Sendo assim, hipoteticamente, a variação da população ideal de soja pode ser vinculada à variabilidade da fertilidade ou outro fator, o qual está limitando a produtividade máxima da cultura naquela área?

Conhecer a variabilidade do solo poderia ajudar a definir a população ideal de plantas de soja no mesmo campo a ser cultivada (Machado et al., 2018). Esse estudo apresenta uma nova ferramenta que tem como função auxiliar na tomada de decisão para melhor escolher a população de sementes de soja, da forma mais adequada economicamente, uma vez que a aquisição de sementes tem um alto custo, devido toda a tecnologia, estudo e pesquisa para o melhoramento das cultivares.

O objetivo do presente trabalho foi estabelecer zonas de manejo em uma determinada área, utilizando o conceito da lei do mínimo como fator de fertilidade determinante nesse estabelecimento, que em conjunto com a variabilidade espacial da CTC do solo, elaborou-se um mapa de prescrição para a semeadura em taxa variável de semente de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Campus da UFMS em Chapadão do Sul/CPCS (18° 46' 44" Sul, 52° 36' 59" Oeste). Na safra agrícola de 2023/2024.

O clima da região, segundo Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Durante o cultivo da soja não houveram condições climáticas desfavoráveis para o desenvolvimento da cultura (Figura 1).

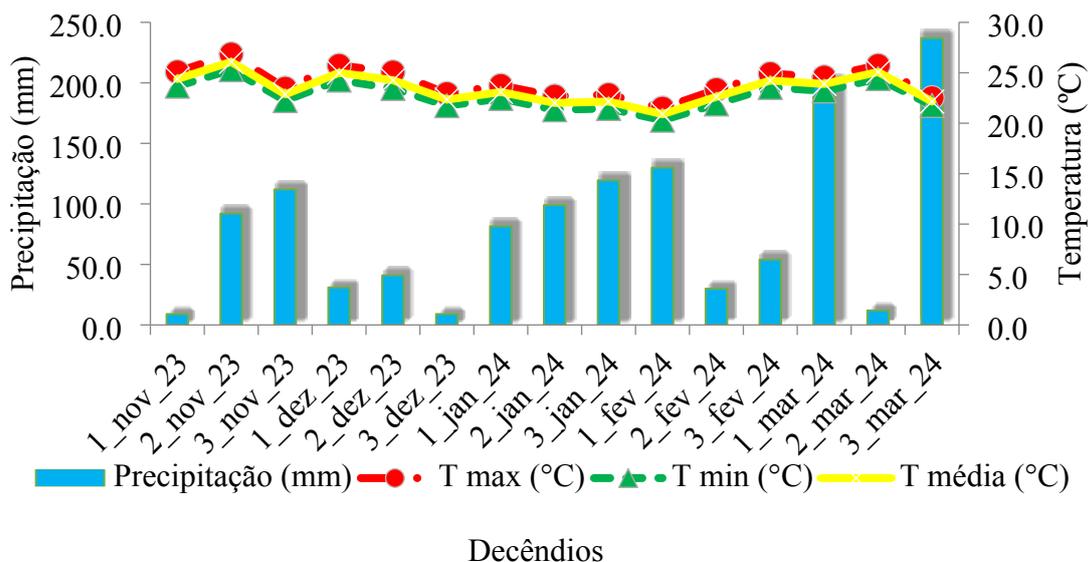


Figura 1 – Precipitação (mm), temperatura (°C) máxima, mínima e média, a cada dez dias, durante a condução do experimento, na cidade de Chapadão do Sul-MS, na safra agrícola de 2023/24.

O solo é da ordem Latossolo Vermelho (Santos et al., 2018), típico da maioria dos solos presentes no Bioma Cerrado, contendo argila de baixa atividade e que sofreu grande ação do intemperismo. Nesse contexto onde há o cultivo de grande porção da soja produzida no Brasil.

Anteriormente a instalação do experimento em campo, foi realizado um mapeamento da fertilidade do solo utilizando as análises de solo (Tabela 1), afim de ver os níveis dos elementos nutricionais do solo, que posteriormente foi utilizado como variáveis do experimento.

Tabela 1 - Resultados da análise de solo sobre a área experimental, .

	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P meh	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	cmolc dm ⁻³				mg dm ⁻³							
Médias	4,09	1,39	0,08	3,50	66,50	29,76	0,00	1,76	66,38	16,53	7,93	3,66
Mínimos	3,00	0,80	0,05	2,20	44,00	14,00	0,00	0,90	52,00	10,90	5,00	2,30
Máximos	5,20	2,00	0,11	4,90	81,0	56,90	0,00	2,80	82,00	20,70	10,80	4,70
CV	17,14	29,15	24,48	25,99	18,23	45,54	0,00	31,71	14,53	21,43	25,43	22,30

	CaCl ₂	V	Sat Al	CTC	Argila	M.O.	C.O.
	pH	%	cmolc dm ⁻³		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	g dm ⁻³
Médias	5,25	61,57	1,38	9,14	0,00	0,00	0,00
Mínimos	4,80	44,40	0,80	8,54	0,00	0,00	0,00
Máximos	5,70	75,20	2,30	9,86	0,00	0,00	0,00
CV	5,95	16,82	34,06	4,68	0,00	0,00	0,00

Os elementos nutricionais do solo, são importantes para garantir uma boa produtividade, pois uma planta bem nutrida, produz mais do que uma planta mal nutrida. Dentre as 3 leis da fertilidade, a “lei do mínimo” ou “lei de Liebig” diz que, uma planta cresce de acordo com a oferta dos nutrientes que tem no solo (Mendes., 2007). De outra forma, um bom desenvolvimento de uma planta se limita devido a falta do nutriente que está em menor quantidade no solo (Russell e Russell., 1973).

Observando os valores mínimos dos nutrientes disponíveis para as plantas, e comparando com a recomendação de adubação para a culturas anuais segundo Embrapa (2006), mostrando os valores de interpretação para os nutrientes em baixo, médio e alto (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores baixos, médios e altos que são utilizados para interpretar resultados de análise de solo. Embrapa (2006).

Nutrientes	Interpretação		
	Baixo	Médio	Alto
Ca (mg dm ⁻³)	< 1,6	1,6 – 3,0	> 3,6
Mg (mg dm ⁻³)	< 0,4	0,4 – 1,0	> 1,0
K (mg dm ⁻³)	< 30	30 – 60	> 60
P (teor argila de 35 a 60%)	0 - 4	4,1 – 8	> 8

O elemento potássio (K) dentre todos os nutrientes encontra-se com valor inferior aos outros nutrientes e suas respectivas recomendações. Devido a isso o K foi escolhido como variável para este experimento. Já a CTC foi escolhida nesse experimento, devido sua correlação positiva com os nutrientes do solo em que compõem (Khaledian et al., 2017). Porém a CTC não deve ser utilizada como variável sozinha, pois ela representa fertilidade potencial, mas existem em literaturas como a do Manual de adubação e calagem dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), recomendação de adubação potássica utilizando a CTC do solo a pH 7,0, que é a soma de bases do solo.

O mapeamento e o zoneamento da área, foram feitos logo após o resultado da análise do solo, utilizando o programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica) Qgis 3.28.2. Para definir as zonas de manejo foram feitos dois processos no programa de SIG QGIS, onde o primeiro processo é a interpolação do inverso do quadrado da distância, e depois foi feito o processo de álgebra de mapas, com os mapas de CTC e potássio gerando um mapa de zonas de manejo (Figura 2).

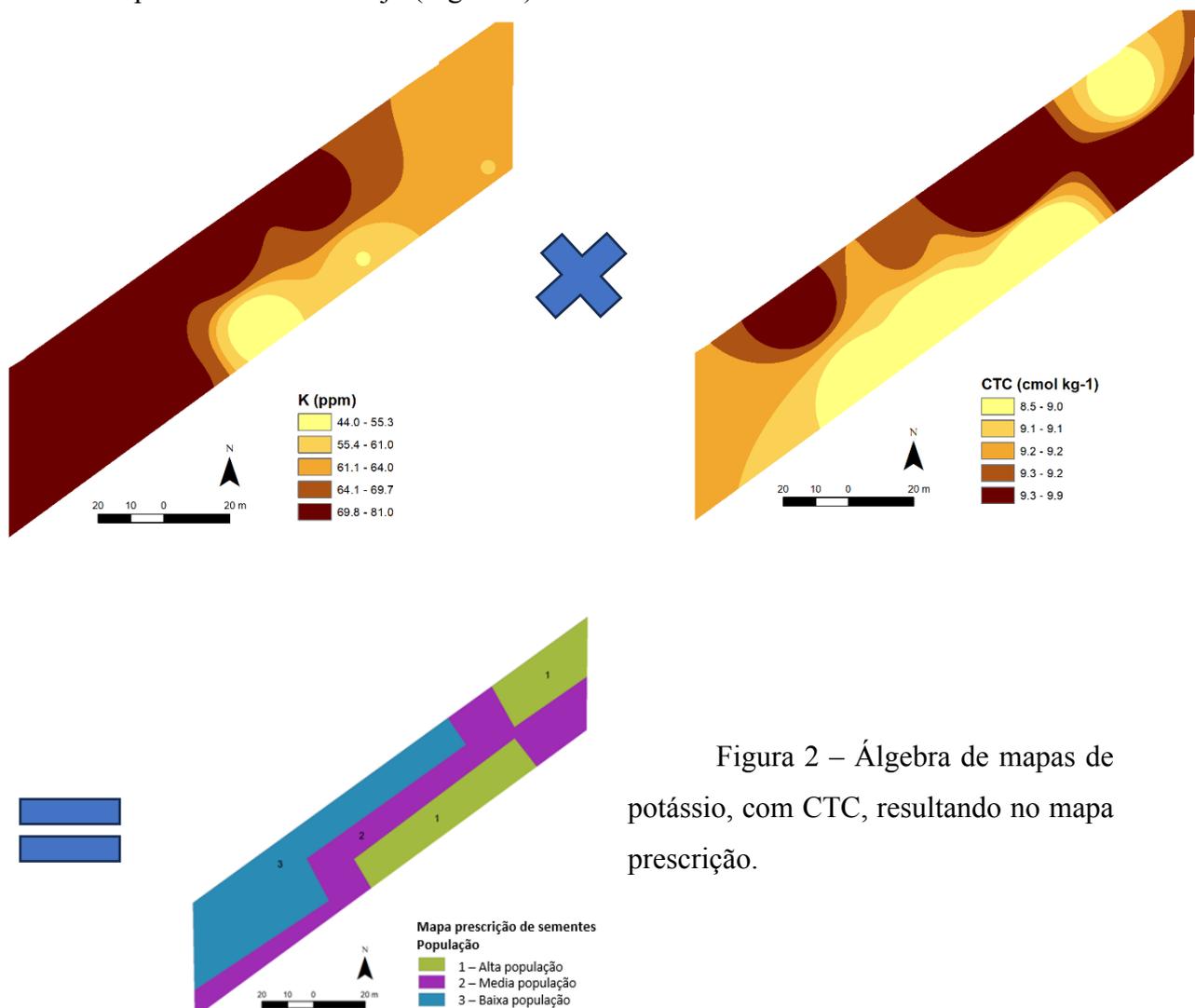


Figura 2 – Álgebra de mapas de potássio, com CTC, resultando no mapa prescrição.

As zonas de manejo escolhidas utilizando o critério da variabilidade espacial do nutriente potássio (K) e da CTC (capacidade de troca de cátions), onde a região de fertilidade da área era menor foi semeado mais sementes, a região de maior fertilidade foi semeado menos sementes e a região média de fertilidade foi semeado a quantidade de sementes recomendada pela empresa que comercializa a cultivar. As zonas de manejo foram definidas através da ferramenta álgebra de mapas. Após feito o mapa de recomendação, foi passado para o aparelho GNSS (Sistema global de navegação por satélite) Nomade, do fabricante Trimble o arquivo shapefile do mapa, para ser delimitado a campo as zonas de manejo estabelecidas.

Se estabeleceu três zonas de manejo em uma área de um hectare. Variou diferentes populações de sementes de soja, sendo: zona 1, a maior população 223.200 mil sementes por ha⁻¹, zona 2, população média 192.600 mil sementes por ha⁻¹, sendo a população da Zona de Manejo 2 determinada pela empresa que comercializou a cultivar utilizada no experimento, e zona 3, menor população 169.200 mil sementes por ha⁻¹.

Para elevar a saturação do solo a 50%, foi realizado a calagem seguindo as recomendações de Souza e Lobato (2004) a semeadura da soja na área experimental foi realizada no dia 16 de novembro de 2023. A semeadora utilizada foi a Jumil modelo Pop, com espaçamento entre fileiras de plantio de 0,50 m. Essa semeadora possui um sistema dosador de sementes por disco vertical a vácuo. Para variar a população de sementes foi necessária a regulagem pela mudança das relações de engrenagens da semeadora na instalação de cada zona de manejo. A cultivar de soja escolhida para o plantio foi a 73I75RSFIPRO (Don 190 Mario Sementes), caracterizada por seu ciclo de crescimento de duração média, do grupo de maturação 7.2.

A colheita manual da cultura da soja foi realizada em 45 pontos amostrais. Assim, sendo mensurada a variabilidade espacial da produtividade nas zonas de manejo, contendo as classes de população de sementes avaliadas. Foram avaliados em 15 pontos aleatórios na área por cada zona de manejo: altura de planta, número de vagens por planta, massa de 100 grãos e colheita das plantas em duas linhas de dois metros cada.

Quando as plantas estavam no estágio fenológico R1, foi feito um voo sobre a área para analisar os índices de vegetação NDVI e NDRE, para isso foi utilizada uma aeronave remotamente pilotada (ARP) de asa fixa senseFly eBee RTK com controle de voo autônomo. Este equipamento possui controle autônomo de decolagem, plano de voo e pouso. O eBee está equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia. Foi utilizado um sensor Parrot Sequoia, uma câmera multiespectral para agricultura que usa um sensor

que capta luz do sol e uma câmera RGB adicional de 16 MP para reconhecimento. A calibração radiométrica foi realizada para toda a área, com base no sensor de luminosidade embarcado na ARP e na superfície reflexiva calibrada fornecida pelo fabricante. A aeronave captura várias imagens da área sobrevoada, sendo necessário fazer uma ortorretificação de imagem, para unir todas as imagens tirada, em uma única imagem. Para isso foi utilizado o software Pix4D. Esse programa foi utilizado para corrigir os parâmetros de irradiação solar em relação ao sensor da câmera e do alvo de calibração da refletância.

As informações adquiridas pelos comprimentos de ondas possibilitaram os cálculos dos índices de vegetação realizadas pelo software QGis (Tabela 3). O levantamento aéreo foi realizado com o uso da tecnologia RTK (*Real Time Kinematics*), possibilitando estimar a posição da câmera no instante de coleta da imagem com acurácia de 2,5 cm. As imagens foram mosaicadas e ortorretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens foi verificada com pontos de controle em campo (GCP – *Ground Control Points*), levantados com o RTK.

Tabela 3. Relação dos índices de vegetação

Sigla	Índice de Vegetação	Equação	Referência
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$\frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$	(Rouse et al., 1974)
	Índice de vegetação da diferença normalizada pelo Red-Edge	$\frac{(R_{NIR} - R_{EDGE})}{(R_{NIR} + R_{EDGE})}$	(Gitelson et al., 1996)
GNDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada ao verde	$\frac{(R_{NIR} - R_{GREEN})}{(R_{NIR} + R_{GREEN})}$	(Gitelson et al., 1996)
SAVI	Índice de vegetação ajustado pela presença de solo	$(1 + 0,5) \frac{nir - red}{nir + red + 0,5}$	(Huete, 1988)

MSAVI	Índice de vegetação modificado ajustado pela presença de solo	$\frac{2nir + 1 - \sqrt{(2nir + 1)^2 - (8nir - 7)}}{2}$	(Qi et al., 1994)
MCARI	Índice de refletância de absorção de clorofila modificado	$R_{700} - R_{670} - 0.2(R_{700} - R_{550}) \frac{R_{700}}{R_{670}}$	(Daughtry et al., 2000)
EVI	Índice de vegetação aumentada	$2.5 * \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{((R_{NIR}) + (C1 * R_{NIR}) - (C2 * R_{BL}))}$	(Huete et al., 1997)
SCCCI	Índice simplificado de conteúdo de clorofila do dossel	$\frac{NDVI}{NDRE}$	(Raper & Varco, 2015)

R_{NIR} : reflectância na faixa do infravermelho próximo; R_{GREEN} : reflectância na faixa do verde; R_{RED} : reflectância na faixa do vermelho; R_{EDGE} : reflectância na faixa de transição do vermelho (Red-edge); L : fator de correção do efeito do solo.

Foi elaborada a rede de correlação de Pearson para expressar graficamente os resultados, nos quais a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós (Bhering, 2017). Linhas verdes expressam correlações positivas entre as variáveis, ou seja, quando uma variável aumenta a outra aumenta junto, linhas vermelhas expressam correlações negativas, quando uma cresce a outra diminui. A espessura das linhas sendo verde ou vermelha significa a intensidade da relação entre as variáveis, onde quanto maior a espessura maior a correlação e quanto menor a espessura menor a correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

NDVI em cada zona de manejo

Através do sensoriamento remoto, são obtidas imagens de um determinado local, onde podem ser calculados os diferentes tipos de índice de vegetação, específicos para cada necessidade de trabalho. Os índices de vegetação são separados por classes considerando a estrutura da vegetação, bioquímica e fisiológica da planta (Galvão et al., 2018). O índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por diferença normalizada), expressa a saúde da vegetação, clorofila e carotenoides (Marion et al., 2021).

Pelos resultados obtidos, o IV NDVI, apresentou variações em cada zona de manejo. Observando a legenda do mapa, quanto mais próximo do valor 1 mais verde está a massa vegetal, isso é um indicativo de que a planta está fazendo fotossíntese em um nível adequado para seu desenvolvimento, uma vez que o IV NDVI está relacionado com a clorofila, fotossíntese das plantas (Peng et al., 2017). Essa variação do IV pode estar relacionada com a variação de sementes que foram semeadas em cada zona de manejo, pois onde se obteve os menores valores do IV, a população de plantas era a maior (Zona de Manejo 1) com 223.200 mil sementes por ha^{-1} . Uma hipótese do que pode ter ocorrido nessa zona em relação ao NDVI é que, com o adensamento de sementes por metro, aumenta a competição por luz para que as plantas se desenvolvam, fazendo com que as plantas estimulem o crescimento do caule em busca da luz, não tendo um desenvolvimento de folhas satisfatório para fazerem fotossíntese suficiente (Marion et al., 2021). Já onde a população era menor (Zona de Manejo 3) com 169.200 mil sementes por ha^{-1} e na população média (Zona de Manejo 2) com uma população de 192.600 mil sementes por ha^{-1} o contrário ocorreu (Figura 3).

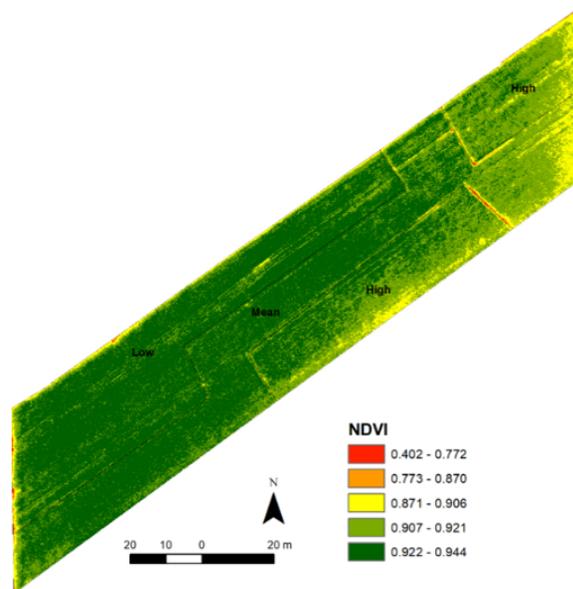


Figura 3 – Mapa de Índice de Vegetação NDVI (Índice de Vegetação por diferença normalizada), relacionado as Zonas de Manejo.

Nessas duas zonas obtiveram valores de NDVI superiores a Zona de Manejo 1, indicando um melhor desenvolvimento de plantas, plantas saudáveis metabolicamente, onde as plantas refletiram mais infravermelho próximo. O índice de vegetação NDVI teve relação com a produtividade da cultura e no número de vagens por planta. Santi et al. (2013) citaram que o uso do sensoriamento remoto na cultura da soja é uma importante ferramenta no diagnóstico dos aspectos que afetam o desenvolvimento da cultura e permite a utilização de taxas variáveis. O NDVI está relacionado a bioquímica da planta, índice de área foliar, produção de biomassa (Le Page; Zribi, 2019) então o NDVI é um bom indicativo para se efetuar zonas de manejo nas áreas de produção de soja.

Para Corassa et al. (2018), quando se faz taxa variável de sementes de soja, se tem diferença na interceptação na radiação solar entre as taxas de alta população e baixa população, o que afeta toda a fisiologia das plantas, como capacidade reprodutiva, aumentando o número de vagens e sementes por planta.

Produtividade relacionado com NDVI e as Zonas de Manejo

A produtividade é o produto final de uma cultura, sendo para os produtores o atributo de maior interesse em uma safra agrícola. É o resultado esperado, depois de fazer todo o manejo e cultivo da cultura.

Através do mapa de produtividade (Figura 4), pode se observar que ocorreram variações na produtividade em sacas por hectare no experimento como esperado.

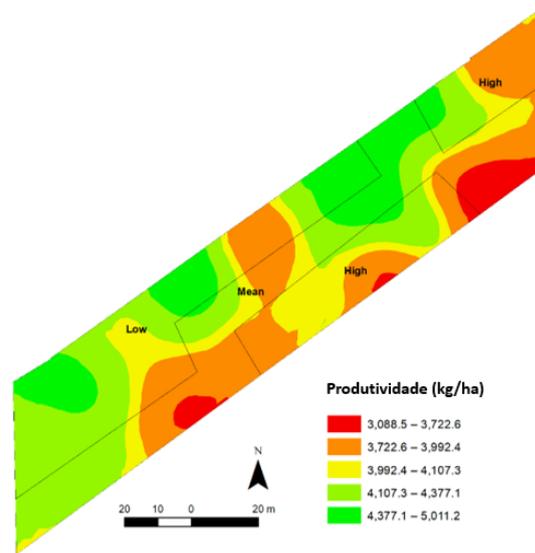


Figura 4 – Mapa de produtividade gerado pelo programa ArqGis 10.5, através dos dados de colheita do experimento.

Quando se compara com o mapa de NDVI (Figura 3), mostra que onde o índice de vegetação tinha valores mais próximo de 1, que indica plantas metabolicamente saudáveis, com desenvolvimento ideal, a produtividade foi maior variando de 68 sacas por hectare à 83 sacas por hectare, sendo considerada uma boa produção para as condições de cerrado brasileiro, corroborando com o trabalho de (Bredemeier et al., 2013). Onde no mapa de NDVI mostrou uma região com IV mais próximo de -1, a produtividade respondeu de forma baixa, quando se comparado a situação anterior, variando a produção de 51 sacas por hectare à 68 sacas por hectare. Essa variação na produtividade pode ter sido influenciada pela variação de população, que afeta diretamente no desenvolvimento das plantas, pois onde as plantas estavam mais adensadas, se teve menores produtividades, isso por que as plantas competiram mais por luz, nutrientes e água. Já onde as plantas não estavam adensadas, a produção foi maior, mas o desenvolvimento fisiológico das plantas foi em melhores condições, menos competição por luz, nutrientes e água.

O uso de sensores remotos na agricultura, atrelado aos índices de vegetação são ferramentas importantes para tomadas de decisão durante o cultivo, pois possibilita aos produtores uma acurácia mais precisa da área, facilitando no manejo das culturas. A

produtividade em cada zona de manejo mostrou resultados que variam a população de sementes, em função da fertilidade real e potencial do solo, ocorrem diferenças na produção final da cultura da soja (Corassa et al., 2018). A maior produtividade em média foi na zona de manejo 3, onde a população era menor. A zona de manejo 3, onde a população era maior teve uma produtividade menor que a zona de manejo 1, porém a sua produtividade foi superior a zona de manejo 2, que era a população indicada pela empresa detentora da cultivar. Segundo Gaspar et al. (2020), pode-se utilizar semeadoras que fazem taxa variável, visando um incremento na lucratividade da produção, seguindo o critério de utilizar taxas de semeadura mais altas em zonas de menor produtividade e taxas de semeadura mais baixas em zonas de maior produtividade.

Quando se olha o mapa de produtividade isolado, observa-se que o lado direito da área, teve uma produtividade média inferior ao lado esquerdo da área, um dos motivos para isso é que no lado direito da área, o nível do terreno é mais baixo em relação ao lado esquerdo da área, acumulando água no solo, atrasando o desenvolvimento das plantas, podendo influenciar os resultados. Uma vez que a produtividade é o resultado final de todo o cultivo, sua variação também pode ser afetada pela ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas.

Correlação entre as características avaliadas com a produtividade

A Figura 5, apresenta a correlação de Pearson, que mostra a interação de cada variável com as demais, de acordo com a proximidade, cor e espessura de cada linha.

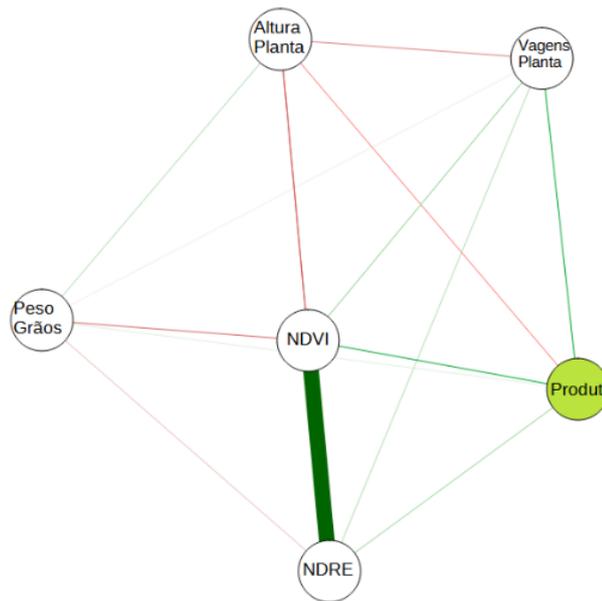


Figura 5 – Correlação de Pearson com a interação da variável produtividade com altura de planta, peso grãos, NDVI, NDRE, vagens planta.

A produtividade expressou uma correlação positiva com as variáveis: vagens por planta e com os índices de vegetação NDVI e NDRE, e uma correlação negativa com as variáveis: altura de planta e peso de grãos. Entre os dois IVs ocorreu uma correlação bastante expressiva nos resultados, isso pode ter ocorrido pois as bandas espectrais que os dois IVs atuam são semelhantes, com uma pequena diferença que o NDRE utiliza uma banda que usa um intervalo do espectro estreito entre o vermelho visível e o infravermelho próximo.

Essa correlação positiva com a variável vagens por planta, pode ter sido ocorrida devido a variação da população, pois onde a produtividade no experimento alcançou os maiores valores, o número de vagens foi maior também. Isso se dá em função de que onde se obteve a maior produtividade em média foi na zona de manejo 3, onde a população era menor, fazendo com que as plantas tivessem menos competição uma com as outras, tendo melhores condições de crescimento de estruturas vegetativas como maior número de ramos por planta, e melhor desenvolvimento de estruturas reprodutivas como número de vagens por planta (Petter et al., 2016).

Análise de variáveis canônicas entre as variáveis

Apenas os mapas de produção não são necessários para comprovar os resultados encontrados no experimento, pois apenas com os mapas de produção, a representatividade dos dados não fique precisas, com isso, é necessária uma análise estatística dos dados coletados. As variáveis canônicas calculadas pela estatística multivariada ilustram a

relação da significância estatística entre todas as variáveis ao mesmo tempo, sendo mais indicada quando os dois conjuntos de dados multivariados aparentemente influenciam um ao outro (Figura 9).

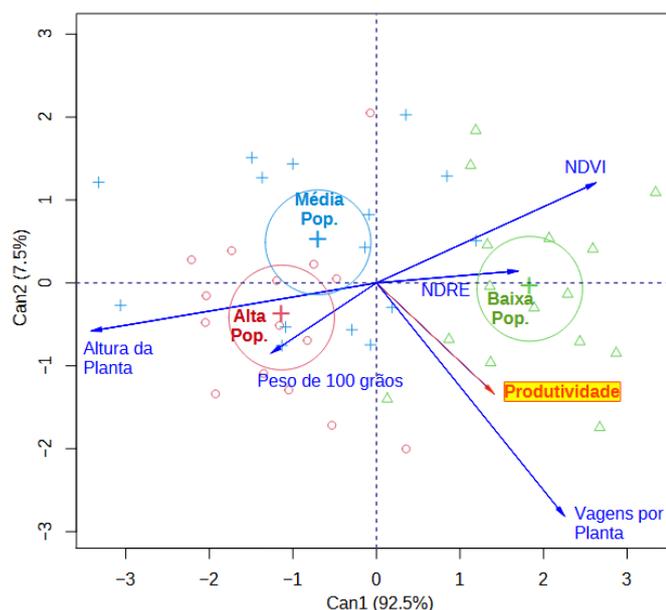


Figura 6 – Análise de variáveis canônicas para avaliação das Zonas de manejo (Pop, alta, média e baixa), produtividade, vagens por planta, altura de planta, peso de 100 grãos, NDVI e NDRE.

Os círculos são os tratamentos avaliados, Zonas de manejo 1,2 e 3, as variáveis são os vetores que tem uma seta indicando suas posições em relação aos tratamentos. O tratamento de população baixa que foi a Zona de Manejo 3, teve uma relação positiva com as variáveis produtividade, vagens por planta e os índices de vegetação NDVI e NDRE. O incremento de vagens por planta nesse tratamento ocorreu devido as plantas terem mais espaço para desenvolver mais ramos laterais aumentando os galhos laterais, onde vão ser formado as vagens (Fontana et al., 2019). A aproximação com o índice de vegetação NDRE pode ser explicada pelo fato de que o índice apresenta um quadro completo do conteúdo de clorofila desde do plantio até a colheita. E uma relação negativa com as variáveis altura de plantas e peso de 100 grãos. Ou seja, quando diminui a população, as plantas não crescem fora do normal, pois não há competição por luz ao redor das plantas.

O tratamento onde a população de plantas foi alta, Zona de manejo 1, teve uma relação positiva com as variáveis altura de planta e peso de 100 grãos, e uma correlação negativa com as variáveis, produtividade, NDVI, NDRE e vagens por planta. Pois quando se adensa a população, em busca da luz as plantas tendem a crescer mais na vertical,

estiolando, formando menos ramos laterais diminuindo o número de vagens (Siqueira et al., 2021). Com número de vagens menor, a produtividade tende a diminuir.

A Zona de manejo 2, onde a população de plantas foi a indicada pela empresa detentora da cultivar não teve correlações estatísticas positivas com as variáveis, quando comparado aos outros dois tratamentos. Isso mostra que a implementação a taxa variável é importante não só para a semeadura, mas também para a fertilidade do solo, obtendo maior conhecimento sobre a variabilidade espacial do solo e na produtividade das culturas. Bere et al. (2024), desenvolveu um trabalho onde os resultados mostraram que através dos elementos químicos do solo, é possível determinar zonas de manejo, mas que requer estudos futuros para melhorias do modelo.

Nesse estudo foi verificado, que determinar zonas de manejo em uma área, ocorre variações na produtividade em cada zona de manejo (Thompson et al., 2015). Sendo a lei do mínimo um fator a se considerar para determinar as zonas de manejo. Por isso surge a importância desse estudo, pois isso pode ajudar os produtores na tomada de decisão para uma melhor distribuição de sementes de soja no cerrado. Pois o custo de aquisição de sementes é muito caro, sendo assim seria possível ajustar a taxa de semeadura e ter um melhor aproveitamento na distribuição das sementes.

A implementação a taxa variável é importante não só para a semeadura, mas também para a fertilidade do solo, obtendo maior conhecimento sobre a variabilidade espacial do solo e na produtividade das culturas, esse estudo traz resultados importantes para auxiliar a tomada de decisão sobre a distribuição de sementes na hora da semeadura. Pois o custo das sementes é muito elevado, sendo de grande importância fazer a melhor adequação possível das sementes nas áreas, garantindo um melhor aproveitamento das sementes.

CONCLUSÕES

As zonas de manejo interferem na produtividade da cultura da soja, e a lei do mínimo pode ser usada para determinar essa variação de população por zonas de manejo.

Na área onde foi realizado o experimento, onde a fertilidade do solo era maior e a população na semeadura foi menor, obteve maior produtividade. Onde a fertilidade era menor e a população na semeadura foi maior teve uma produtividade menor, quando se comparado a zona de manejo de população baixa e maior na zona de população média.

REFERÊNCIAS

- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. *Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, n.20, p.17-36. 2019. DOI: 10.23925/1984-3585.2019i20p17-36
- BERE B. B, MUHAMMAD QASWAR, SELÇUK ARSLAN, YAHYA ULUSOY, KEMAL SULHI GÜNDOĞDU, YÜCEL TEKIN, ABDUL MOUNEM MOUAZEN, Corn yield prediction in site-specific management zones using proximal soil sensing, remote sensing, and machine learning approach, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 225, 2024, 109329, ISSN 0168-1699, DOI: 10.1016/j.compag.2024.109329
- BHERING, L.L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.17, n.2, p.187-190. DOI: 10.1007/978-981-13-1244-1_12.
- BORGES, L. C.; NASCIMENTO, A. R.; MORGADO, C. M. A. Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos. *Scientific Electronic Archives*, v. 15, n. 3, p.71-76, 2022. DOI: 10.36560/15320221520
- 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, p. 1147-1154, 2013.
- BROWN, P. H.; ZHAO, F. J.; DOBERMANN, A. What is a plant nutrient? Changing definitions to advance science and innovation in plant nutrition. *Plant Soil*, v.476, n.1, p.11–23, 2022. DOI: 10.1007/s11104-021-05171-w
- CORASSA, Geomar M. et al. Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern Brazil. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 6, p. 2430-2438, 2018.
- COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rates but not at high thinning rates. *Agronomy Journal*, v.102, p.1238–1243, 2010. DOI: 10.2134/agronj2010.0047.
- EMBRAPA. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206).

EZENNE, GI et al. Capacidades atuais e potenciais de UAS para produtividade de água de cultivo em agricultura de precisão. *Agricultural Water Management*, v. 218, p. 158-164, 2019.

FONTANA, D.C., Santos, L.N. dos, Dalmago, G.A., Schirmbeck, J., Schirmbeck, L., 2019. NDVI e alguns fatores de variabilidade. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 19, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019. Francisco, C.N., Ruiz, P.R.S., Almeida, C.M

GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N.; BREUNIG, F. M.; FORMAGGIO, A. R. Crop type discrimination using hyperspectral data. In: THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.;

GASPAR, Adam P. et al. Definindo taxas ótimas de semeadura de soja e risco associado na América do Norte. *Agronomy Journal*, v. 112, n. 3, p. 2103-2114, 2020.

KAZLAUSKAS, M.; BRUCIENE, I.; ALGIRDAS, J.; ŠARAUSKIS, E. Comparative analysis of energy and ghg emissions using fixed and variable fertilization rates. *Agronomy*, v.11, p.138, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11010138.

LE PAGE, M.; ZRIBI, M. Analysis and predictability of drought in Northwest Africa using optical and microwave satellite remote sensing products. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 1466, 2019.

MACHADO, M. V. M.; MAGGI, M. F.; SOUZA, E. G.; CAMICIA, R. G. M.; AMARANTE, R. E. R. Application of plant densities in management units in the soybean cultivation. *Journal of Agricultural Science*, v.10, n.6, p.319-326, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n6p319

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, Elvis. R. Evolução dos Índices de Vegetação e sua Relação com o Estresse Hídrico: Uma Revisão. *GEOFRONTER*, v. 7, p. 165-171,2021.

PENG, Y., NGUY R., A., ARKEBAUER, T., GITELSON, A. A.. Assessment of canopy chlorophyll content retrieval in maize and soybean: Implications of hysteresis on the development of generic algorithms. *Remote Sensing*, v. 9, n. 3, p. 226, 2017.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A. DA; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A. DE. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja?

Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, v.75, p.173–183, 2016. DOI: 10.1590/1678-4499.447

RIBEIRO, A. B. M.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; VILELA, N. J. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; MOREIRA, S. G. Productive performance of soybean cultivars grown in different plant densities. *Ciência Rural*, v.47, n.7, p. e20160928, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160928

RUSSELL, E. W.; RUSSELL, E. J. Soil conditions and plant growth. 10th ed. London, Longmans Green, 1973. 849 p. SANCHEZ, P. A. Suelos del trópico: car

SANTI, A. L. AMADO, T. J., EITELWEIN, M. T., CHERUBIN, M. R., DA SILVA, R. F., e 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.

SANTOS, H .G dos; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F; COLEHO, M. R; ALMEIDA, J.A. de; ARAÚJO F. J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. Ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SIBCS-2018-ISBN-978870358172.epub>. Acesso em: 10 set. 2024

SILVA, E.E.; BAIIO, F.H.R.; TEODORO, L.R.T.; SILVA JUNIOR, C.A.; BORGES, R.S.; TEODORO, P.E. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.18, p.100318, 2020. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100318

SIQUEIRA, C. B., de OLIVEIRA, F. S., PEIXOTO, P. M. C., & AMARAL, A. A. D. (2021). IMPORTÂNCIA E MANEJO DAS PLANTAS ESPONTÂNEAS NA PERSPECTIVA DA AGROECOLOGIA-REVISÃO. *Nucleus* (16786602), v. 18, n. 2, 2021.

SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. *Cerrado: Correção do solo e adubação*. 2.ed. Brasília, 2004. p. 392-397.

TANG, J.; RILEY, W. J. Finding Liebig’s law of the minimum. *Ecological Applications*, v.31, n. 8, p.e02458, 2021. doi:10.1002/eap.2458.

THENKABAIL, Prasad S.; LYON, John G.; HUETE, Alfredo (Ed.). Biophysical and biochemical characterization and plant species studies. CRC Press, 2018. 2a ed. Boca Raton: CRC Press, 2018, p. 183–210. DOI: 10.1201/b11222-25

THOMPSON, N. M.; LARSON, J. A.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; WALKER, E. R. Mid-South soybean yield and net return as affected by plant population and row spacing. *Agronomy Journal*, v.107, p.979–989, 2015. DOI: 10.2134/agronj14.0453.