USO DA GEOESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO ESPACIAL DO CRESCIMENTO DO MILHO

Pedro Gabriel Monteiro De Oliveira[1]
Fred Denilson Barbosa Da Silva[2]
Gabriel Uchoa Cunha[3]
Juan Carlos De Souza Costa[4]
Rafaella Da Silva Nogueira[5]

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espacial das características morfológicas do milho nos estádios de crescimento aos 21 e 63 dias após a emergência (DAE). A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Piroás (FEP), localizada em Redenção, Ceará, onde o milho foi cultivado em sistema orgânico. As variáveis estudadas foram: altura das plantas (AP), diâmetro do colmo (DC) e número de folhas por planta (NFP). O monitoramento espacial foi realizado em formato de grid regular espaçado a cada 5 metros que totalizaram 40 pontos de amostragem. Os dados foram submetidos a estatística descritiva para descrever o comportamento das variáveis em diferentes momentos do desenvolvimento das plantas, enquanto a análise geoestatística foi utilizada para identificar a dependência espacial e os padrões de variabilidade entre os pontos de amostragem. A técnica de krigagem foi empregada para interpolar os valores das variáveis nas áreas não amostradas permitindo uma estimativa precisa dos parâmetros de crescimento em toda área experimental. Os resultados analisados por meio de semivariogramas indicaram uma dependência espacial nas três variáveis monitoradas. Dos modelos Exponencial e Esférico foi utilizado o Exponencial para NFP1, DC1, AP1, NFP2 , AP2 e o Esférico no DC2 para descrever a dependência espacial. A análise da variabilidade espacial utilizando técnicas de geoestatística, como a krigagem, se mostrou uma ferramenta eficaz na compreensão da distribuição espacial das variáveis estudadas e pode ser usada como instrumento para subsidiar nas tomadas de decisões para a implementação de modelos de manejo do solo e plantas dentro do sistema produtivo.

Palavras-chave: geoestatística; variabilidade espacial; krigagem; Zea mays L.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IDR-Instituto de Desenvolvimento Rural, Discente, pgabrielce@aluno.unilab.edu.br[1]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IDR-Instituto de Desenvolvimento Rural, Docente, freddenilson@unilab.edu.br[2]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IDR-Instituto de Desenvolvimento Rural, Discente, gabriel10uchoa@gmail.com[3]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IDR-Instituto de Desenvolvimento Rural, Discente, juancosta@aluno.unilab.edu.br[4]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IDR-Instituto de Desenvolvimento Rural, Docente, rafaellanogueira@unilab.edu.br[5]

ISSN: 2447-6161

INTRODUÇÃO

O cultivo do milho (*Zea mays L.*) é de extrema importância no contexto agrícola mundial, sendo uma das principais culturas alimentares e econômica, o Brasil alcançou uma produtividade média de 6.310 kg por hectare na safra 2023/2024, registrando um aumento de 2,4% em comparação com a safra anterior, 2022/2023 (CONAB, 2024). O monitoramento do crescimento das plantas ao longo de seu ciclo de desenvolvimento é fundamental para o manejo adequado da cultura, permitindo otimizar a produtividade e garantir a saúde das plantas.

O acompanhamento do crescimento vegetativo do milho é essencial para garantir uma produção eficiente, pois essa cultura apresenta alta demanda em termos de manejo agronômico além de ser sensível a estresses ambientais e práticas de manejo inadequadas. Logo, o uso do sensoriamento remoto proporciona uma redução considerável no tempo de trabalho de um agricultor, o que gera economia de recursos humanos e materiais (Rosa et al, 2023). Portanto, compreender como essas variáveis se comportam em diferentes estágios de crescimento da cultura permite que os agricultores e técnicos ajustem suas práticas de manejo para maximizar a eficiência produtiva, reduzindo perdas e garantindo maior rendimento da cultura.

Essas geotecnologias utilizam a geoestatística na avaliação espacial dos dados, pois permite analisar e modelar a variabilidade espacial das características da planta e do solo, por meio de técnicas como a krigagem em que é possível estimar a produtividade do milho em diferentes áreas de uma lavoura levando em consideração fatores como fertilidade do solo, umidade e topografia (Toledo, 2020). Essas análises ajudam a identificar zonas de manejo, permitindo a aplicação de práticas agrícolas mais precisas e sustentáveis. A geoestatística também auxilia na tomada de decisões relacionadas ao uso de insumos, otimização do espaço e previsão de rendimento, contribuindo para o aumento da eficiência e produtividade na cultura do milho.

Os resultados deste estudo têm implicações práticas tanto para o manejo da cultura do milho quanto para a pesquisa agronômica. A análise do crescimento em diferentes fases da lavoura permite identificar pontos críticos que necessitam de intervenção, ajudando os produtores a otimizar os recursos disponíveis, como insumos e tempo de trabalho. Além disso, o conhecimento gerado pode contribuir para a modelagem do crescimento do milho em diferentes condições edafoclimáticas, servindo como base para futuras pesquisas que busquem maximizar a produtividade dessa cultura.

Diante do exposto, objetivou-se que este trabalho gerasse um melhor entendimento sobre as condições necessárias para o crescimento adequado do milho, bem como fornecesse informações que possam ser aplicadas diretamente no campo, beneficiando o setor agrícola e auxiliando na tomada de decisões mais precisas e embasadas cientificamente.

METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Piroás (FEP), vinculada à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). A FEP está situada no distrito de Barra Nova, a aproximadamente 16 km do município de Redenção, no estado do Ceará. Localizada entre as coordenadas geográficas 9541794 S e 522903 W e 9537928 S e 521172 W abrange uma área total de 33 hectares. A cidade de Redenção possuir uma vegetação Caatinga, com clima Tropical Quente Úmido, pluviometria média de 1.062,0 no ano com período chuvoso de janeiro a abril, tendo uma temperatura média de 26° a 28° (IPECE, 2017).

A implantação da cultura do milho ocorreu em maio de 2024 utilizando uma variedade crioula local que

ISSN: 2447-6161

possui um ciclo aproximado de 140 dias. O espaçamento adotado foi de 0,70 x 0,40 m, o cultivo ocorreu a partir da semeadura de 4 sementes por cova. A área experimental ocupou 861 m², com dimensões de 21 x 41 m. Aos 13 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma plântula por cova. O cultivo foi conduzido em sistema orgânico sob condições de sequeiro.

A análise das plantas de milho foi realizada a cada 5 metros, formando um grid regular. No total foram analisados 40 pontos de amostragem. As coordenadas geográficas de cada planta amostrada foram registradas com o auxílio de um GPS Portátil Garmin Etrex 10. As plantas foram devidamente identificadas para monitoramento e avaliação dos parâmetros ao longo de todo o ciclo da cultura.

Aos 21 e 63 dias após a emergência (DAE) foram analisadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP), medida com uma trena do nível do solo até o topo da inflorescência masculina; diâmetro do colmo (DC), registrado a 0,05 m do solo com o uso de um paquímetro digital; e o número de folhas por planta (NFP).

O comportamento geral das variáveis estudadas foi inicialmente avaliado por meio da estatística descritiva, utilizando medidas como média, mediana, valores máximos e mínimos, coeficiente de variação, curtose e assimetria do conjunto de dados, com o auxílio do software R. Em seguida, os dados foram analisados sob a perspectiva da geoestatística no software ArcGIS 10.8.

A variabilidade dos atributos foi classificada com base no coeficiente de variação (CV), seguindo a metodologia de Warrick e Nielsen (1980). Segundo essa classificação, CV 60% representa alta variabilidade espacial.

Os semivariogramas foram modelados no software ArcGIS 10.8 a fim de verificar a continuidade ou dependência espacial dos dados, foram testados três modelos matemáticos: esférico, exponencial e gaussiano. O modelo que melhor representou o semivariograma foi escolhido com base na raiz quadrada do erro médio (RMSE). A partir dessa análise, determinaram-se os parâmetros de efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A0). O grau de dependência espacial (GDE) foi determinado utilizando a metodologia de Cambardella et al. (1994), que se baseia na relação entre o efeito pepita e o patamar. Os resultados do parâmetro de comparação GDE podem ser classificados como: dependência espacial forte 75%..Os dados foram processados utilizando a krigagem ordinária, que emprega os parâmetros do semivariograma para a sua estimativa. Posteriormente, foram gerados mapas temáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 - Estatística descritiva.

Variável	Méd	Med	Máx	Mín	CV	DP	ASS	C
NFP1	5,10	5,0	6,0	3,0	13,90	0,70	-0,60	0,77
DC1	10,60	10,5	16,4	3,9	27,64	2,93	-0,47	0,58
AP1	80,80	80,0	122,0	44,0	21,53	17,40	0,02	0,03
NFP2	9,47	10,0	13,0	6.0	1,60	1,77	-0,33	-0,34
DC2	16,00	16,1	20,0	8,4	17,81	2,85	-0,60	-0,05
AP2	208,00	208,0	330,0	121	28,84	60,00	0,27	-0,85

média(Méd), mediana(Med), máximo(Máx), mínimo(Mín), Coeficiente de variação(CV) (%), Desvio padrão(DP), Assimetria(Ass), Curtose(C);NFP1 (Número de Folhas por Planta aos 21 DAE), DC1 (Diâmetro do Colmo aos 21 DAE): AP1 (Altura de Plantas aos 21 DAE), NFP2 (Número de Folhas por Planta aos 63 DAE), DC2 (Diâmetro do Colmo aos 63 DAE):AP2 (Altura de Plantas aos 63 DAE).Fonte: Autor (2024).

ISSN: 2447-6161

A média da altura das plantas foi de 80,8 cm, variando entre 44 cm e 122 cm aos 21 DAE. Com um aumento da altura média das plantas para 208 cm, com uma variação de 121 cm a 330 cm nos 63 DAE. A altura das plantas aumentou entre os dois períodos. Esse crescimento acelerado é típico da fase vegetativa avançada do milho, onde a planta ganha altura rapidamente. No entanto, o aumento do coeficiente de variação sugere que, embora as plantas tenham crescido, houve uma maior heterogeneidade no campo em relação ao crescimento em altura. Conforme STUBBS, Christopher J. et al (2023) É amplamente aceito que a redução da altura da planta e da espiga contribui para melhorar a resistência do colmo ao acamamento. Essa redução diminui o estresse mecânico de flexão ao qual os colmos são submetidos durante tempestades de vento, e como visto pela altura máxima de 330 cm na AP2 resultando num maior estresse no colmo durante ventos fortes fazendo assim serem mais sucessivas ao acamamento.

Tabela 2: Modelos matemáticos ajustado ao semivariograma

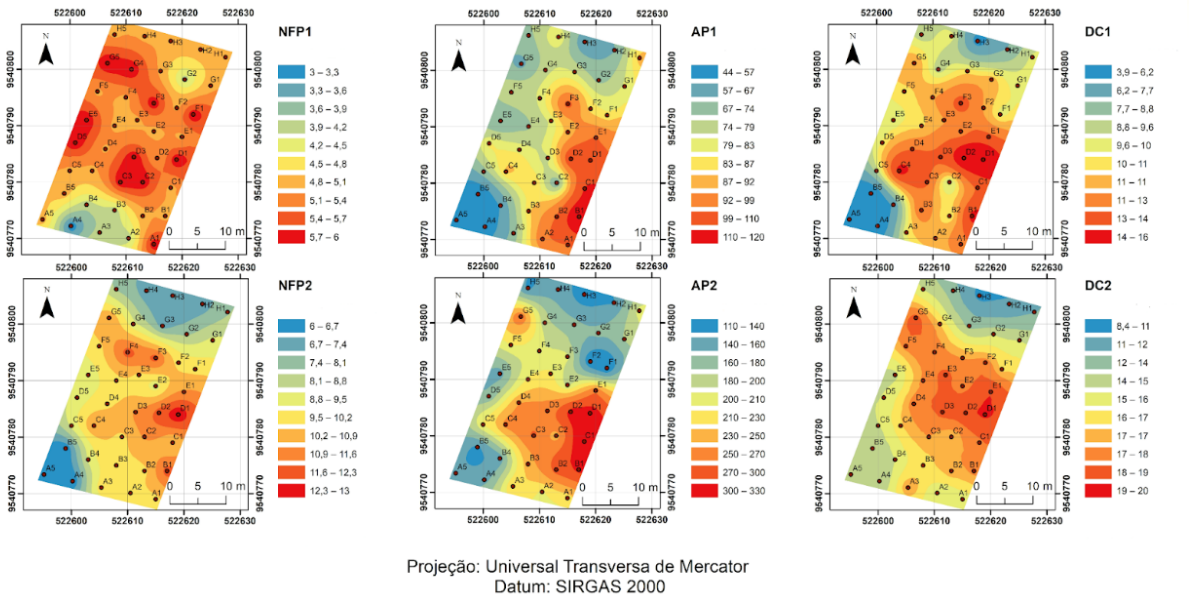
Variável	Modelo	C_0	$C_0 + C_1$	A_0	$[C_0/(C_0 + C_1)]$	RMSE	GDE(%)
NFP1	Exponencial	0	0,51	12,43	0	0,64	0
DC1	Exponencial	0	12,03	33,93	0	1,89	0
AP1	Exponencial	0	424,06	34,69	0	11,06	0
NFP2	Exponencial	0	4,41	34,50	0	1,12	0
DC2	Esférico	2,13	8,11	26,64	0,26	2,29	26
AP2	Exponencial	0	4,90	29,39	0	38,08	0

C0 = Efeito pepita, C0 + C1 = Patamar; A0 = Alcance, [C0/(C0 + C1)] = Relação efeito pepita-patamar; RMSE = Erro da raiz quadrada média,GDE = Grau de dependência espacial em % [C0/(C0 + C1)] x 100, NFP1 = Número de Folhas por Planta aos 21 DA, DC1= (Diâmetro do Colmo aos 21 DAE, AP1 = Altura de Plantas aos 21 DAE , NFP2 = Número de Folhas por Planta aos 63 DAE, DC2 = Diâmetro do Colmo aos 63 DAE, AP2 = Altura de Plantas aos 63 DAE, Fonte: Autor (2024).

Na tabela 2 é possível observar que as variáveis se ajustaram aos modelos Exponencial e Esférico, sendo utilizado o Exponencial para NFP1, DC1, AP1, NFP2 , AP2 e Esférico no DC2 para descrever a dependência espacial. A análise indica que, em geral, a maioria das variáveis apresenta uma dependência espacial forte exceto o DC2 que apresenta uma dependência espacial moderada conforme a classificação de Cambardella et al, (1994). O maior alcance para variável AP1 sendo de 34,69, indicando que a malha amostral foi suficiente, mas pode ser ajustada para estudos futuros podendo cobrir melhor a área amostral.

Figura 1: Mapas da variabilidade espacial

ISSN: 2447-6161



Fonte: Autor (2024).

Os mapas de krigagem exibem a distribuição espacial das variáveis NFP, DC e AP para os dois estágios de desenvolvimento do milho. Através dos mapas de NFP1 e NFP2, observa-se que o número de folhas por planta, com áreas onde o valor é maior ou menor de acordo com a localização geográfica dentro do perímetro analisado. No estágio inicial NFP1, há uma predominância de áreas sudoeste do mapa apresentando o menor número de folhas que se expande na mesma região no NFP2, pode ser visto que a parte norte que se apresentava com valores medianos na fase inicial agora uma redução apresentando valores mínimos na região norte do mapa aos 63 DAE. A altura das plantas AP1 e AP2 segue um padrão semelhante na distribuição espacial apresentado uma menor altura na região sudoeste, com um crescimento ao longo do tempo. No entanto, as áreas com maior altura de plantas estão concentradas na região centro leste do campo. O diâmetro do colmo DC1 e DC2 apresentou um maior diâmetro de caule na região do centro leste. Como pode ser visto no mapa de variabilidade espacial, todas as variáveis estudadas obtiveram um melhor desempenho na região centro leste, a sua pior no norte .

CONCLUSÕES

Conclui-se que o monitoramento das variáveis de crescimento do milho, como altura, número de folhas e diâmetro do colmo, com a aplicação da geoestatística demonstrou a variabilidade espacial presente na cultura, sendo observado o contraste das áreas que apresentam os melhores e piores desenvolvimentos.

A utilização da geoestatística na avaliação espacial do crescimento do milho se mostra fundamental para a agricultura. Por meio da análise e modelagem da variabilidade espacial, é possível identificar zonas de manejo, otimizar o uso de insumos e prever rendimentos com maior precisão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e incentivo à pesquisa. Agradeço também à Pró-

Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da UNILAB pelo suporte institucional. Meus sinceros agradecimentos à Professora Rafaella Da Silva Nogueira e ao Professor Fred Denilson pela orientação e dedicação ao longo deste trabalho. Estendo minha gratidão aos colegas Enzo Gonçalves, Vick Sampaio, Gabriel Uchoa e Juan Carlos pela parceria e colaboração. Por fim, agradeço ao grupo de pesquisa TopoGeo, que foi fundamental no desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

CAMBARDELLA, C.V; MOORMAN, T. B; PARKIN, T. B; KARLEN, D. L; NOVAK, J. M; TURCO, R. F; KONOPKA, A. E.
Variabilidade em escala de campo das propriedades do solo em solos centrais de Iowa. Revista Soil Science Society of America, 58, 1501-151, (1994). Doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; DE AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. Revista Comunicata Scientiae, v. 4, n. 2, p. 168- 178, 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2023/2024. Available on:https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos. Accessed on: out. 2024

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil municipal 2017: Redenção. Fortaleza, CE, jan. de 2018. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Redencao_2017.pdf. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

MAGALHAES, Paulo C.; DURÃES, Frederico OM. Fisiologia da produção de milho. 2006.

R Core Team (2021). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from https://cran.r-project.org. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).

Rosa, Nicolas dos Santos et al. A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO EM ESTUDOS FORENSES AMBIENTAIS. In: ANAIS DO XX SIMPóSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos...São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: Acesso em: 28 set. 2024

STUBBS, Christopher J. et al. Moving toward short stature maize: the effect of plant height on maize stalk lodging resistance. Field Crops Research, v. 300, p. 109008, 2023.

TOLEDO, José Luiz Cerboni de; DOS SANTOS RIBEIRO, Anatálya. O uso da geoestatística no preparo do solo: a agricultura de precisão. 2020.

WARRICK, A. W. Spatial variability of soil physical properties in the field. Application of soil physics., p. 319-344, 1980.

ISSN: 2447-6161