

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE
DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA**

**GUILHERME PRIMO VIEIRA
WILIAN RAMOS DOS SANTOS**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
APARENTE DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DO MILHO DE
SEGUNDA SAFRA**

**GUILHERME PRIMO VIEIRA
WILIAN RAMOS DOS SANTOS**

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola.

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237v Santos, Wilian Ramos Dos

Variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e da produtividade do milho de segunda safra [recurso eletrônico] / Wilian Ramos Dos Santos, Guilherme Primo Vieira. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Agricultura de precisão. 2. Sensores . 3. Geoestatística. I. Vieira, Guilherme Primo . II. Souza, Cristiano Márcio Alves De. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA

Por

Guilherme Primo Vieira

Wilian Ramos dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 26 de abril de 2023.

Documento assinado digitalmente
 ROBERTO CARLOS ORLANDO
Data: 28/04/2023 13:26:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando
Presidente – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 LEIDY ZULYS LEYVA RAFULL
Data: 30/04/2023 19:15:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Leidy Zulys Leyva Rafull
Membro da banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 FERNANDO MATEUS PANIAGUA MENDIETA
Data: 28/04/2023 13:33:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Fernando Mateus Paniagua Mendieta
Membro da banca – UFGD/PGAGRO

AGRADECIMENTOS (Wilian Ramos dos Santos)

Agradecer primeiramente a Deus acima de tudo, por nos conceder saúde, e todas as bênçãos durante nossa graduação.

Aos meus pais, Euclides Amancio dos Santos e Marly Ramos da Silva, pelo apoio e atenção, seja nos momentos bons ou ruins de minha caminhada acadêmica.

A minha noiva Luana Roberta Santos Pegoraro, por sempre apoiar em todos os momentos, também indo a campo ajudar na coleta de dados, trabalhos de laboratório e correções de ortografia na escrita do presente trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Sousa, primeiramente por me orientar a seguir o caminho acadêmico, compartilhando de seus conhecimentos e também por estar sempre pronto para me atender em qualquer ocasião de dúvidas, até mesmo conselhos que levo para a vida.

Aos meus amigos Aelton Pereira Cristaldo e Fernando Mendieta por me ajudar na execução do trabalho.

Ao meu amigo Carlos Eduardo Bortoloci e família, por ceder a área cultivada para a execução dos estudos.

A FCA/UFGD, ao curso de Engenharia Agrícola, e todos que de alguma forma contribuíram em minha formação.

AGRADECIMENTOS (Guilherme Primo Vieira)

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e resiliência para chegar até aqui.

Aos meus pais, Elias da Silva Vieira e Luzia Alves Primo Vieira, por serem pais maravilhosos, sempre me incentivando e dando todo o apoio que eu precisava.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Sousa, primeiramente por me orientar a seguir o caminho acadêmico, compartilhando de seus conhecimentos e também por estar sempre pronto para me atender em qualquer ocasião de dúvidas, até mesmo conselhos que levo para a vida.

Aos meus amigos, em especial ao Aelton Pereira Cristaldo e Fernando Mendieta, ao ajudar na execução do trabalho.

Ao Sr. Carlos Eduardo Bortoloci e família, por ceder a área cultivada para a execução dos estudos.

A FCA/UFGD, ao curso de Engenharia Agrícola, e todos que de alguma forma contribuíram em minha formação.

VIEIRA, Guilherme Primo; SANTOS, Wilian Ramos dos. **Variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo e da produtividade do milho de segunda safra.** 2023. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO

O milho segunda safra é cultivado extemporaneamente, de janeiro a junho, comumente sua implantação é feita logo após a colheita da soja. Nos últimos anos vem se tornando destaque, depois da soja, por seu retorno econômico. As tecnologias de agricultura de precisão tem sido adotadas pelos produtores como estratégia na busca de altas produtividades. Neste contexto, objetiva-se avaliar a produtividade do milho segunda safra, e sua correlação com a condutividade elétrica do solo. O experimento foi conduzido na fazenda Belo Horizonte, no município de Laguna Carapã-MS. Para avaliar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e da produtividade do milho, foi realizado uma distribuição dos pontos amostrais, utilizando uma grade amostral de 72 pontos georreferenciados, onde cada ponto representa 0,5 ha, totalizando uma área de 35 ha. Em cada ponto foram determinados a condutividade elétrica aparente e a umidade do solo, a altura de planta, o diâmetro do colmo, a massa de mil grãos e a produtividade da cultura. As análises estatísticas descritiva, de regressão linear e de geoestatística foram aplicados aos dados coletados. De acordo com os mapas de produtividade, umidade, altura das plantas, diâmetro do colmo e da massa de mil grãos pode-se atribuir que há correlação entre seus valores, verificada pela variabilidade espacial da área, sendo que, onde houve maiores condutividade elétrica aparente e umidade do solo, é possível observar um diâmetro de colmo, altura de plantas e produtividade também maiores. É possível concluir também que onde se teve menores valores de condutividade elétrica aparente o solo, também se teve menor umidade do solo, porém há regiões de maior umidade e elevada produtividade, com condutividade elétrica média. A estratégia de manejo do solo usada na área para obtenção de altas produtividades do milho de segunda safra demonstrou-se eficaz, apresentando valores acima daqueles comumente obtidos em fazendas ou pesquisas realizadas na região.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensores, geoestatística.

VIEIRA, Guilherme Primo; SANTOS, Wilian Ramos dos. **Spatial variability of the soil apparent electrical conductivity and off-season corn yield.** 2023. 22 p. Undergraduate Thesis (Bachelor in Agricultural Engineering) - College of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil.

ABSTRACT

The off-season corn crop is grown extemporaneously, from January to June; commonly, its implantation is done soon after the soybean harvest. It has become prominent for its economic return in recent years. Producers have adopted precision agriculture technologies as a strategy in the pursuit of high productivity. In this context, this work aims to evaluate the yield of the off-season corn and its correlation with the apparent electrical conductivity of the soil. The experiment was done at the Belo Horizonte farm in Laguna Carapã-MS. To evaluate the spatial variability of the apparent electrical conductivity of the soil and of the corn yield, a distribution of sampling points was performed using a sampling grid of 72 georeferenced points, where each point represents 0.5 ha, totaling an area of 35 ha. The apparent electrical conductivity, the soil moisture, the plant height, the stem diameter, the mass of one thousand grains, and the crop yield were determined at each point. Descriptive, linear regression and geostatistical analyses were applied to the collected data. According to the maps of yield, soil moisture, plant height, stem diameter, and mass of a thousand grains, it can be attributed that there is a correlation between their values, verified by its spatial variability in the area, and where there was greater apparent electrical conductivity and soil moisture, it is possible to observe a stem diameter, plant height, and also yield greater. It is also possible to conclude that where there were lower values of apparent electrical conductivity in the soil, there was also lower soil moisture, but there are regions of higher soil moisture and higher yield with average electrical conductivity. The soil management strategy used to obtain high yields of off-season corn proved effective, presenting values above those commonly obtained on farms or in regional research.

Keywords: precision agriculture, sensors, geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas do ar por decêndio, onde T (temperatura média), TM (temperatura máxima) e Tm (temperatura mínima), ocorridas de fevereiro de 2022 (desenvolvimento inicial) a julho de 2022 (colheita), Dourados, MS.....	5
Figura 2. Mapa temático da taxa de aplicação (kg ha^{-1}) de corretivo, condicionador e adubo do solo usados na área onde foi realizado o experimento, sendo calcário dolomítico (a), de gesso (b), e de cloreto de potássio (KCl) (c), Fazenda Belo Horizonte, Laguna Carapã, MS, 2022.	6
Figura 3. Distribuição dos pontos amostrais.	7
Figura 4. Sistema de medida da condutividade elétrica aparente do solo, usando um condutivímetro de 4 eletrodos.	7
Figura 5. Vista frontal do MCEAS – Medidor de condutividade elétrica aparente do solo.....	8
Figura 6. Altura de plantas em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).....	12
Figura 7. Diâmetro do colmo da planta em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).....	12
Figura 8. Massa de mil grãos (MMG) em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).....	13
Figura 9. Produtividade de grãos de milho em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).	13
Figura 10. Mapa temático da distribuição espacial da condutividade elétrica aparente (mS m^{-1}) do solo.....	15
Figura 11. Mapa temático da distribuição espacial da umidade do solo (%), obtida durante a experimentação da condutividade elétrica aparente do solo.....	15
Figura 12. Mapa temático da distribuição espacial dos diâmetros do colmo (mm) do milho.	16
Figura 13. Mapa temático da distribuição espacial das alturas de planta (m) do milho.....	16
Figura 14. Mapa temático de variabilidade espacial da massa de mil grãos (g) do milho.	17
Figura 15. Mapa temático de variabilidade espacial da produtividade do milho (kg ha^{-1}).	17

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Estatística descritiva dos dados do solo e do milho.....	11
Tabela 2. Parâmetros do semivariograma ajustado do modelo matemático para a condutividade elétrica aparente do solo, das características e produtividade da cultura do milho.	14

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Produção do milho	2
2.2. Agricultura de precisão	2
2.3. Variabilidade espacial.....	3
2.4. Condutividade elétrica aparente do solo	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1. Local, clima e manejo.....	5
3.2. Amostragem.....	6
3.3. Condutividade elétrica aparente do solo	7
3.4. Determinação da altura de planta e diâmetro do colmo.....	8
3.5. Produtividade do milho.....	8
3.6. Análise de dados	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1. Análise estatística descritiva.....	11
4.2. Análise de regressão	12
4.2. Análise da variabilidade espacial dos atributos	14
5. CONCLUSÕES	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é a gestão das lavouras com um nível de detalhamento que permite considerar e tratar devidamente a variabilidade intrínseca destas, reduzindo os custos com a diminuição do uso de insumos por meio da sua racionalização guiada pela variabilidade espacial (MOLIN et al., 2015). Detalhamento este, que se utiliza de uma série de recursos tecnológicos para conhecer e manejar as lavouras, que por sua vez, possuem uma diversidade de relevos, solos, vegetação, entre outros fatores, tornando a agricultura de precisão nos últimos anos, um importante conceito na realidade da agricultura no nosso país (VENTURIN, 2020).

Uma ferramenta que vem cada vez mais ganhando espaço na agricultura de precisão é a determinação da condutividade elétrica aparente do solo, que de acordo com Venturin (2020) seu princípio é analisar como o solo conduz uma corrente elétrica a ele aplicada. Apresenta indicadores no monitoramento de características do solo como salinidade, textura e estratificação, umidade, matéria orgânica e derivados, CTC, lixiviação, entre outros (CORWIN & LESCH, 2005).

Os agricultores têm vivenciado significativos aumentos nos custos de produção, influenciados principalmente por exponenciais aumentos nos custos dos insumos, levando os mesmos a almejamem o equilíbrio entre maiores índices produtivos e menores custos de produção, sem degradar o meio ambiente, aderindo aos avanços tecnológicos que possibilitam um melhor gerenciamento do campo (COSTA, 2011).

A proposta da agricultura de precisão consiste em manejar o campo levando em consideração a variabilidade espacial do sistema de produção, assim, bons resultados têm sido observados quando os fatores determinantes dessa variabilidade são relacionados ao solo (COSTA, 2011). Em vez de quantificar cada variável, um mapa de condutividade elétrica aparente do solo em uma área pode ser utilizado para identificar qualitativamente a variabilidade espacial do solo para os fatores que invariavelmente mais afetam a condutividade elétrica aparente (MOLIN et al., 2015).

Nesse contexto a determinação da condutividade elétrica aparente do solo torna-se uma ferramenta amplamente utilizada para caracterizar a variabilidade espacial dos solos nas áreas cultivadas, devido a utilização de instrumentos não tão sofisticados, mas confiáveis e fáceis de utilizar (VENTURIN, 2020).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a condutividade elétrica do solo e a produtividade do milho de segunda safra, correlacionando e analisando a sua variabilidade espacial, usando de modelos matemáticos e de mapas temáticos, em área da Fazenda Belo Horizonte, localizada no município de Laguna Carapã – MS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção do milho

O milho na região sul do estado do Mato Grosso do Sul, em sua grande maioria é cultivado posteriormente a cultura da soja, sendo uma boa opção para a rotação de culturas, já que possui um bom retorno econômico justamente por ser ingrediente principal na fabricação de rações, para o consumo humano e produção de combustível.

A produção do milho aumenta ano após ano, com a implementação de novas tecnologias para o aumento da produtividade e aumento nas áreas destinadas a produção do grão. Tal produção pode ser explicada pelo fato de o milho constituir aproximadamente 60% das rações para frangos de corte na qual contribui com 65% da energia metabolizável e 22% de proteína (CARVALHO et al., 2004).

Segundo a Conab, somando as três safras do milho em toda temporada 2022/23 estima uma produção de 126,9 milhões de toneladas, e esse resultado se deve à expectativa de recuperação da produtividade no atual ciclo.

Os sistemas de cultivo podem ser classificados em três grupos distintos: sistema convencional, no qual o solo é preparado e a sua superfície fica totalmente exposta; cultivo mínimo, qualquer sistema de cultivo com menor movimentação de solo e trânsito de máquinas em relação ao usualmente adotado numa determinada região que deixe o máximo de cobertura vegetal, e plantio direto, no qual a deposição das sementes é feita diretamente no solo, sem haver nenhum preparo prévio (SANTOS et al., 2008).

2.2. Agricultura de precisão

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), a agricultura de precisão começou com as tecnologias das máquinas dotadas de receptores GPS e na geração de mapas de produtividade.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012).

A eletrônica embarcada pode auxiliar para que as operações sejam menos dependentes da habilidade e experiência do operador, mantendo a máquina dentro dos parâmetros de operação aceitável. Entretanto, o retorno econômico nesse caso é obtido somente se a operação

de forma manual apresentar um erro significativo (BERNARDI & INAMASU, 2014). Para esses autores, o tamanho das propriedades reflete no tipo de uso e na região tendendo a serem maiores as propriedades nas quais a agricultura de precisão é utilizada.

2.3. Variabilidade espacial

A variabilidade espacial de atributos do solo vem sendo uma das maiores preocupações de pesquisadores, praticamente desde o início do século (VIEIRA, 2000). São atributos relacionados à características da textura do solo, controle de pragas, produtividade e fertilidade, sendo que esses atributos apresentam valores diferentes nos diversos pontos da lavoura, variando suas dimensões, relevo, material de origem, etc.

É uma característica inerente a todos os fenômenos naturais, principalmente quando consideram sistemas dinâmicos e complexos como aquele envolvendo o sistema solo-planta (SILVA et al., 2020).

2.4. Condutividade elétrica aparente do solo

A condutividade elétrica do solo é uma ferramenta que está diretamente ligada a agricultura de precisão, levando os agricultores a almejem o equilíbrio entre maiores índices produtivos e menores custos de produção, sem agredir o meio ambiente (VENTURIN, 2020). Assim, para que os altos índices de produtividade sejam alcançados é preciso investimento de grandes porções de insumos, elevando o custo de produção.

Visto da necessidade de se caracterizar a variabilidade espacial de fatores, neste caso, do solo, leva ao surgimento de inúmeros sistemas de sensoriamento e monitoramento; podendo ser tomado como exemplo, na tentativa de desenvolver técnicas de medida indireta de propriedades do solo, sistemas ópticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, mecânicos, fluxo de ar e acústicos (ADAMCHUK et al., 2004). Dentre estes princípios, o uso da condutividade elétrica aparente do solo tem tido destaque já a algum tempo (CORWIN & LESCH, 2005).

Para mensurar a condutividade elétrica aparente do solo, geralmente, são utilizados o sistema de indução eletromagnética e o de contato direto (RHOADES & CORWIN, 1984). A indução eletromagnética é uma técnica para medir a condutividade elétrica em solos sem contato com o mesmo, sendo um método de amostragem não destrutiva. Segundo (VENTURIN, 2020), a determinação da condutividade elétrica aparente do solo pode ser aplicada para amostra não uniforme e de dimensões não definidas, ou medidas diretamente em campo, processo bastante utilizado em geofísica conhecido como “sistema de quatro pontos”.

Este processo utiliza quatro hastes metálicas de material condutor de corrente elétrica, alinhadas em sequência com espaçamentos iguais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, clima e manejo

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Sistemas Integrados de Produção de Oleaginosas do Centro de Bioenergia e Conservação Ambiental, e no Laboratório de Projeto de Máquinas da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencentes à Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

O experimento foi conduzido na Fazenda Belo Horizonte, no município de Laguna Carapã-MS, pertencente à região Sul-Fronteira. O tipo de solo predominante para o município é Latossolo Roxo (SEMAD, 2015).

O clima que predomina na região é o Subtropical do tipo Am, pela classificação de Köppen e Geiger (ALVARES et al., 2013), que é caracterizado por inverno seco e verão quente e úmido, temperaturas médias do mês mais frio varia entre 14 e 15 °C. As precipitações variam de 1.500 a 1.700 mm anuais, com o período seco inferior a 4 meses (SEMAD, 2015).

As áreas escolhidas para a realização das avaliações de campo, se situa na porção sul do Estado de Mato Grosso do Sul nas coordenadas 22°33'59,2" de latitude Sul e 55°06'32,1" de longitude Oeste, altitude de 483 m.

Os dados meteorológicos obtidos durante o período de condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

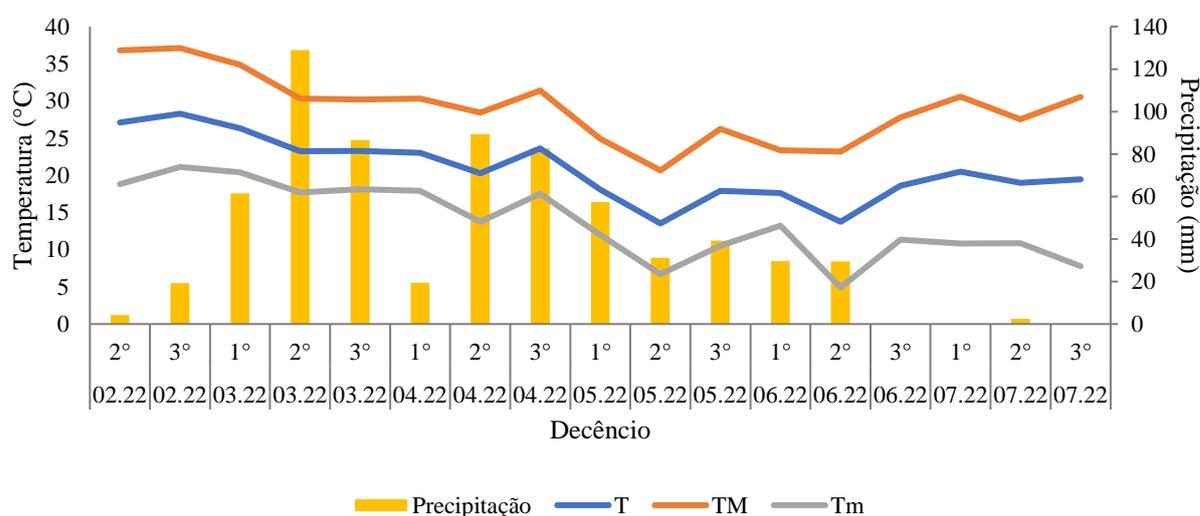


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas do ar por decêndio, onde T (temperatura média), TM (temperatura máxima) e Tm (temperatura mínima), ocorridas de fevereiro de 2022 (desenvolvimento inicial) a julho de 2022 (colheita), Dourados, MS.

Fonte: Dados obtidos da Estação Meteorológica Automática da Fazenda Experimental da UFGD.

O milho foi semeado utilizando regulagem buscando espaçamento entre linhas de 0,50 m e 34 sementes viáveis por 10 metros, utilizando uma semeadora-adubadora mecânica John Deere, modelo 1113, com 12 linhas. As plantas do milho semeado era da cultivar NK 467 VIP 3, produzida pela empresa Syngenta, com características de tolerância ao quebraamento de colmo, ao complexo de enfezamento e a déficit hídricos. Com características de super precocidade e perfil de raízes, tendo época de plantio mais indicada, entre a segunda quinzena de janeiro e a primeira quinzena de março.

Na Figura 2 está apresentado os mapas da taxa de aplicação localizada de calcário dolomítico na dose média de $2.947,11 \text{ kg ha}^{-1}$ (a), de gesso na dose média de $642,69 \text{ kg ha}^{-1}$ (b), e de cloreto de potássio (KCl) na dose média de $87,10 \text{ kg ha}^{-1}$ (c), no solo da área onde foi realizado o experimento. A aplicação dos insumos objetivou a busca estratégica de altas produtividades da cultivar de milho adotada no programa de produção da fazenda.

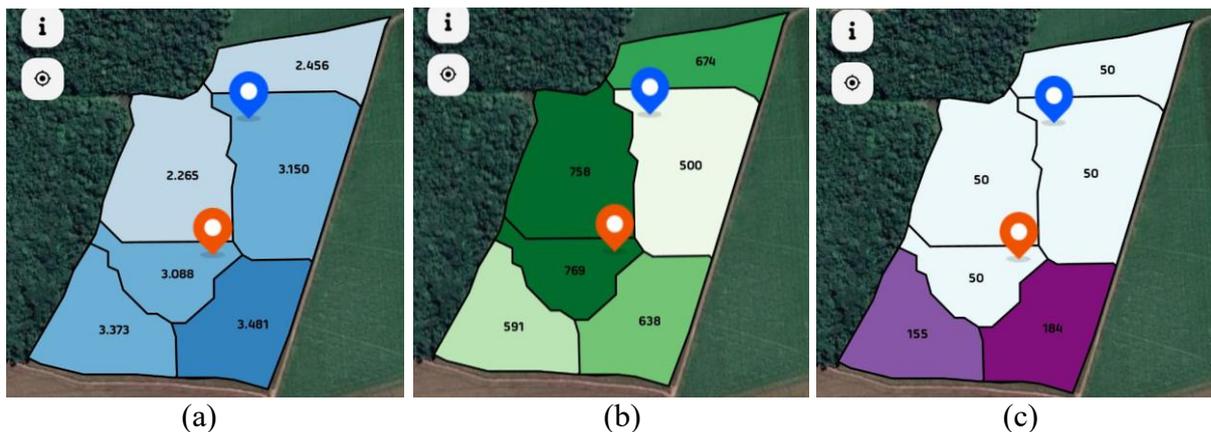


Figura 2. Mapa temático da taxa de aplicação (kg ha^{-1}) de corretivo, condicionador e adubo do solo usados na área onde foi realizado o experimento, sendo calcário dolomítico (a), de gesso (b), e de cloreto de potássio (KCl) (c), Fazenda Belo Horizonte, Laguna Carapã, MS, 2022.

Fonte: Cortesia do proprietário da Fazenda Belo Horizonte.

3.2. Amostragem

Para a avaliação da condutividade elétrica do solo, das características e produtividade da cultura foi realizado a distribuição dos pontos amostrais, utilizando uma grade amostral de 72 pontos equidistantes, onde cada ponto representa 0,5 ha, totalizando uma área de 35 ha (Figura 3). A localização dos pontos foi feita usando sistema de GPS, o software C7-GPS malha e o software QGis, versão 3.22.11.

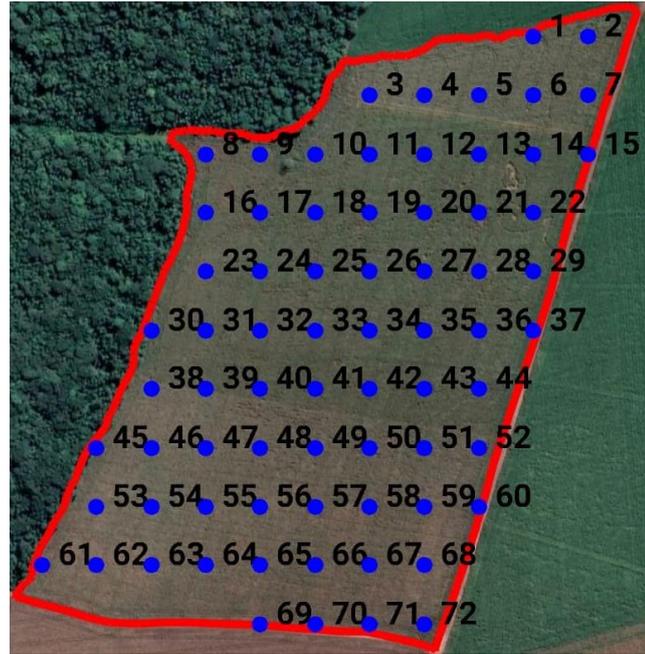


Figura 3. Distribuição dos pontos amostrais.

3.3. Condutividade elétrica aparente do solo

Para a determinação da condutividade elétrica aparente do solo foi usado o método da resistividade elétrica, conforme descrito em Venturin (2020). A condutividade elétrica foi obtida introduzindo no solo 4 eletrodos igualmente espaçados e em sequência, conforme apresentado na Figura 4.

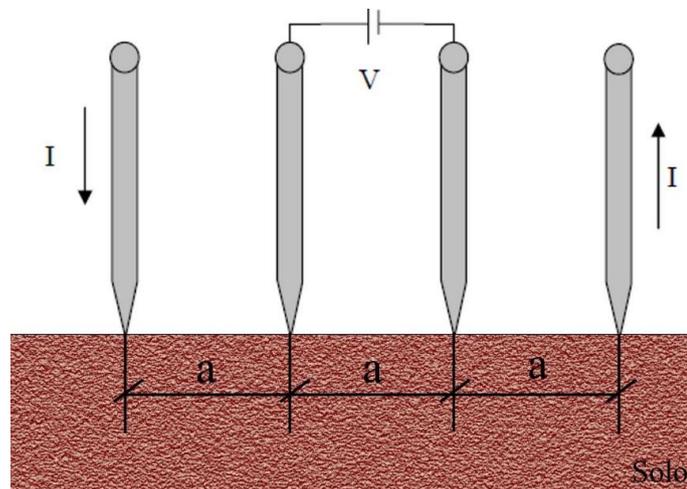


Figura 4. Sistema de medida da condutividade elétrica aparente do solo, usando um condutímetro de 4 eletrodos.

Fonte: Venturin (2020).

O medidor MCEAS foi usado na determinação da condutividade elétrica aparente do solo, equipamento desenvolvido por Venturin (2020). O medidor MCEAS está apresentado na Figura 5.



Figura 5. Vista frontal do MCEAS – Medidor de condutividade elétrica aparente do solo.
Fonte: Venturin (2020).

A umidade gravimétrica do solo foi determinada pelo quociente da massa de água existente em amostras de solo, retiradas ao redor dos pontos georreferenciado, e a sua massa seca, usando o método de estufa (TEIXEIRA et al., 2017).

3.4. Determinação da altura de planta e diâmetro do colmo

Para a determinação da altura de plantas foi utilizado fita métrica, com resolução de 1 mm, onde foi considerado a medida da distância entre o solo e o ápice de inserção da folha bandeira, no estádio R6 quando os grãos estavam fisiologicamente maduros (FANCELLI, 2015).

O diâmetro do colmo do milho foi determinado usando paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm, onde as leituras foram feitas na base das plantas, aproximadamente 5 cm do solo. Tanto a altura de plantas quanto o diâmetro do colmo foram feitos nos pontos da grade, sendo coletados dados de 3 plantas em cada ponto da grade amostral e nos mesmos pontos da condutividade elétrica aparente.

3.5. Produtividade e massa de mil grãos de milho

A massa de mil grãos foi determinada por meio da média da pesagem de quatro subamostras de 100 grãos por repetição de cada ponto amostral, conforme descrito em Mendieta (2022). As massas foram determinadas em uma balança de precisão, com resolução de 0,01 g, e corrigidas para 13% de teor de água, conforme adaptado de Brasil (2009).

A produtividade do milho no estádio R6 (FANCELLI, 2015) foi determinada nos mesmos pontos da grade amostral, efetuando a colheita manual das espigas das plantas presentes numa armação de área de 1,0 m², ao redor do ponto, repetidas duas vezes. Em seguida, a massa de grãos das espigas colhidas foi pesada e a produtividade de grãos do ponto determinada do quociente da massa pela área da armação. As massas foram corrigidas para 13% de teor de água dos grãos.

O teor de água dos grãos foi obtido por meio da secagem de duas subamostras da massa de grãos colhidos em cada ponto da grade amostral, em cadinhos de alumínio, na estufa a 105 °C por 24 horas, após este período foram aferidas com uma balança de precisão com resolução de 0,01 g (BRASIL, 2009).

3.6. Análise de dados

Os dados foram analisados por meio de análise de estatística descritiva (SILVA et al., 2018), calculando-se média, mediana, amplitude, desvio padrão, variância, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e de curtose, em seguida os parâmetros do semivariograma buscando assim caracterizar a distribuição dos dados da condutividade elétrica aparente do solo e da produtividade da cultura na área. Os cálculos para obtenção dos parâmetros e coeficientes da análise de estatística descritiva foi feito usando o software Microsoft Excel[®], versão 16.0.

Os coeficientes de variação (CV) foram analisados conforme classificação de Warrick e Nielsen (1998), que avaliaram atributos do solo no campo e consideraram baixa variação se $CV < 15\%$, moderada se $15\% \leq CV < 50\%$ e alta se $CV \geq 50\%$.

Para analisar a relação entre a produtividade de grãos, a massa de mil grãos, a altura e o diâmetro dos colmos das plantas em função da condutividade elétrica do solo foram aplicados a análise de regressão (DEVORE, 2018), com os modelos sendo selecionados por meio do coeficiente de determinação e do teste t do erro médio (SOUZA et al., 2022).

Nos semivariogramas ajustados da condutividade elétrica aparente do solo e da produtividade foram determinados os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A), conforme descrito em Queiroz et al. (2020). O mapeamento foi gerado por meio da interpolação utilizando os dados originais obtidos do campo, pelo método de Krigagem ordinário, adotando o protocolo e modelos isotrópicos descritos por Isaaks e Srivastava (1989). Usou-se 8 vizinhos durante o processo de interpolação. Utilizou-se o plugin Smart-Map para o software QGis, versão 3.22.11, para realizar as análises de geoestatística e geração dos mapas temáticos dos atributos (PEREIRA et al., 2022).

O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado utilizando a Equação 1 e classificado conforme apresentado em Cambardella et al. (1994), assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE > 0,75$, moderada para $0,25 \leq IDE \leq 0,75$ e forte para $IDE < 0,25$.

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (1)$$

em que:

IDE - índice de dependência espacial;

C_0 - efeito pepita;

C_1 - contribuição da semivariância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise estatística descritiva

Na Tabela 1 encontram-se apresentados os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, e coeficiente de assimetria e curtose da condutividade elétrica do solo, das características das plantas e produtividade do milho. Observa-se que, para a produtividade do milho os valores de média e mediana encontram-se próximos, no entanto os valores de produtividade estão 36,1 e 40,9% acima das médias encontradas para o estado de MS, que equivale a 5,76 Mg ha⁻¹ (FAMASUL, 2022) e 5,33 Mg ha⁻¹ (MENDIETA, 2022), respectivamente.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados do solo e do milho.

Parâmetros	Condutividade elétrica (mS m ⁻¹)	Umidade do solo (g g ⁻¹)	Característica das plantas		Massa de mil grãos (g)	Prod (Mg ha ⁻¹)
			Diâmetro (mm)	Altura (m)		
Média	10,50	0,11	23,72	2,37	378,77	9,01
Mediana	9,60	0,11	24,00	2,36	388,22	8,68
DP	3,22	0,01	2,36	0,14	37,09	1,96
CV	30,7	9,5	10,0	5,9	9,8	21,8
Variância	10,37	0,00	5,57	0,02	1375,90	3,85
Mínimo	6,58	0,10	15,67	2,03	261,73	5,41
Máximo	24,33	0,13	29,67	2,62	444,92	13,33
Distorção	1,80	0,58	-0,52	-0,36	-0,82	0,34
Curtose	4,30	-0,49	1,31	-0,56	0,98	-0,68

DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; Prod: produtividade.

O coeficiente de variação da condutividade elétrica aparente do solo, da produtividade do milho e massa de mil grãos é moderado (CV<50%), enquanto o da altura de planta, diâmetro dos colmos e umidade do solo são valores baixos (CV<15%).

A condutividade elétrica aparente média do solo na área estudada está 41,1% acima daquela obtida por Bottega et al. (2017a), que representava 6,19 mS m⁻¹ na exploração da cultura da soja, em solo similar.

A curtose dos dados da condutividade elétrica aparente do solo, do diâmetro dos colmos das plantas e a massa de mil grãos, apresenta-se como Leptocúrtica (>0), de acordo com a classificação observada em Silva et al. (2018), indicando que as curvas de frequências são mais em cume que aquela da distribuição normal. Por outro lado, a altura das plantas, a

produtividade e a umidade do solo apresentam-se como platicúrtica (<0), mostrando que as curvas de frequências são mais achatadas que a da distribuição normal.

Na Tabela 1, a condutividade elétrica e a produtividade em relação a distorção, seguindo as classificações de assimetria, apresenta-se com uma distribuição assimétrica à direita ou positiva ($As > 1$). Enquanto, as características das plantas como diâmetro e altura, classificam-se como uma distribuição assimétrica à esquerda ou negativa ($As < -1$).

4.2. Análise de regressão

Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os dados de altura de plantas e diâmetro do colmo em função da condutividade elétrica, respectivamente. Observa-se que não houve modelo selecionado devido o valor pequeno do coeficiente de determinação ($<0,1$), demonstrando que essas características podem estar mais influenciadas pelo genótipo da cultivar, do que propriamente a variação da condutividade elétrica do solo.

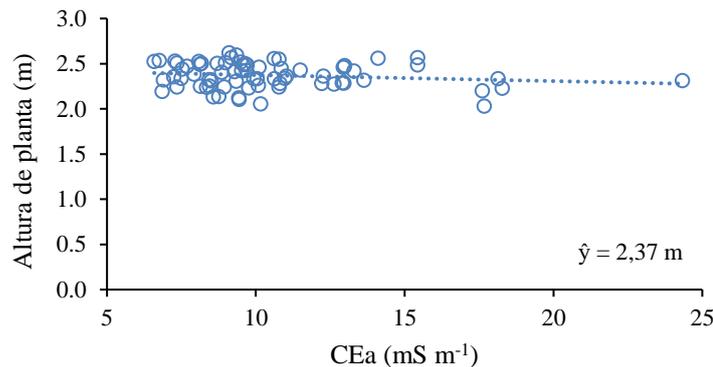


Figura 6. Altura de plantas em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

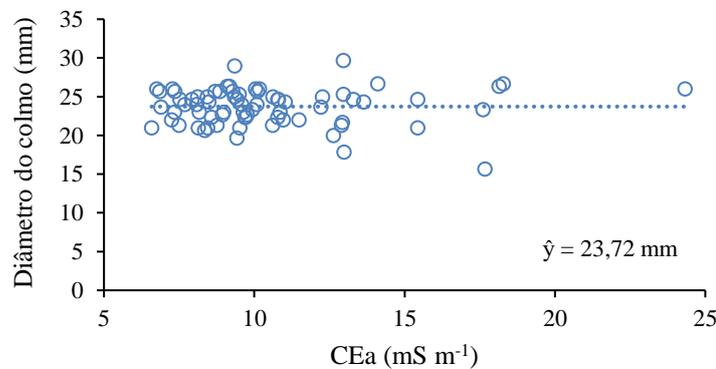


Figura 7. Diâmetro do colmo da planta em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

O diâmetro e a altura da cultivar do milho não variou em relação a condutividade elétrica, e isso pode estar diretamente ligado as características genéticas da planta. A massa de mil grãos (Figura 8) também não variou com a condutividade elétrica do solo, no entanto, nesse caso pode estar relacionado ao bom manejo da fertilidade na área.

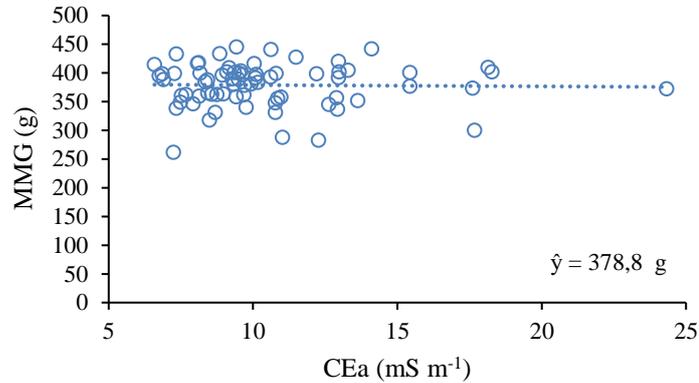
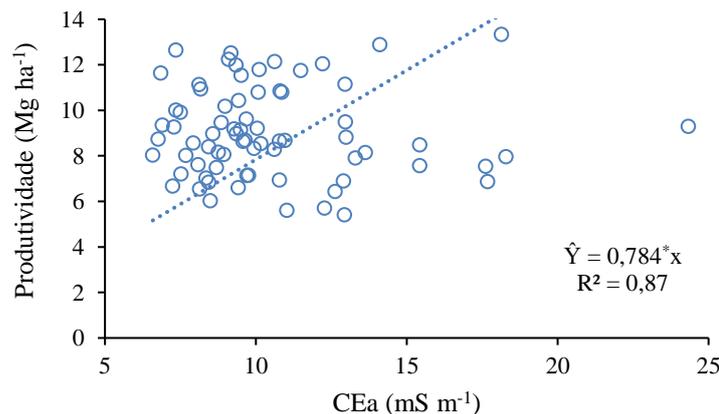


Figura 8. Massa de mil grãos (MMG) em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

A produtividade de grãos da cultura do milho aumentou linearmente com a condutividade elétrica aparente do solo (Figura 9). Observa-se que para incremento de uma unidade de condutividade elétrica aparente do solo tem-se um aumento médio de produtividade do milho de 0,784 Mg ha⁻¹.



*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t do erro médio.

Figura 9. Produtividade de grãos de milho em função da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

Em relação a produtividade com a condutividade elétrica aparente, segundo Godoy et al. (2019), a condutividade elétrica aparente do solo é uma função da textura e estrutura do solo, sendo particularmente sensível ao seu teor em água, matéria orgânica, e solutos. De acordo com

Rabello et al. (2014), variabilidade espacial em culturas é o resultado de uma complexa interação de fatores, tais como, biológico (micróbios, vermes etc.), edáfico (salinidade, matéria orgânica, nutrientes, etc.), antrópico (atividades humanas, compactação do solo devido a máquinas agrícolas), topografia (relevo, elevação) e climático (umidade relativa, temperatura, etc.).

4.2. Análise da variabilidade espacial dos atributos

A análise de geoestatística (Tabela 2) aponta que os modelos selecionados foram gaussiano para condutividade elétrica aparente do solo e massa de mil grãos, esférico para representar a umidade do solo, altura de planta e produtividade e linear para representar o diâmetro. Bottega et al. (2017b) encontrou tanto modelo gaussiano quanto esférico para explicar a variabilidade da condutividade elétrica aparente do solo, enquanto para produtividade também foi esférica semelhante a obtida por Bottega et al. (2017a). A maior parte dos modelos ajustados apresentam coeficiente de determinação superiores a 0,82, exceto o diâmetro de colmo que teve 0,71.

Tabela 2. Parâmetros do semivariograma ajustado do modelo matemático para a condutividade elétrica aparente do solo, das características e produtividade da cultura do milho.

Parâmetros	Parâmetros do ajuste					
	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	A	r ²	IDE
CEa	Gaussian	5,669	10,361	426,3	0,82	0,55
Umidade do solo	Esférico	0	23,775	535,9	0,92	0,00
Diâmetro do colmo	Linear	2,845	4,809	340,305	0,71	0,59
Altura de planta	Esférico	0,001	0,023	426,3	0,95	0,04
Massa de mil grãos	Gaussiano	665,627	1373,261	458,1	0,94	0,48
Produtividade	Esférico	1403886,174	2531797,458	535,3	0,85	0,55

CEa: condutividade elétrica aparente do solo; C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; A: Alcance; r²: coeficiente de determinação; IDE: índice de dependência espacial.

O alcance da dependência espacial representa a distância dentro da qual os valores dos atributos são iguais entre si (DALCHIAVON & CARVALHO, 2012), demonstrando que os atributos do solo e das plantas têm variabilidade acima dos 426,3 m na área experimentada.

O índice de dependência espacial (IDE) pode ser considerado forte para a umidade do solo e a altura de planta, enquanto para os demais atributos teve-se dependência espacial moderada. Gelain et al. (2021) observaram dependência espacial moderada (63%) para produtividade do milho com alcance de 157 m e coeficiente de determinação de 0,91 ajustado para o modelo teórico exponencial.

Analisando o mapa da condutividade elétrica aparente do solo (Figura 10) se observa que onde se teve os seus menores valores também se teve menores umidade do solo (Figura 11), e vice-versa, no entanto há regiões de maior umidade com condutividade elétrica média. Lins et al. (2020) encontram maiores condutividades elétricas na camada intermediária do solo, constatando a relevância da função ecológica da mata ciliar na manutenção de elevadas umidades e baixas salinidades nas camadas mais profundas do solo.

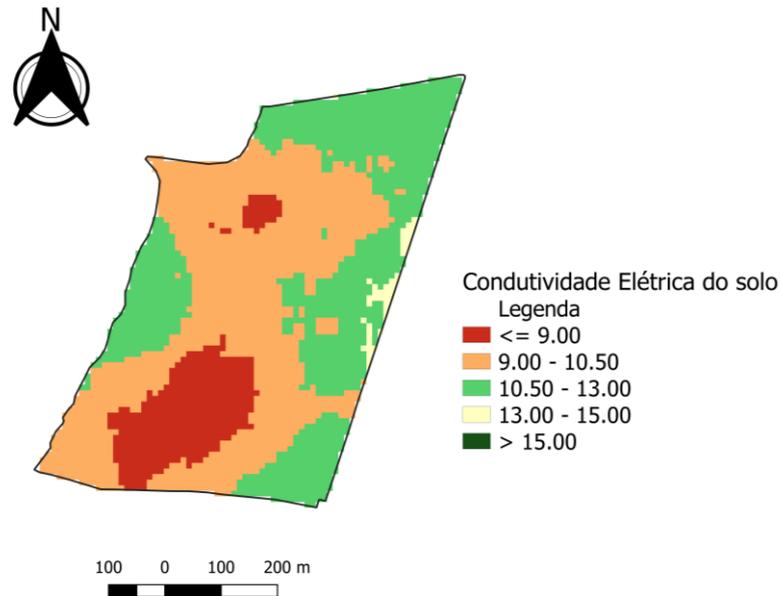


Figura 10. Mapa temático da distribuição espacial da condutividade elétrica aparente (mS m^{-1}) do solo.

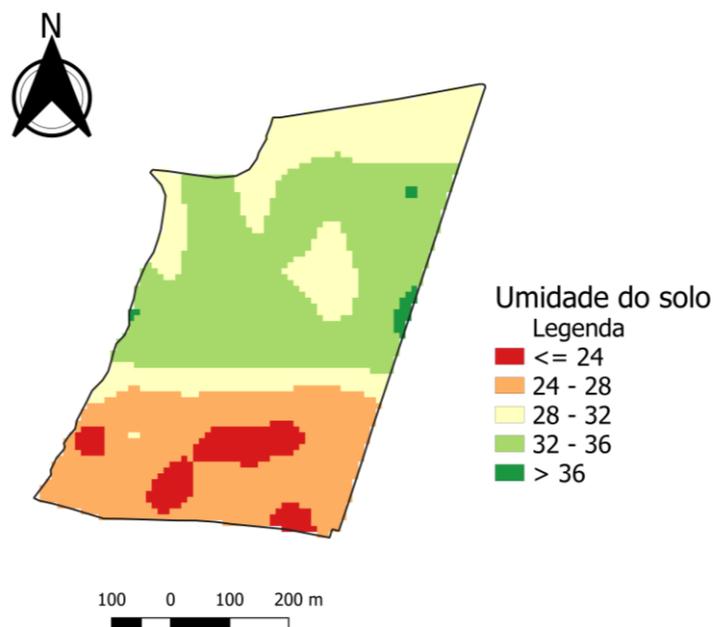


Figura 11. Mapa temático da distribuição espacial da umidade do solo (%), obtida durante a experimentação da condutividade elétrica aparente do solo.

É possível afirmar com uma breve análise visual dos mapas de variabilidade espacial ilustrado nas Figuras 12 e 13, que existe uma resposta semelhante na área da altura e do diâmetro do colmo do milho. Nas regiões de maiores valores do diâmetro do colmo também se verifica maiores alturas de plantas, e vice-versa para os menores valores, mostrando assim uma relação de altura de plantas com um porte menor e plantas com um diâmetro de colmo reduzido.

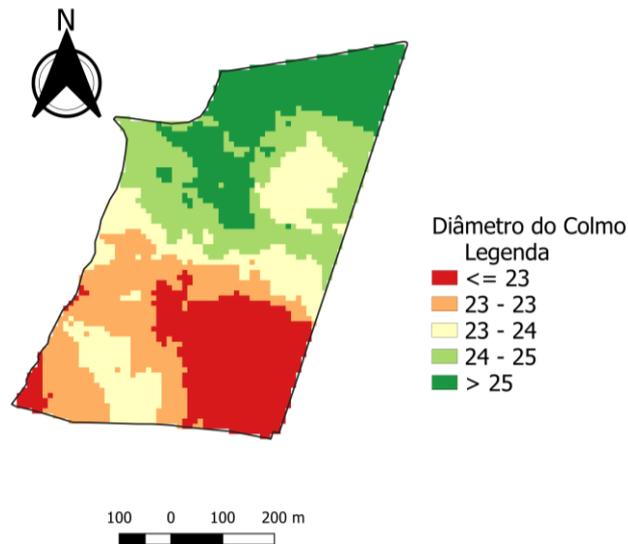


Figura 12. Mapa temático da distribuição espacial dos diâmetros do colmo (mm) do milho.

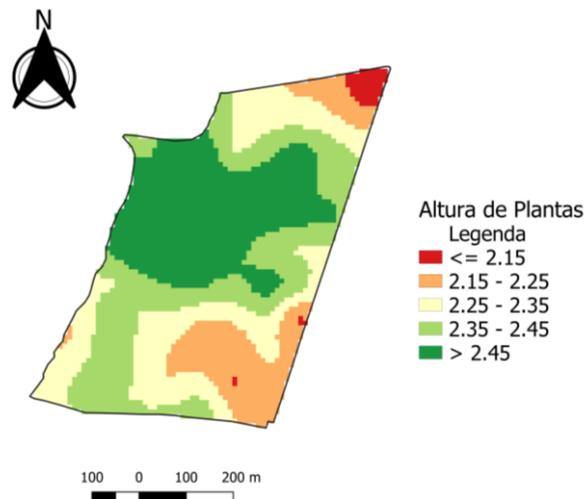


Figura 13. Mapa temático da distribuição espacial das alturas de planta (m) do milho.

Na Figura 14, a região de maior massa de mil grãos corresponde ao intervalo de 365 a 400 g, é numa região semelhante na Figura (15), também é observado a maior produtividade de grãos, equivalendo a valores superiores a $10.500 \text{ kg ha}^{-1}$.

Mendieta (2022) encontrou mapas temáticos de massa de mil grãos e produtividade do milho, onde seus valores se apresentavam-se mais uniformes que os mapas obtidos neste trabalho, com médias de 210 g e 5.331,63 kg ha⁻¹, respectivamente. A produtividade estimada do milho segunda safra, em 2022/2023, é de 4.819,80 kg ha⁻¹ (FAMASUL, 2023), enquanto a produtividade obtida neste trabalho foi de 9.010,00 kg ha⁻¹. Isso demonstra que a estratégia usada para obtenção de altas produtividades do milho de segunda safra resultou-se eficaz, por apresentar valores acima daqueles comumente obtidos para a região.

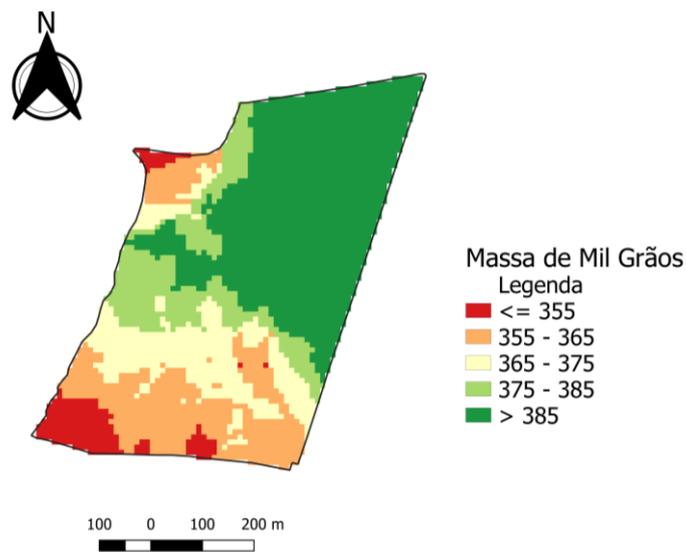


Figura 14. Mapa temático de variabilidade espacial da massa de mil grãos (g) do milho.

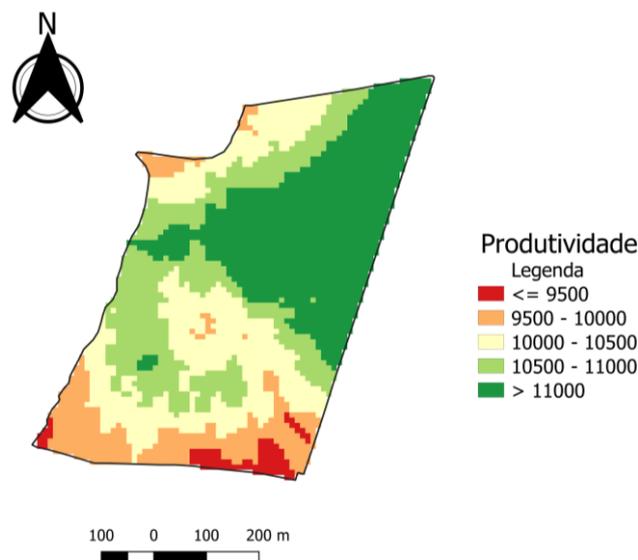


Figura 15. Mapa temático de variabilidade espacial da produtividade do milho (kg ha⁻¹).

Os agricultores têm como objetivo a obtenção de altas produtividades com o menor custo possível, para ter um melhor retorno econômico da atividade agrícola. Com isso, a estimativa da quantidade média da produtividade da lavoura já não é mais suficiente quando se pensa em agricultura digital, pois a ideia é a gestão localizada da produção (MOLIN et al., 2015).

Na Figura 15 é observado a maior produtividade de grãos ocupando grande parte da área em estudo, e é possível verificar semelhança dessa área com a área de maior umidade (Figura 11), como também é possível visualizar similaridade com áreas de maior massa de mil grãos, diâmetro do colmo e altura de plantas. Por outro lado, mesmo na área com menores condutividades elétricas aparentes ($9,0 \text{ mS m}^{-1}$) do solo obteve-se boas produtividades, assim mostrando que a produtividade do milho e a condutividade elétrica aparente do solo, tem uma ligeira relação entre ambas.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os mapas de produtividade, umidade, altura das plantas, diâmetro do colmo e da massa de mil grãos pode-se atribuir que há correlação entre seus valores, verificada pela variabilidade espacial da área, sendo que, onde houve maiores condutividade elétrica aparente e umidade do solo, é possível observar um diâmetro de colmo, altura de plantas e produtividade também maiores.

É possível concluir também que onde se teve menores valores de condutividade elétrica aparente o solo, também se teve menor umidade do solo, porém há regiões de maior umidade e elevada produtividade, com condutividade elétrica média, assim mostrando que a produtividade neste caso está ligada a outros fatores, como por exemplo, umidade do solo, e a condutividade elétrica aparente do solo está ligada a fatores físicos e químicos do solo, não sendo possível correlacionar ambas diretamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. <https://doi.org/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.

BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003522/1/CAP60.pdf>

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. de; VALENTE, D.S.M. Precision agriculture applied to soybean: Part I - Delineation of management zones. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, p.573-579, 2017a. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.05.p381>

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; VALENTE, D.S.M.; SOUZA, C.M.A. de. Precision agriculture applied to soybean crop: Part II - Temporal stability of management zones. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, p.676-682, 2017b. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p382>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Acesso em: 16 out. 2022. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes (RAS)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, D. C. de O. et al. Composição química e energética de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, p.358-364, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/vPZDtbyY48n3MTrKwkZkCSB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abril 2023.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.11-43, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>

COSTA, M. M. **Condutividade elétrica do solo como ferramenta para agricultura de precisão em uma área sob cerrado**. Viçosa, 2011. 89f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 2011.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.541-552, 2012. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/10329/WOS000307002600011.pdf>

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. 9ª edição. São Paulo, SP: Cengage Learning Brasil, 2018. 656p.

FAMASUL, **Boletim casa rural: agricultura**. Ed. nº 502, 2023. 44p. Acesso em 07/04/2023. Disponível em: <https://portal.sistemafamasul.com.br/sites/default/files/boletimcasapdf>

FANCELLI, A. L. Manejo baseado na fenologia aumenta eficiência de insumos e produtividade. **Visão Agrícola**, v.9, n.13, p.24-29, 2015. Disponível: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/edicoes/milho>. Acessado em: 11/05/2023

GELAIN, E.; BOTTEGA, E. L.; MOTOMIYA, A. V. de A.; OLIVEIRA, Z. B. de. Variabilidade espacial e correlação dos atributos do solo com produtividade do milho e da soja. **Nativa**, v.9, n.5, p.536-543, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.11717>

GODOY, F. O de, BERNARDI, A. D. C., ROSSI, F.; BUENO, J. D. A. Mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo e sua relação com matéria orgânica e granulometria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 48, **Anais...**, Campinas, SP. Anais... Jaboticabal, SP: SBEA, 2019.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. **Oxford University Press**, New York. 1989. 561p.

LINS, F. A. C.; LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. de A. Variabilidade espacial da umidade e condutividade elétrica do solo em vale aluvial utilizando técnicas geofísicas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.6, n.1, p.56-63, 2020. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n1ID18484>

MENDIETA, F. M. P. **Variabilidade espacial dos componentes de produção do milho e a correlação com a produtividade**. 2022. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2022. <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/5023>

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1.ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PEREIRA, G. W.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M. de; COELHO, A. L. de F.; COSTA, M. M.; GRIFT, T. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, v.12, n.6, p.1350, 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12061350>

QUEIROZ, D.M. de; VALENTE, D.S.M.; PINTO, F. de A.C.; BORÉM, A. **Agricultura digital**. Viçosa, Suprema Gráfica Editora, 2020, 348p.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 48-57.

RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.288-291, 1984

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, 540-546, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200030>

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Estudo da dimensão territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: regiões de planejamento**. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2015. 90 p. Disponível em: http://www.semadesc.ms.gov.br/wp-content/uploads/2017/06/estudo_dimensao_territorial_2015.pdf. Acessado: 11/05/2023.

SILVA, E. M. D.; SILVA, E. M. D.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Estatística**, 5ª edição. São Paulo: Atlas 2018. 355p.

SILVA, S. de A.; LIMA, J.S. de S.; SANTOS, N.T. Análise das variabilidades especial e temporal. In: QUEIROZ, D.M. de; VALENTE, D.S.M.; PINTO, F. de A.C.; BORÉM, A. **Agricultura digital**. Viçosa: UFV, p.45-65, 2020.

SOUZA, C. M. A. de; PADILHA, M. S.; ARCOVERDE, S. N. S.; RAFULL, L. Z. L. Artificial neural networks to predict efficiencies in semi-mechanized bean (*Phaseolus vulgaris* L.) harvest. **Engenharia Agrícola**, 42, e20210097, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v42nepe20210097/2022>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; ADEMIR FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solos**. 3.ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2017, 574p.

VENTURIN, J. C. **Desenvolvimento de um medidor de condutividade elétrica do solo como ferramenta para agricultura de precisão**. 2020. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313098532_Geoestatistica_em_estudos_de_variabilidade_espacial_do_solo_In_NOVAIS_R_F_et_al_Eds#fullTextFileContent. Acessado em: 11/05/2023.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**, New York: Academic, p.655-675, 1998.