

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ederson Bitencourt Pinto

**DENSIDADE DE SEMEADURA DE MILHO COM BASE EM ZONAS
DE MANEJO**

Cachoeira do Sul, RS
2023

Ederson Bitencourt Pinto

**DENSIDADE DE SEMEADURA DE MILHO COM BASE EM ZONAS
DE MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega

Cachoeira do Sul, RS
2023

Ederson Bitencourt Pinto

**DENSIDADE DE SEMEADURA DE MILHO COM BASE EM ZONAS
DE MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 08 de fevereiro de 2023

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)

Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2023

EPÍGRAFE

“Tudo é ousado para a quem nada se atreve.”

(Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus pela saúde e força para vencer esta etapa da minha vida. A minha noiva Juliana, obrigado por todo apoio e paciência, sua atenção foi excepcional para concluir este percurso.

Aos meus pais José Araci Pinto e Solange Bitencourt Pinto pela educação, pelo amor, pela compreensão e apoio durante este difícil período.

Aos amigos, que não caberia nesse espaço o apoio que recebi durante o curso. Portanto, meus amigos sintam-se agradecidos.

A todos os professores e servidores da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, que foram essenciais na minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Eduardo Leonel Bottega, pelo aprendizado e paciência.

A Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, pela estrutura, e contribuição para minha formação.

RESUMO

DENSIDADE DE SEMEADURA DE MILHO COM BASE EM ZONAS DE MANEJO

AUTOR: Ederson Bitencourt Pinto
ORIENTADOR: Eduardo Leonel Bottega

Técnicas de agricultura de precisão auxiliam o produtor na tomada de decisão de manejo a ser empregada na lavoura, de forma a incrementar a lucratividade. As decisões são pautadas na variabilidade espacial existente no solo, necessitando, portanto, que a mesma seja mapeada. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) trata-se de uma ferramenta potencial no mapeamento da variabilidade espacial do solo, servindo de base para delimitação de zonas de manejo (ZM), possibilitando a adoção de manejos diferenciados em cada ZM, otimizando assim o uso de insumos e proporcionando uma exploração agrícola mais sustentável. Este estudo teve como objetivo analisar o comportamento produtivo da cultura do milho, cultivado em diferentes densidades populacionais, em zonas de manejo delimitadas com base no mapeamento da variabilidade espacial da CEa. O estudo foi conduzido em uma propriedade rural no município de Cachoeira do Sul durante safra 2021/2022. Foi mensurada a CEa do solo e posteriormente delimitadas duas ZM, uma de baixa e outra de alta CEa. Em cada ZM, quatro densidades de semeadura de milho foram testadas, sendo elas: 60.000 (D1), 80.000 (D2), 100.000 (D3) e 140.000 (D4) sementes ha^{-1} . Foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento de espiga, número de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número de fileira por espiga, peso de mil grãos e produtividade. A condutividade elétrica aparente do solo apresentou variabilidade espacial na área estudada, possibilitando a delimitação de duas zonas de manejo. O aumento na densidade de semeadura, na zona de manejo de alta condutividade elétrica aparente do solo, reduziu de forma linear os valores de diâmetro de espiga, número de fileira por espiga, número de grãos por espiga e peso de mil grãos. A densidade de semeadura 3, equivalente a 100.000 sementes ha^{-1} , quando implantada na zona de manejo de baixa condutividade elétrica aparente do solo, apresentou maiores valores para as variáveis comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e peso de mil grãos. A densidade de semeadura 2, equivalente a 80.000 sementes ha^{-1} , foi a que apresentou maior produtividade de milho, independente da zona de manejo onde foi implantada, sendo obtida produtividade de 5.628,48 $kg\ ha^{-1}$ na zona de manejo de alta condutividade elétrica aparente do solo e 4.463,63 $kg\ ha^{-1}$ na zona de manejo de baixa condutividade elétrica aparente do solo.

Palavras-chave: *Zea mays*. Agricultura de Precisão. Condutividade elétrica aparente do solo. Plantio direto

ABSTRACT

CORN SEEDING DENSITY BASED ON MANAGEMENT ZONES

AUTHOR: Ederson Bitencourt Pinto

ADVISOR: Eduardo Leonel Bottega

Precision agriculture techniques help the producer in making the management decision to be used in the crop, in order to increase profitability. Decisions are based on the spatial variability existing in the soil, therefore requiring it to be mapped. The apparent electrical conductivity of the soil (ECa) is a potential tool for mapping the spatial variability of the soil, serving as a basis for delimiting management zones (ZM), enabling the adoption of different managements in each ZM, thus optimizing the use of inputs and providing a more sustainable farm. This study aimed to analyze the productive behavior of the corn crop, cultivated at different population densities, in delimited management zones based on the mapping of the spatial variability of the ECa. The study was conducted on a rural property in the municipality of Cachoeira do Sul during the 2021/2022 harvest. The ECa of the soil was measured and two ZM were subsequently delimited, one with low and one with high ECa. In each ZM, four maize sowing densities were tested, namely: 60,000 (D1), 80,000 (D2), 100,000 (D3) and 140,000 (D4) seeds ha⁻¹. The following variables were evaluated: ear length, number of grains per ear, number of grains per row, number of rows per ear, thousand-grain weight and yield. The apparent electrical conductivity of the soil showed spatial variability in the studied area, allowing the delimitation of two management zones. The increase in sowing density, in the management zone of high apparent electrical conductivity of the soil, linearly reduced the values of ear diameter, number of rows per ear, number of grains per ear and thousand grain weight. Sowing density 3, equivalent to 100,000 seeds ha⁻¹, when implanted in the management zone of low apparent electrical conductivity of the soil, showed higher values for the variables ear length, ear diameter, number of grains per row, number of grains per ear and thousand-grain weight. Sowing density 2, equivalent to 80,000 seeds ha⁻¹, was the one that presented the highest corn productivity, regardless of the management zone where it was implanted, obtaining a productivity of 5,628.48 kg ha⁻¹ in the high conductivity management zone soil apparent electrical conductivity and 4,463.63 kg ha⁻¹ in the management zone of low apparent soil electrical conductivity.

Keywords: *Zea mays*. Precision Agriculture. Apparent soil electrical conductivity. No-till.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Polígono demarcador da área de estudos e grade de pontos amostrais utilizados como base para mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}).	13
Figura 2 – Matriz de Wenner e Medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02 (a). *Imagem sem escala, apenas ilustrativa.	14
Figura 3 – Trator Ford 7610 (a) e semeadora-adubadora Semeato PSE 8 (b).....	15
Figura 4 – Dados da estação meteorológica próxima a zona experimental.....	17
Figura 5 – Mapa referente ao índice de Moran, ilustrativo da autocorrelação espacial da CEa (a), semivariograma ajustado (b), o gráfico de validação cruzada (c) e mapa temático de variabilidade espacial da CEa na área de estudo (d).	18
Figura 6 – Mapas temático representativo das zonas de manejo e dos locais de semeadura das diferentes populações de plantas estudadas.	20
Figura 7 – Comprimento de espiga (a), diâmetro de espiga (b), número de fileiras por espiga (c), número de grãos por fileira (d), número de grãos por espiga (e) e peso de mil grãos (f) observados para as diferentes densidades de semeadura em função das zonas de manejo onde foram implantadas (ZM 1: alta CEa; ZM 2: baixa CEa).	22
Figura 8 – Produtividades de milho observadas para as diferentes densidades de semeadura em função das zonas de manejo onde foram implantadas (ZM 1: alta CEa; ZM 2: baixa CEa). ..	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m ⁻¹), umidade do solo (Umd, g g ⁻¹), comprimento de espiga (CE, cm), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG, g) e produtividade (PROD, kg ha ⁻¹). Cachoeira do Sul, 2022.	20
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), planta pertencente à família Poaceae e originária das Américas, tem como característica o ciclo anual e destaca-se como a cultura mais cultivada e consumida no mundo. Devido ao seu elevado potencial nutritivo, energético, teor de fibras, além de valor econômico acessível e significativo potencial para produção de grãos, grande área agrícola está associada à alta demanda de alimentos por humanos e animais. (CALONEGO et al., 2011).

Sua produção, segundo estimativas da CONAB (2022) o Brasil produziu em torno de 114,7 milhões de toneladas por safra. A safra 2022 apresentou um total de área cultivada estimada em 21,6 milhões de hectares, superando a safra anterior em 31,7%. Acredita-se que mesmo com o aumento da produção houve uma forte quebra na Região Sul de aproximadamente 20,1% da produtividade no primeiro período, devido ao severo déficit hídrico ocorrido na região no final de 2021 e início de 2022, contudo o estado do Rio Grande do Sul na safra 2021/2022, obteve uma produção de aproximadamente 2,7 milhões de toneladas de milho, com sua área produzida de 801 mil hectares (EMATER, 2022).

A utilização de diferentes cultivares de milho, associada a estratégias que visam incrementar o rendimento da cultura, assim tornando-se foco entre estudos no meio científico. Deste modo, tentando reunir diretrizes para que se obtenha uma recomendação populacional com boa capacidade de prever resultados é importante ressaltar o quão importante recomendação de taxas variáveis populacionais (ANSELMINI, 2016).

Para a semeadura desta cultura temos fatores determinantes, tais como, o espaçamento entre linhas, que influencia no desenvolvimento adequado da cultivar, pois a utilização de espaçamentos inadequados pode resultar na alteração morfológica e fisiológica que acarreta diferentes modificações na floração, ramos e folhas, influenciando diretamente no rendimento da cultura (SANGOI et al., 2013). A distribuição espacial das plantas possibilita explorar diferentes taxas no espaçamento de semeadura, assim, tornando possível a melhoria da produtividade e ampliação da retenção da energia solar, para que ocorra um melhor arranjo e uma melhor absorção de água e nutrientes (MARCHÃO et al., 2005; STACCIARINI et al., 2010; CALONEGO et al., 2011). A distribuição de plantas é fator importante de manejo ao se considerar a ocorrência de eventos climáticos associados ao fenômeno ENOS, como “La Niña” e “El Niño”.

A utilização de tecnologias aplicada ao manejo nas zonas rurais, considerando a variabilidade dos solos, das características das culturas no espaço e no tempo, são fundamentais para uma melhor interpretação, buscando um melhor controle na tomada de decisão para

cultivos agrícolas. A agricultura de precisão (AP) fornece ferramentas adequadas para este tipo de manejo.

Segundo Pierce; Nowak (1999) a AP pode ser entendida como a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental. Sem a utilização da variabilidade espacial, o conceito de agricultura de precisão perde o significado e nunca teria evoluído, pois a mesma utiliza de aspectos da variabilidade dos solos, diversidade de culturas, clima, performance das máquinas agrícolas e insumos (físicos, químicos e biológicos) naturais ou sintéticos empregados na produção das culturas (MULLA; SCHEPERS, 1997)

A tecnologia associada ao conhecimento da variabilidade espacial do solo, possibilita atender as necessidades da planta e do solo na caracterização espacial de fatores, levando assim ao surgimento de novas propostas e sistemas de monitoramento e sensoriamento (ADAMCHUK et al., 2004). Uma das tecnologias empregadas no mapeamento da variabilidade espacial do solo é a mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa), pois possibilita, a partir de seu mapeamento, o acompanhamento na variação de características do solo tais como: salinidade, textura, umidade, densidade, matéria orgânica, lixiviação, entre outras (CORWIN; LESCH, 2005). Além disso, possibilita delimitar regiões do campo produtivo com maior ou menor potencial produtivo, o que auxilia na tomada de decisão quanto ao manejo a ser adotado, otimizando o uso de recursos destinados a produção agrícola.

O presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento produtivo da cultura do milho, cultivado em diferentes densidades populacionais, em zonas de manejo delimitadas com base no mapeamento da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo.

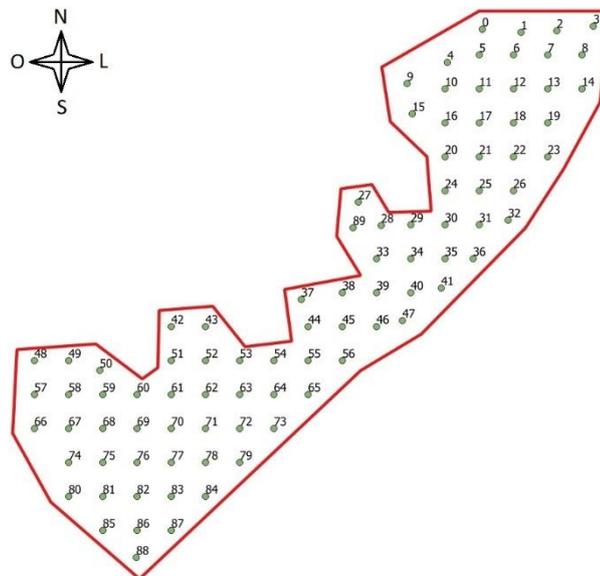
2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2021 a fevereiro de 2022, na localidade Vila Piquiri, no Município de Cachoeira do Sul – RS, com coordenadas centrais 30°13'49" de latitude Sul e 52°47'17" de longitude Oeste, em área destinada ao cultivo de grãos, em talhão com 18,73 ha. O clima predominante da região é classificado como subtropical úmido (ALVARES et al., 2013). O solo da região é classificado como Argissolo (EMBRAPA, 2013). No ano de 2020, no verão, foi realizado plantio direto de soja, em seguida durante o

inverno, realizou-se a gradagem e foi semeado o milho (pastagem), na sequência, após a colheita do milho, foi efetuada a semeadura do milho, utilizado no experimento.

O início do experimento ocorreu estabelecendo a grade amostral com 89 pontos espaçados regularmente em 50 x 50 metros (Figura 1). Estes pontos serviram de base para mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹), atributo do solo que foi utilizado, posteriormente, para delimitar as zonas de manejo (ZM). Utilizou-se um receptor GPS da marca Garmin, modelo GPSMAP 62sc para localização dos pontos amostrais nas áreas de estudo.

Figura 1 – Polígono demarcador da área de estudos e grade de pontos amostrais utilizados como base para mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹).



Fonte: Autor.

A mensuração da CEa se deu através do método de resistividade elétrica. Foram introduzidos no solo quatro eletrodos igualmente espaçados horizontalmente em 0,20 m, objetivando, assim, mediar a CEa representativa da camada de solo de 0,0 – 0,20 m. A configuração e montagem dos eletrodos foi com base na matriz de Wenner (CORWIN; HEDRICKX, 2002; CORWIN; LESH, 2003).

A resistividade obtida utilizando a Matriz de Wenner foi calculada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{2\pi a \Delta V}{i} \quad (1)$$

Em que,

ρ = Resistividade, Ohm m⁻¹;

a = Espaçamento entre eletrodos, m;

ΔV = Diferença de potencial medida, V; e

i = Corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo representa o inverso da resistividade, sendo calculada utilizando a Equação 2.

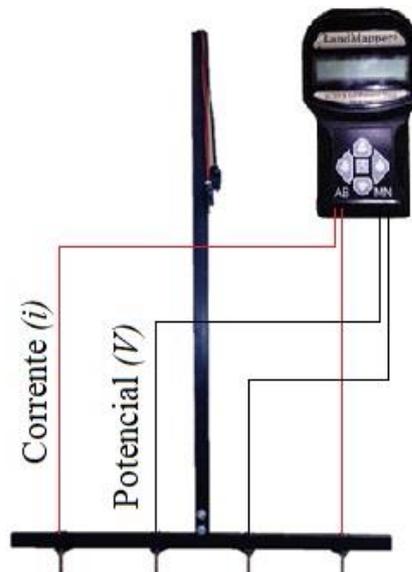
$$CEa = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Em que,

CEa = Condutividade elétrica aparente do solo, $mS\ m^{-1}$.

Para obter a condutividade elétrica aparente do solo, foi utilizado o medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02. O medidor tem a capacidade de medir a diferença no potencial (tensão) entre os pontos, possibilitando obter a resistência elétrica da água (umidade) no solo. A matriz Wenner foi constituída de uma armação em formato de “T”, com tubos de metalon, parafusos de aço (eletrodos) e fios flexíveis de cores diferentes. Os fios vermelhos foram conectados aos eletrodos de corrente e os fios pretos aos eletrodos de potencial. Para garantir confiabilidade nas leituras, o contato dos parafusos com a armação de metalon foi devidamente isolado, sendo estes, revestidos com mangueira de PVC. Na Figura 2 é apresentado o medidor portátil e a matriz, com os eletrodos.

Figura 2 – Matriz de Wenner e Medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02 (a). *Imagem sem escala, apenas ilustrativa.



Fonte: Autor.

No momento das leituras de CEa, foram retiradas amostras de solo (0,0-0,20cm) para determinação da umidade do solo. As amostras foram coletadas utilizando um trado holandês, armazenadas e protegidas em cápsula de alumínio, devidamente identificados e levados para o laboratório. Para estimativa de umidade no solo, foi utilizado o método gravimétrico (padrão estufa). As amostras foram pesadas ainda úmidas, colocadas em estufa a 105°C por 24h e pesadas após estarem secas. Tanto do peso úmido quanto do peso seco foi descontado o peso da cápsula de alumínio.

Após efetuadas as leituras de CEa, foi modelada a dependência espacial deste atributo do solo e delimitadas as zonas de manejo. A dependência espacial da condutividade elétrica aparente do solo foi avaliada pelo modelo validado pela técnica de validação cruzada. Após ajustado e validado o modelo, foi realizada a interpolação dos valores para predição em locais não amostrados. O método de interpolação adotado foi a krigagem ordinária, pois, de acordo com Oliver; Webster (2014), fornece as melhores previsões lineares sem viés.

A análise da variabilidade espacial e a delimitação de zonas de manejo foi realizada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Quantum Gis (QGIS Development Team, 2020), versão 3.10.11 (A Coruña), utilizando o plugin Smart-Map, desenvolvido por Pereira et al. (2021). O Smart-Map possibilita a predição e o mapeamento de atributos do solo. Permite a interpolação dos dados utilizando Krigagem Ordinária e técnicas de *Machine Learning* por meio do *Support Vector Machine* (SVM) bem como a delimitação de zonas de manejo.

Depois de delimitadas as ZM, foi realizada a semeadura do milho. Para semeadura foi utilizado um Trator 4x2 TDA da marca Ford, modelo 7610, com potência de 103 cv e uma semeadora adubadora, marca Semeato, modelo PSE 8, com 6 linhas espaçadas em 0,5 m (Figura 3).

Figura 3 – Trator Ford 7610 (a) e semeadora-adubadora Semeato PSE 8 (b).



(a)

(b)

Fonte: Autor.

O milho foi semeado no dia 28 de setembro de 2021, seguindo o zoneamento agroclimático da cultura do milho na região. O híbrido semeado foi o LG RNC 3040VIP3. Este híbrido dispõe de benefícios de proteção Agrimensure Viptera 3[®], sendo recomendada densidade de semeadura de plantas equivalente a 60.000 plantas por hectare. Neste estudo, foram testadas as seguintes densidades de semeadura: 60.000 (1), 80.000 (2), 100.000 (3) e 140.000 (4) plantas por hectare, objetivando assim, modelar o comportamento produtivo do híbrido implantado, a partir da análise de regressão.

A área utilizada para a semeadura das diferentes populações de plantas estudadas foi equivalente a 66 m², em cada ZM, totalizando 132m². O experimento foi montado seguindo o delineamento estatístico de blocos casualizados (2x4) com 3 repetições, sendo duas ZM (alta e baixa Cea) e 4 populações de plantas. As parcelas foram constituídas de 3 linhas de semeadura com 10 metros de comprimento.

Foram avaliados, para cada densidade de semeadura de plantas em cada ZM, as seguintes variáveis: comprimento de espiga (CE, cm), diâmetro de espiga (DE, cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG, g) e produtividade (PROD, kg ha⁻¹). Foram colhidas, de forma manual, em cada repetição de cada tratamento, as espigas presentes nas plantas em 3 linhas com 10 metros de comprimento. O CE e o DE foi obtido medindo as espigas com uma régua graduada, o NFE, NGF e NGE foi obtido por contagem manual, o PMG foi obtido pesando mil grãos em balança de precisão e a PROD foi estimada extrapolando o peso obtido por área de cada repetição para 1 hectare.

Os valores obtidos foram registrados em planilha Excel. Foram submetidos a análise estatística descritiva, calculando-se o valor mínimo, média, valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. Realizou-se análise de regressão a fim de ajustar modelos representativos do comportamento de cada componente estudado em função da densidade de semeadura e da zona de manejo onde a cultura foi implantada. As análises foram realizadas no programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2019)

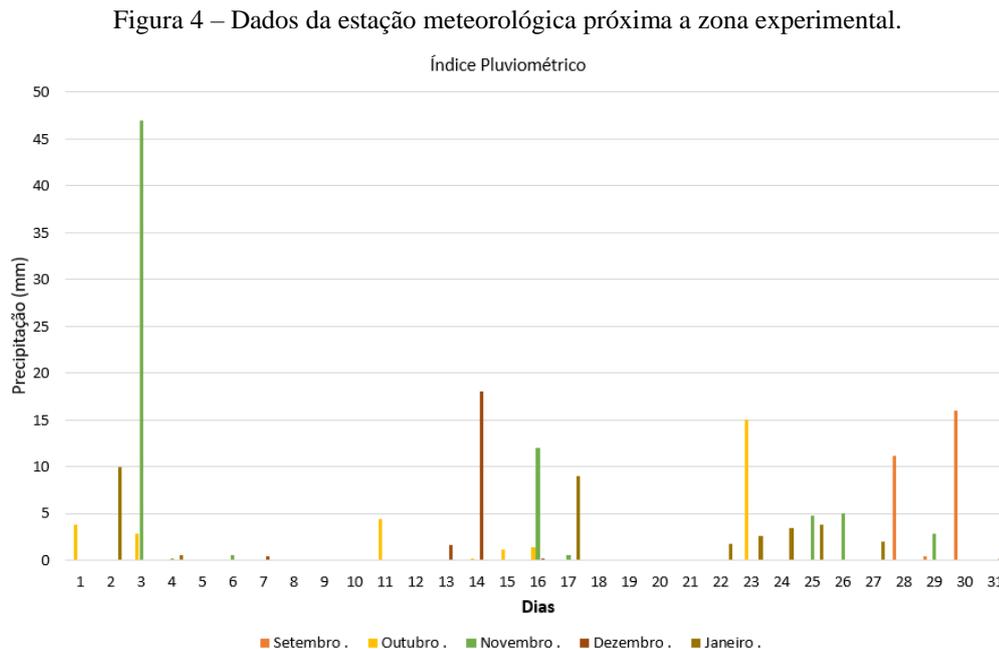
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido ao ano atípico causado pelo evento “La Niña”, no período do experimento, a estiagem registrada na primavera-verão de 2021/2022 no Estado do Rio Grande do Sul teve um impacto negativo no rendimento do grão de milho (-53% na produtividade e -55% na produção).

Na análise do primeiro trimestre de 2022 (janeiro-fevereiro-março), comprovou-se que nesse período houve um baixo volume e irregularidade na precipitação fluvial principalmente na última semana de fevereiro (CARDOSO, et al. 2022).

O evento “La Niña” é caracterizado pelo resfriamento anormal das águas do Oceano Pacífico. Ele tem origem na região do Pacífico Equatorial, na zona intertropical do planeta, e provoca alterações sazonais na circulação geral da atmosfera. O “El Niño” é um fenômeno natural caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico na sua porção equatorial. Com a modificação do padrão de circulação atmosférica sobre o Pacífico, o “El Niño” é responsável por alterar a distribuição de umidade e as temperaturas em várias áreas do planeta (NOAA, 2001). Na Figura 4 é apresentado o gráfico referente ao índice pluviométrico registrado para o período em que o estudo foi desenvolvido.

No estado do Rio Grande do Sul observa-se que na fase fria (La Niña) ocorrem precipitações abaixo da normal climatológica em comparativo aos anos da fase quente (El Niño). Considerando a variabilidade espacial observa-se a atenuação de 80 a 120 mm em grande parte do estado, com diferenças crescentes no sentido leste ao oeste (FONTANA; BERLATO, 1997).



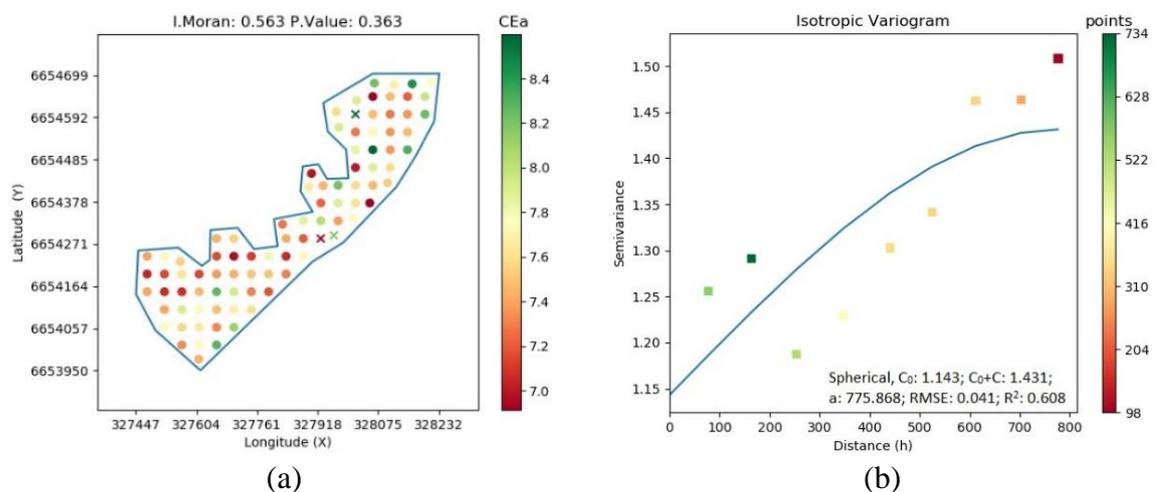
Fonte: Autor.

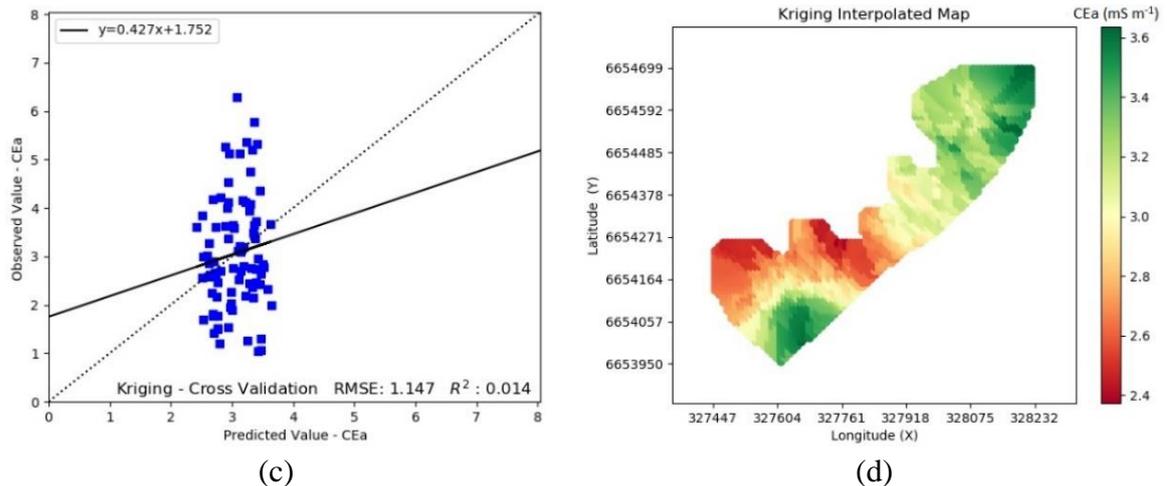
A precipitação acumulada aproximadamente durante o ciclo da cultura do milho, ocorreu em um volume estimado de 180 mm. Segundo Albuquerque (2010) o híbrido de milho no território brasileiro tem sua demanda hídrica variada, que depende da sua condição climática,

assim, pode-se exigir uma demanda hídrica de 380 a 550mm. Estudos conduzidos por Bergamaschi et al. (2004) apontaram que a cultura do milho pode apresentar queda de produção em função da ocorrência de períodos de estresse hídrico, pois, a falta de água afeta o desenvolvimento da cultura, em especial entre o estágio de floração à maturação fisiológica. O déficit hídrico no momento que antecede a emissão das anteras pode reduzir pela metade o rendimento de grãos, caso ocorra em pleno florescimento, pode ocasionar queda de 20% a 50% em período de 2 a 8 dias, respectivamente (PEGORARE et al., 2009). A produtividade de grãos é mais afetada se o estresse hídrico ocorre nas fases de polinização, formação do zigoto e enchimento de grãos (BERGAMASCHI et al., 2006).

Na Figura 5 são apresentados o mapa indicativo da CEa medida nos pontos amostrais e do índice de Moran (Fig. 5a), o modelo de semivariograma e seus parâmetros de ajuste (Fig. 5b), o gráfico de validação cruzada e seus parâmetros de ajuste (Fig. 5c) e o mapa temático representativo da variabilidade espacial da CEa (Fig. 5d). Observou-se que a CEa apresentou variabilidade espacial, sendo ajustado o modelo esférico à semivariância empírica dos dados medidos no campo, com soma dos quadrados do resíduo (RMSE) de 0,041 e coeficiente de determinação (R^2) de 0,60.

Figura 5 – Mapa referente ao índice de Moran, ilustrativo da autocorrelação espacial da CEa (a), semivariograma ajustado (b), o gráfico de validação cruzada (c) e mapa temático de variabilidade espacial da CEa na área de estudo (d).





Fonte: Autor.

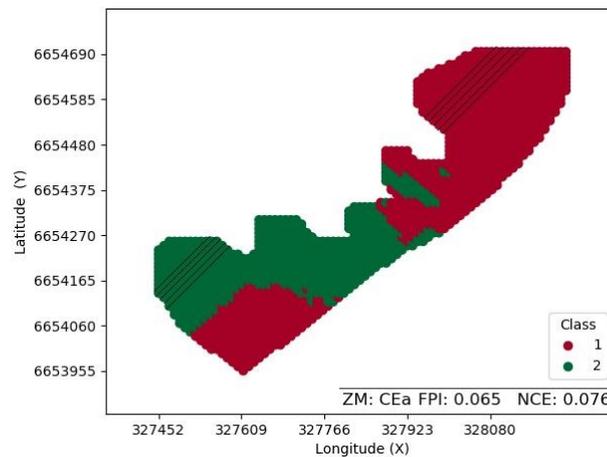
Dois regiões bem distintas foram mapeadas, uma de alta e outra de baixa condutividade elétrica. A região de alta CEA é resultado da grande diferença de nível, sendo que este local está próximo a uma lavoura de arroz irrigado e, por isso, apresenta maior umidade, dada a baixa cota do local. A região de baixa CEA é resultado do manejo adotado na propriedade (cultivo convencional), o que reduz o teor de matéria orgânica e nutrientes (MOLIN; CASTRO, 2008), modificando as características físicas do solo que influenciam diretamente no armazenamento de água do solo, que são fundamentais para a condução de corrente elétrica.

As variações nos valores de CEA são explicadas por variações nos atributos do solo, sejam eles químicos ou físicos. Peralta et al. (2013) observaram em seus estudos correlação positiva entre a capacidade na troca de cátions e os teores de matéria orgânica (MO) com a CEA. Já Keller (2019) observou que a CEA se correlacionou positivamente com o pH, H₂O, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca de cátions e negativamente com alumínio, mostrando ser uma ferramenta que tem sensibilidade aos atributos condicionados a acidez do solo.

Medeiros et al. (2018) estudando a correlação de atributos do solo com a CEA em diferentes solos (arenoso e argiloso), observaram que na área de solo arenoso houve correlação positiva com o fósforo remanescente e na área de solo argiloso, a correlação entre CEA e o teor de argila foi significativamente positiva e negativa para o teor de areia. De acordo com estudo conduzido por Pott et al., (2017), a produtividade de grãos de milho apresentou relação com a CEA, indicando que este atributo do solo pode ser utilizado para delimitar zonas de manejo que reflitam os diferentes potenciais de produtividade de grãos, possibilitando com isso, o manejo de atributos do solo associados ao desempenho produtivo das culturas.

Na Figura 6 é apresentado o mapa de zonas de manejo, divididos em duas classes, zona de alta CEa (ZM 1) e zona de baixa CEa (ZM 2). Segundo Tisseyre; McBratney (2008) a utilização de grande número de classes, cria pequenas zonas de manejo, que tendem a aumentar a irregularidade das áreas, tornando-as difíceis para serem manejadas. Por esse motivo, neste estudo foram adotadas duas ZM bem definidas.

Figura 6 – Mapas temático representativo das zonas de manejo e dos locais de semeadura das diferentes populações de plantas estudadas.



Fonte: Autor.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos descritivos das variáveis estudadas: condutividade elétrica aparente do solo (CEa; mS m^{-1}), umidade do solo (Umd, g g^{-1}), comprimento de espiga (CE, cm), diâmetro de espiga (DE, cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG, g) e produtividade (PROD, kg ha^{-1}).

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis condutividade elétrica aparente do solo (CEa; mS m^{-1}), umidade do solo (Umd, g g^{-1}), comprimento de espiga (CE, cm), diâmetro de espiga (DE, cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG, g) e produtividade (PROD, kg ha^{-1}).

Cachoeira do Sul, 2022.

ZM	Atributo	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	CV(%)
1	CEa	1,05	3,49	8,60	1,67	47,85
	Umd (0 – 0,2 m)	0,19	0,3	0,33	0,01	3,03
	CE	9,50	13,10	15,00	1,82	13,93
	DE	3,50	4,10	4,80	0,33	8,18

	NFE	16,00	18,11	19,33	1,13	6,21
	NGF	22,00	29,22	33,67	3,85	13,17
	NGE	352,00	530,19	650,90	81,42	15,36
	PMG	83,20	111,74	162,87	22,32	19,97
	PROD	2.045,45	3.904,24	7.456,36	1.654,65	42,38
	CEa	1,05	2,87	5,32	1,01	35,19
	Umd (0 – 0,2 m)	0,11	0,11	0,12	0,02	18,18
	CE	11,83	13,69	17,00	1,60	11,67
	DE	3,70	4,14	4,86	0,32	7,71
2	NFE	17,33	18,29	19,33	0,67	3,69
	NGF	22,96	28,36	37,27	4,45	15,7
	NGE	429,30	517,71	696,90	75,93	14,67
	PMG	100,86	121,36	148,32	13,57	11,18
	PROD	1.794,55	3.157,42	4.840,00	918,22	29,08

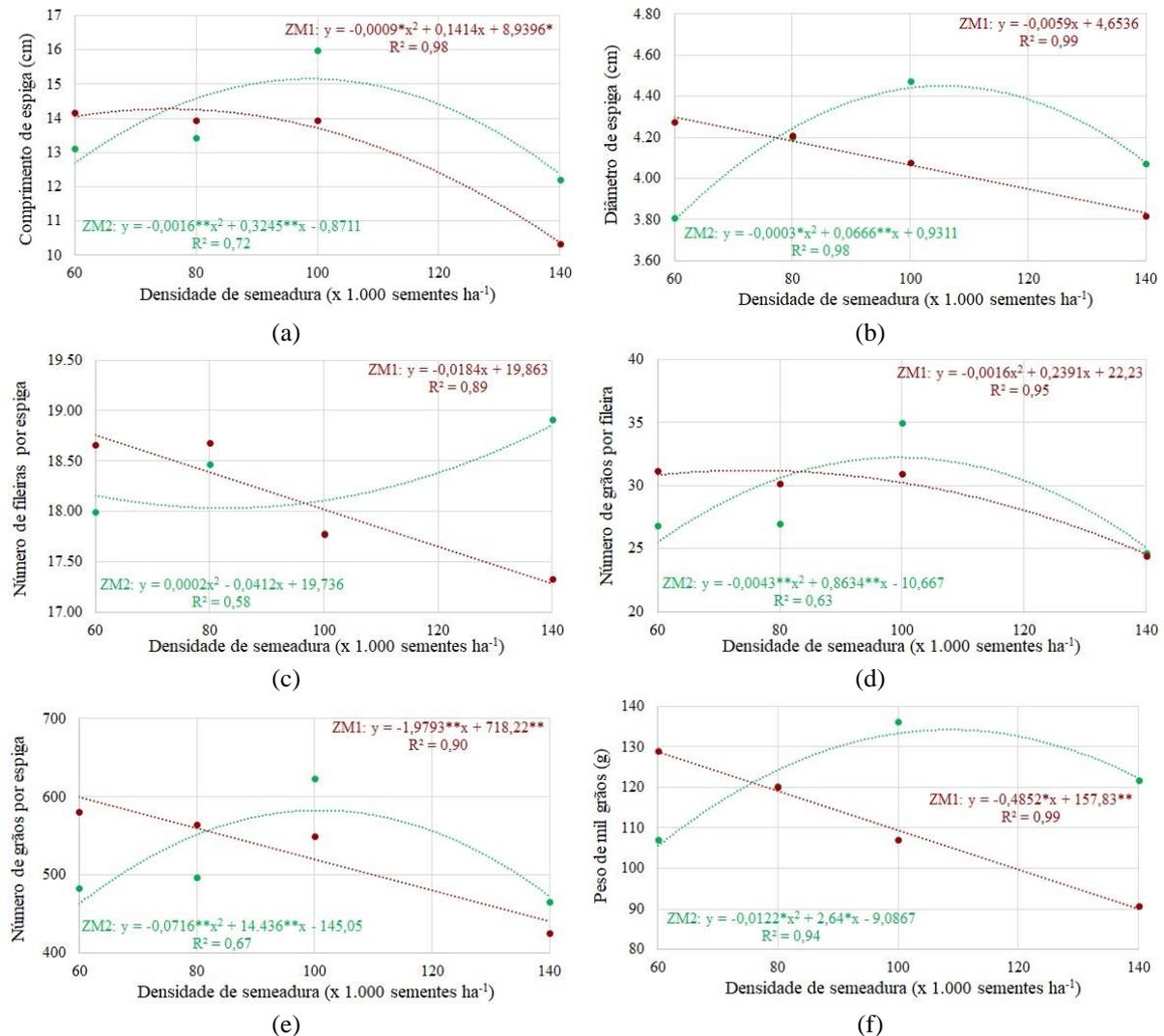
Fonte: Autor.

Foi observado que, na ZM 1 (alta CEa) obteve-se maior média de número de grãos por espiga (530,19), o que resultou em maior produtividade média de milho, equivalente a 3.904,24 kg ha⁻¹. Segundo Bergamaschi et al., (2006), a redução do número de grãos por espiga acarreta em redução gradual do rendimento final de grãos.

Na Figura 7 são apresentados os modelos ajustados, a partir da análise de regressão, para as variáveis analisadas: comprimento de espiga (Fig. 7a), diâmetro de espiga (Fig. 7b), número de fileiras por espiga (Fig. 7c), número de grãos por fileira (Fig. 7d), número de grãos por espiga (Fig. 7e) e peso de mil grãos (Fig. 7f), observados para as diferentes densidade de semeadura em função das zonas de manejo onde foram implantadas (ZM 1: alta CEa; ZM 2: baixa CEa). A função quadrática foi a que melhor se ajustou aos resultados observados para as variáveis avaliadas, quando semeado o milho na ZM 2, independente da densidade de semeadura estudada. Para as densidades de semeadura implantadas na ZM 1, a função linear foi a que melhor se ajustou aos resultados observados para as variáveis diâmetro de espiga, número de fileiras por espiga, número de grão por espiga e peso de mil grãos, evidenciando que o aumento na densidade de semeadura ocasiona redução dos valores dessas variáveis. Para os valores observados das variáveis comprimento de espiga e número de grãos por fileira, o modelo quadrático foi o que apresentou melhor ajuste. Os melhores ajustes (maiores valores de

R^2) foram obtidos para as diferentes densidades de semeadura, na ZM 1, sendo 0,89 o menor e 0,99 o maior valor de R^2 . Já os ajustes dos modelos para as variáveis analisada, na ZM 2, apresentaram menores valores de R^2 , sendo 0,58 o menor e 0,98 o maior valor.

Figura 7 – Comprimento de espiga (a), diâmetro de espiga (b), número de fileiras por espiga (c), número de grãos por fileira (d), número de grãos por espiga (e) e peso de mil grãos (f) observados para as diferentes densidades de semeadura em função das zonas de manejo onde foram implantadas (ZM 1: alta CEa; ZM 2: baixa CEa).



** coeficiente significativo a 1% de probabilidade; * coeficiente significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Em relação ao comprimento de espigas, a maior densidade de semeadura provocou redução deste componente de rendimento, independente da ZM onde foi implantada. Para semeaduras na ZM 1, as densidades 1, 2 e 3 não apresentaram diferenças, já na ZM 2 o maior comprimento de espigas (16 cm) foi obtido para a densidade 3 (100.000 sementes por hectare). Cada híbrido possui sua característica específica de comprimento de espiga, que devido as

diferentes condições ambientais no decorrer do ano agrícola podem variar. De acordo com estudo realizado por Sangoi (2000), a redução na densidade de semeadura de plantas ocasionou incremento no comprimento de espigas. O autor destaca que este comportamento pode estar associado a baixa densidade de plantas, o que reduz a competitividade por nutrientes possibilitando a maximização da atividade fotossintética pós-antese.

A densidade de semeadura 3 (100.000 plantas ha^{-1}) na zona de baixa CEa (ZM 2) foi a que apresentou, em média, o maior número de grãos por espiga, equivalente a 623 grãos. Já a zona de alta CEa (ZM 1) apresentou maior média de número de grãos por espigas de 581 grãos na densidade de semeadura 1 (60.000 plantas ha^{-1}). O acréscimo na população de plantas por unidade de área, pelo aumento na densidade de semeadura, é uma forma eficiente de aumentar a interceptação da radiação solar incidente na lavoura. No entanto, a utilização de densidades muito elevadas pode afetar negativamente a atividade fotossintética da cultura e a eficiência na conversão de fotoassimilados em produção de grãos. Isso resulta em um aumento na esterilidade feminina, bem como na redução do número de grãos por espiga e do rendimento de grãos (Marchão et al., 2006).

A densidade de semeadura 4 (140.000 sementes ha^{-1}) na zona de baixa CEa foi a que apresentou, em média, o maior número de fileiras por espiga, equivalente a 18,8 fileira. Já a zona de alta CEa apresentou maior número de grãos por fileira na densidade de semeadura 1 (60.000 sementes ha^{-1}) com valor médio de 18,6 fileira (Fig. 7c).

A densidade de semeadura 3 (100.000 sementes ha^{-1}) na zona de baixa CEa foi a que apresentou, em média, o maior número de grãos por fileira, equivalente a 35 grãos. Já a zona de alta CEa apresentou maior número de grãos por fileira na densidade de semeadura 1 (60.000 sementes ha^{-1}) com valor médio de 31 grãos (Fig. 7d).

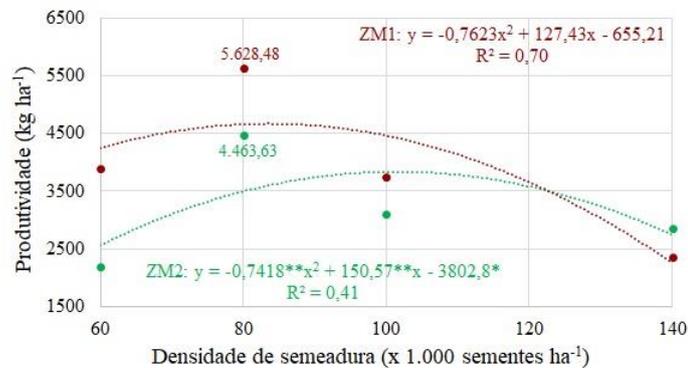
O número de grãos por fileira (NGF) é relacionado de maneira direta com o comprimento médio da espiga, seu potencial depende da interação entre o híbrido e o ambiente. Quanto menor o NGF, menor será o número de grãos por espiga, assim, é prejudicial ao potencial produtivo do híbrido (SANGOI et al. 2010, VILELA et al. 2012).

Em relação ao peso de mil grãos (PMG), a densidade de semeadura 3 (100.000 sementes ha^{-1}) na zona de baixa CEa foi a que apresentou, em média, o maior valor, equivalente a 136,30 g. Já a zona de alta CEa apresentou maior PMG foi observado para a densidade de semeadura 1 (60.000 sementes ha^{-1}) com valor médio de 129,03 g. Estudo desenvolvido por Corassa et al. (2020), demonstrou que em zonas de manejo de maior produtividade, o aumento da densidade de semeadura apresentou menor influência sobre número de grãos por espiga e peso de grãos. Logo em zonas de manejo de baixa produtividade o peso de mil grãos,

considerando uma densidade de semeadura de 46.000 plantas ha^{-1} , apresentou aproximadamente 15g para cada 10 mil plantas adicionais, conseqüentemente o número de grãos por espiga reduziu com o aumento da densidade de semeadura, logo não foi observado aumento no número de grãos por m^2 .

Na Figura 8 são apresentados os modelos ajustados, a partir da análise de regressão, para a produtividade de milho (Kg ha^{-1}), observada para as diferentes densidade de semeadura estudadas implantadas nas diferentes zonas de manejo. Tanto na ZM de alta CEa (ZM 1) quanto na ZM de baixa CEa (ZM 2), a densidade de semeadura 2 (80.000 sementes ha^{-1}) foi a que apresentou maior produtividade. Na ZM 1 a produtividade obtida foi de 5.628,48 kg ha^{-1} e na ZM 2, equivalente a 4.463,63 kg ha^{-1} . Estas produtividades, foram, respectivamente, 31 e 50,7% maiores que aquelas obtidas para densidade de semeadura recomendada para o híbrido cultivado (60.000 sementes ha^{-1}).

Figura 8 – Produtividades de milho observadas para as diferentes densidades de semeadura em função das zonas de manejo onde foram implantadas (ZM 1: alta CEa; ZM 2: baixa CEa).



** coeficiente significativo a 1% de probabilidade; * coeficiente significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Como evidenciado por Hörbe et al. (2013) em duas zonas de manejo no Rio Grande do Sul, foi concluído que o uso da taxa de variação de sementes é eficiente em aumentar a produtividade e a lucratividade na cultura do milho. Neste estudo foi demonstrado que para a zona de manejo de baixa produtividade, obteve-se um melhor resultado para baixa densidade de semeadura de plantas, assim, utilizando 46 e 50 mil plantas ha^{-1} , em zonas de manejo de alta produtividade, obtiveram melhores ganhos com maior densidade de semeadura de 77 e 82 mil plantas ha^{-1} .

4. CONCLUSÃO

A condutividade elétrica aparente do solo apresentou variabilidade espacial na área estudada, possibilitando a delimitação de duas zonas de manejo.

O aumento na densidade de semeadura, na zona de manejo de alta condutividade elétrica aparente do solo, reduziu de forma linear os valores de diâmetro de espiga, número de fileira por espiga, número de grãos por espiga e peso de mil grãos.

A densidade de semeadura 3, equivalente a 100.000 sementes ha^{-1} , quando implantada na zona de manejo de baixa condutividade elétrica aparente do solo, apresentou maiores valores para as variáveis comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e peso de mil grãos.

A densidade de semeadura 2, equivalente a 80.000 sementes ha^{-1} , foi a que apresentou maior produtividade de milho, independente da zona de manejo onde foi implantada, sendo obtida produtividade de 5.628,48 kg ha^{-1} na zona de manejo de alta condutividade elétrica aparente do solo e 4.463,63 kg ha^{-1} na zona de manejo de baixa condutividade elétrica aparente do solo.

REFERÊNCIAS

- ANSELMINI, A. A.; **População variada de híbrido de milho: uma estratégia de gestão das variabilidades espaciais e temporal das lavouras**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Piracicaba, 2016. 97 p.: il.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Set./2010.
- ALVARES C.A., STAPE J.L., SENTELHAS P.C., DE MORAES GONCALVES J.L., SPAROVEK G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728, 2013. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. **On-the go soil sensors for precision agriculture**. *Computers and Electronics in Agriculture*. Amsterdam, v.44, p.71-91, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Déficit Hídrico e Produtividade na Cultura do Milho**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n.9, p. 831-839, 2004.
- CALONEGO, J.C.; POLETO, L.C.; DOMINGUES, F.N.; TIRITAN, C.S. **Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas**. *Revista Agrarian*, Dourados, v.4, n.12, p.84-90, 2011.
- CARDOSO, Loana Silveira et al. **Estiagem ocorrida na safra 2021/2022 no estado do Rio Grande do Sul: avaliação semanal, de janeiro a março, das condições meteorológicas e dos impactos na produção agropecuária**. Comunicado Agrometeorológico, Porto Alegre, n. 37, p. 6-23, abr. 2022. Edição Especial.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. **Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture**. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v.46, p.11-43, 2005.
- CORÁ, J. E. et al. **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cana-de-açúcar**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, Vol. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. **Electrical Resistivity: Wenner Array**. In: **SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods**, Madison, Wisconsin, USA: SSSA Book Series, n. 5, p.1282-1287. 2002.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. **Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines**. *Agronomy Journal*, v.95, n. 3, p. 455-471. 2003.
- COOPERATIVA CENTRAL GAÚCHA LTDA – **Unidade de Pesquisa e Tecnologia Cruz Alta - RS – Brasil** geomar.corassa@ccgl.com.br. 2020.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 353p. 2013.

EMATER. **Estimativa da safra de verão 2021-2022**. Disponível em: <https://www.emater.tche.br/site/info-agro/acompanhamento_safra.>. Acesso em 12 dezembro 2022.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. **Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande Do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132, 1997.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, 37(4), 529–535, 2019. Doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

HÖRBE, T.A.N. et al. **Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil**. Precision Agriculture, v.14, n.4, p.450-465, 2013. Disponível em: . Acesso em: 07 maio, 2014. doi: 10.1007/s11119-013-9308-7.

KELLER C. **Condutividade elétrica aparente como ferramenta de espacialização com alta resolução de atributos do solo**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. RS. 2019.

LANDIM, P.M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. **El Niño and La Niña**. Disponível em: < <http://www.noaa.gov/climate>>. Acesso em 15 jun 2022.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. **Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.35, n.2, p.93-101, 2005.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; XIMENES, P.A. **Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.5, p.170-181, 2006.

MEDEIROS, W. N. et al. **Condutividade elétrica aparente do solo em dois tipos de solo**. Revista Ciência Agronômica, v. 49, n. 1, p. 43-52, 2018.

MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. **Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.65, p.567- 573, 2008.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. **Key process and properties for site-specific soil and crop management**. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.) **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1997. p. 1-18.

OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. **A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging**. Catena, v.113, p.56-69, 2014.

PEGORARE, A. B. et al. **Irrigação Suplementar no ciclo de milho “safrinha” sob plantio direto.** Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. v.13, n.3. Campina Grande, Maio/Junho de 2009.

PEREIRA, G.W.; VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.; COELHO, A.L. de F.; HURTADO, S.M.C.; COSTA, M.M. **Smart-Map plugin.** Disponível em: < <https://github.com/gustavowillam/SmartMapPlugin> > Acesso em: 27 de agosto de 2021.

PERALTA, N. R. et al. **Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas.** Canadian Journal of Soil Science, v. 93, n. 2, p. 205-218, 2013.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture.** *Advances in Agronomy*, v. 67, [S. n.], p. 1-85, 1999.

POTT, L. P. et al. **Relação da condutividade elétrica aparente do solo com a produtividade de grãos de milho.** Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho. Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2017/2018 e 2018/2019 / LXII Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho; XLV Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Sorgo, Sertão, RS, Brasília, DF: Embrapa, 2017.

QGIS Development Team, 2020. **QGIS Geographic Information System.** Open-Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

SANTOS, Cristiano Nunes dos. **El Niño, La Niña e a Erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul.** 2008.

SANGOI, L.; ZANIN, C.G.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J. **Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v.12, n.1, p.21-32, 2013.

SANGOI, L. **Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.1, p.159-168, 2000.

SANGOI L et al. 2010. **Perfilhamento e prolificidade como características estabilizadoras do rendimento de grãos do milho, em diferentes densidades.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo 9: 254-265.

STACCIARINI, T. C. V.; CASTRO, P. H. C.; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. **Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional.** Revista Ceres, Viçosa, v.57, n.4, p.516-519, 2010.

TISSEYRE, B.; MCBRATNEY, AB **Um índice de oportunidade técnica baseado em morfologia matemática para manejo específico do local: uma aplicação à viticultura.** *Agricultura de Precisão*, Dordrecht, v.9, n.1-2, p.101-113, 2008.

VILELA, R.G.; ARF, O.; KAPPES, C.; KANEKO, F.H.; GITTI, D. de C.; FERREIRA, J.P. **Desempenho agrônomo de híbridos de milho, em função da aplicação foliar de fungicidas.** Bioscience Journal [online], vol. 28, no. 1, pp. 25–33, 2012.