

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

CAIO CÉSAR SALES GOMES

**ESPACIALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM MILHO DE
SEGUNDA SAFRA**

**UBERLÂNDIA - MG
2022**

CAIO CÉSAR SALES GOMES

**ESPACIALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM MILHO DE
SEGUNDA SAFRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Área de concentração: Agricultura de Precisão.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado.

**UBERLÂNDIA – MG
2022**

CAIO CÉSAR SALES GOMES

**ESPACIALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM MILHO DE
SEGUNDA SAFRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Uberlândia, 28 de março de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado (UFU)

Prof. Dr. Hamilton Kikuti (UFU)

Eng^o Thomaz Lemos Olivieri Rodrigues Alves – (Sensix Ag)

AGRADECIMENTOS

O maior dos agradecimentos vai para meu pai e minha mãe que muito me apoiaram e sempre aplaudiram toda vitória minha, além de serem os agentes formadores da pessoa que sou hoje.

Ao meu filho Miguel que, de longe, serviu de catalisador para minhas inspirações e atitude resilientes ao longo do processo, foi sempre por ele.

A minha namorada Leticia que como ser humano maravilhoso que é, também serviu de propulsor para que eu galgasse sempre saltos maiores, exercendo papel determinante por seu amor, carinho e paciência, deixando sempre as coisas mais fáceis.

Ao meu irmão Ton que me inspirou a sempre trilhar passos grandes e um espelho para minha vida pessoal e científica durante a graduação e vida, como magnífico ser humano, pai, irmão e cientista que é.

À minha família como um todo, que, embora pequena, teve sua parcela contribuinte e essencial.

Aos meus amigos, que representaram a parte divertida de toda a caminhada. Momentos que precisamos passar e que fazem da vida, dolorosa as vezes, fácil de ser encarada.

Ao meu professor e orientador Sandro, sempre muito paciente e atencioso que topou me ajudar nessa empreitada, solidificando meu interesse no fascinante mundo da Agricultura de Precisão.

Aos integrantes do GeAP que me ajudaram na execução deste trabalho e na minha formação em reuniões e durante outros trabalhos de ajuda mútua, espírito contribuidor que é base deste grupo.

A UFU e ICIAG que com seu excelente e talentoso grupo de profissionais me passaram todo o conhecimento possível que pude adquirir durante o meu tempo na graduação deste estimado curso.

O meu muito obrigado!!

RESUMO

O potencial produtivo do milho é direcionado por fatores genéticos e inerentes ao manejo da lavoura, podendo estes apresentar comportamento espacial nas lavouras. Nesse sentido, estimativas de produtividade podem ser aprimoradas ao levar em consideração a variabilidade espacial os talhões. O objetivo deste trabalho foi avaliar, de forma espacial, a contribuição dos componentes produtivos do milho na estimativa de produtividade da cultura, como a sua relação com a produtividade real do grão. O trabalho foi conduzido nas Fazenda Capim Branco, na Universidade Federal de Uberlândia-MG, em área de 25 ha, cultivada sobre Latossolo Vermelho, com a cultura do milho em sistema plantio direto, sob sequeiro. Para coleta das informações foi definida uma grade amostral de dois pontos por hectare (50 pontos), onde foi demarcada, no centro de cada quadrícula, uma parcela útil de 10m². A produtividade real foi determinada obtendo o peso dos grãos das espigas contidas nas parcelas úteis. A produtividade estimada foi determinada a partir da avaliação dos componentes produtivos da cultura. O estande final foi obtido para a parcela útil. O número de espigas, de fileiras por espiga, de grãos por fileira e do peso de mil sementes (PMS), considerou a retirada de 5 plantas em cada uma das 2 linhas centrais da parcela útil. Os dados foram analisados de forma descritiva, com uso de correlação linear de Pearson e espacialmente, a partir do uso da geoestatística. As maiores correlações foram entre a produtividade estimada e os componentes PMS ($r=0,74$) e número de grãos por fileira ($r=0,58$), o que foi corroborado a partir dos mapas temáticos para esses atributos. Espacialmente, o PMS apresentou semelhante valor de alcance quando comparado à produtividade estimada do milho. Há presença de dependência espacial para todos os atributos estudados, tendo o PMS o maior impacto na estimativa da produtividade do milho. Houve superestimativa da produtividade de milho em relação a produtividade real. Os dados, quando avaliados de forma espacial, permitem observar um padrão de comportamento semelhante para ambas determinações da produtividade.

Palavras-Chave: Agricultura de Precisão, Geoestatística, Variabilidade espacial

ABSTRACT

The corn productive potential is driven by genetic factors and inherent to the management of the crop, which may present spatial behavior in the crops. In this sense, yield estimates can be improved by taking into account the spatial variability of the stands. The objective of this work was to evaluate, in a spatial way, the contribution of the corn productive components in the crop yield estimation, as its relation with the real yield of the grain. The work was carried out at Fazenda Capim Branco, at the Federal University of Uberlândia-MG, in an area of 25 ha, cultivated on Red Latosol, with corn crop under no-tillage system, under rainfed. To collect the information, a sampling grid of two points per hectare (50 points) was defined, where a useful plot of 10m² was demarcated in the center of each square. Real yield was determined by obtaining the grain weight of the ears contained in the useful plots. The estimated yield was determined from the evaluation of the crop productive components. The final stand was obtained for the useful plot. The number of ears, rows per ear, grains per row and the thousand seed weight (TSW), considered the removal of 5 plants in each of the 2 central rows of the useful plot. Data were analyzed descriptively, using Pearson's linear correlation and spatially, using geostatistics. The highest correlations were between the estimated yield and the TSW components ($r=0.74$) and number of grains per row ($r=0.58$), which was corroborated from the thematic maps for these attributes. Spatially, the TSW presented a similar range value when compared to the corn estimated yield. There is presence of spatial dependence for all attributes studied, with PMS having the greatest impact on the estimation of corn yield. There was an overestimation of corn yield in relation to real yield. The data, when evaluated in a spatial way, allow us to observe a similar pattern of behavior for both yield determinations.

Keywords: Precision Agriculture, Geostatistics, Spatial variability

LISTA DE IMAGENS

Figura 1. Área georreferenciada com 50 pontos amostrais	13
Figura 2. Detalhe da parcela utilizada na obtenção de dados para estimativa de produtividade e produtividade real do milho.....	13
Figura 3. Debulha mecanizada (A) e separação de grãos para pesagem (B)	14
Figura 4. Detalhe da avaliação dos componentes produtivos do milho	15
Figura 5. Semivariogramas experimentais para os componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.....	17
Figura 6. Mapas interpolados por krigagem para os componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.....	18
Figura 7. Mapas temáticos da (A) produtividade real e (B) produtividade estimada de milho, safra 2019-19.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise descritiva dos componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.....	16
Tabela 2 - Análise geoestatística componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.....	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 <i>Zea Mays</i>	10
1.2 Agricultura de precisão	10
1.3 Estimativa de produtividade	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1 Local	12
2.2 Amostragem.....	12
2.3 Cultivar, Manejo e Colheita.....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 Produtividade estimada e componentes produtivos	15
3.2 Produtividade Real x Estimada	19
4. CONCLUSÃO	20
5. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

1.1 *Zea Mays*

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae* e é reconhecida como base na alimentação humana devido ao seu valor nutricional, rico em amido. O milho apresenta constante evolução produtiva no Brasil. Na safra 2019/20 a produção brasileira do cereal atingiu aproximadamente 102,6 milhões de toneladas, colhidas em 18,5 milhões de hectares, com rendimento médio de 5,5 toneladas por hectare (CONAB, 2020).

Com relação a safra de 2021/22 há uma estimativa de 115,6 milhões de toneladas, colhidas em 21,2 milhões de hectares e com rendimento médio de 5,4 toneladas por hectares (CONAB, 2022).

A produção de milho na segunda safra, com semeadura entre os meses de janeiro e março, é atualmente a de maior importância em área para o grão (CONAB, 2020). Beneficia-se da crescente adoção do sistema plantio direto (SPD), pela praticidade operacional (AMADO et al., 2007), assim como, pela redução no ciclo das cultivares de soja, quando semeado em sucessão à mesma (MICOSUL, 2020).

1.2 Agricultura de precisão

Há cada vez maior percepção quanto a presença de heterogeneidade nos resultados obtidos a campo. Nesse sentido, a variação espacial e temporal nos talhões deve ser considerada para o melhor aproveitamento dos insumos, evitando a “agricultura pela média”, que considera um terreno uniforme em termos de fertilidade, para assim, otimizar a produtividade, o uso dos recursos ambientais e reduzir custos de produção (RIBEIRO, 2015).

Para a identificação da heterogeneidade da lavoura são realizadas amostragens densas a campo e gerados mapas de atributos, com auxílio da geoestatística. A forma mais completa de visualizar a variabilidade espacial do talhão é com a obtenção de mapas de produtividade (MOLIN, 2002). É importante verificar a umidade dos grãos por ser fonte direta de variabilidade (MOLIN, 2000).

1.3 Estimativa de produtividade

A estimativa de produtividade é usada por agricultores no intuito de prever ações futuras ligadas ao armazenamento, transporte e comercialização do grão. Podem ser de execução simples, pela aferição do peso da produção no talhão, como sofisticada, a partir

da paisagem do tanque graneliro da colhedora (BLOSFELD, 2018). As estimativas de produtividade são úteis na comparação de híbridos, como para comparação de diferentes práticas de manejo.

Os métodos de estimativa são baseados em modelos matemáticos a partir de padrões agrometeorológicos, redes neurais artificiais e atributos de solo e planta (SOARES et al., 2015). Outros levam em consideração os componentes de produção da cultura, como o método proposto pela EMATER e Reetz (RODRIGUES et al. 2005). O método proposto pela EMATER considera ainda, parâmetros de umidade, peso médio de grãos e espaçamento entrelinhas. De acordo com os autores, reduções na estimativa de produtividade pelo método da EMATER, em áreas brasileiras, podem ser atribuídas à maior mistura de bases genéticas, o que não ocorre nos Estados Unidos.

Ao avaliar o potencial produtivo na cultura do milho, Wagner et al. (2013) levaram em consideração a variabilidade hídrica em diferentes estádios do ciclo da cultura e épocas, e concluíram uma maior perda de produtividade por estresse hídrico no estágio reprodutivo (R1).

Santos e Oliveira (2019), ao comparar os métodos agrometeorológicos, Produtividade Agroclimática, baseada em elementos climáticos e bióticos inerentes a planta de milho, e o método Produtividade Potencial, que considera o potencial da cultura e evapotranspiração, observaram que o primeiro foi mais assertivo em definir os fatores de maior influência para o rendimento. Martins (2012), buscando prever a produtividade de milho e sorgo na região nordeste sob condições pluviométricas adversas, observou super e subestimativas em situações hídricas extremas, fazendo-se necessário a adequação dos modelos para a melhor representação agrícola de cada região. Soares et al., (2015) trabalharam com o desenvolvimento de redes neurais artificiais na estimativa de produtividade e encontraram correlações positivas para os atributos matéria verde total, altura de plantas e plantas.m⁻².

Outras estimativas de produtividade correlacionam valores de campo com índices de vegetação. Henriques et al. (2021), fazendo uso dos índices de vegetação no estágio VT (Pendoamento), concluíram que a mudança dos espectros eletromagnéticos vermelho (Red) para vermelho de borda (Red Edge), nos índices do GRNDVI e PRNDVI, obteve melhoria na estimativa do peso dos grãos. O fato deve-se à maior sensibilidade do comprimento de onda Red Edge no período reprodutivo da cultura do milho. Bertolin et al. (2017) fazendo uso do índice NDVI em milho no estágio VT, observaram correlação

com a produtividade para três safras. O índice serviu para a determinação da produtividade, subestimando o valor de produtividade real.

Na definição do potencial produtivo a genética apresenta papel importante, sendo responsável por até 40% dos resultados produtivos (RESENDE et al., 2003). Nesse sentido, a contribuição de cada componente produtivo na produção final de grãos é importante para o ajuste de estratégias de manejo da lavoura (pragas, doenças, irrigação e mecanização). Exemplo disso é a definição de estande para a aplicação de insumos fertilizantes (VIAN et al, 2016), como o monitoramento de estádios onde há definição dos componentes produtivos número de grãos e fileira por espiga (VIAN et al., 2021).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, de forma espacial, a contribuição dos componentes produtivos do milho na estimativa de produtividade da cultura, e sua relação com a produtividade real do grão, em área sob sequeiro, na região do Triângulo Mineiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

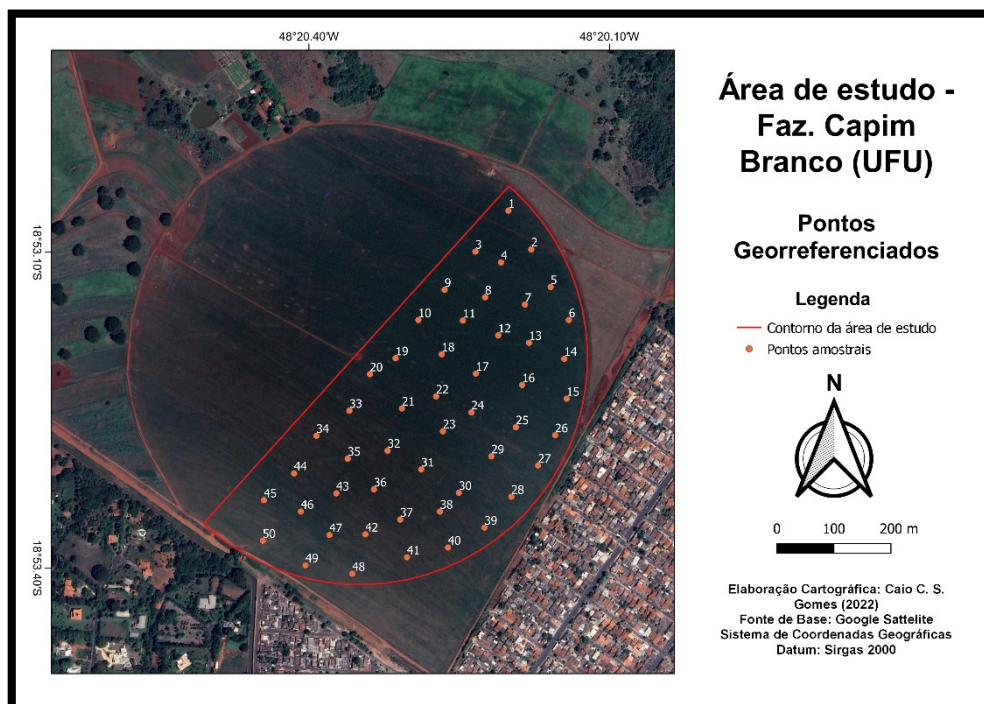
2.1 Local

O trabalho foi conduzido na fazenda experimental Capim Branco (18°53' S e 48°20' W), na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, num talhão de 25 hectares. O clima da região é tropical com estação seca de inverno, do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. O local apresenta altitude média de 825m, temperatura média de 21,5 °C e pluviosidade média anual de 1.479 milímetros. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, classe franco-argiloso-arenoso (EMBRAPA, 2013) e é cultivado desde 2012 no sistema plantio direto, na sucessão soja - milho ou sorgo, tendo sido instalado milho na safra 2019/19.

2.2 Amostragem

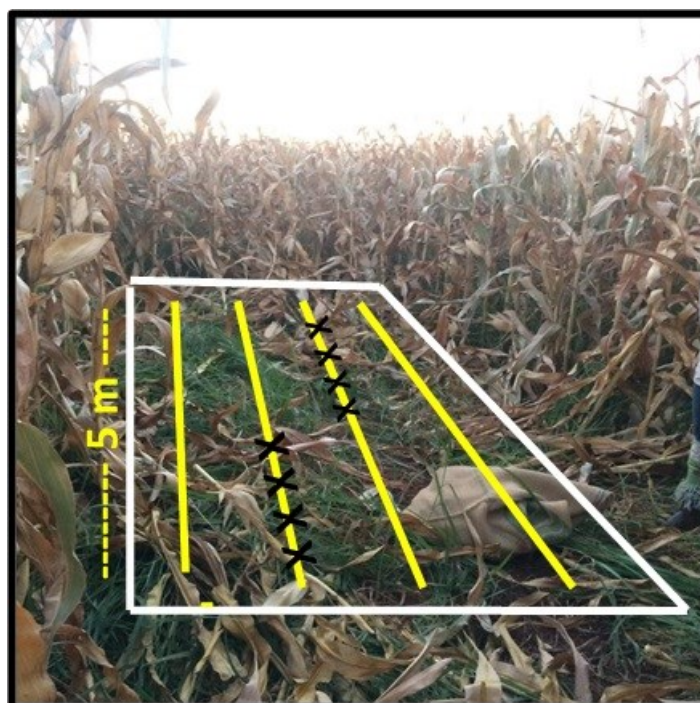
No talhão foi definida uma grade regular de amostragem de dois pontos por hectare, totalizando 50 pontos (Figura 1). A localização dos pontos foi realizada com uso do sistema global de navegação por satélite – GNSS, a partir do GPS Garmin e-Trex Vista®. Em cada ponto da grade foi definida uma parcela útil de 10 m² (4 fileiras de plantas espaçadas 0,5 m e 5 m de comprimento). A obtenção da produtividade real para cada parcela foi realizada mediante a colheita de todas as espigas na parcela. A estimativa de produtividade considerou os componentes produtivos: estande final, número de espigas, fileiras por espiga, grãos por fileira e peso de mil sementes (PMS), obtidos a

partir de 5 plantas sequenciais coletadas em cada uma das 2 linhas centrais das parcelas, desconsiderando 1 m de bordadura (Figura 2).



Fonte: O autor

Figura 1. Área georreferenciada com 50 pontos amostrais.



Fonte: O autor

Figura 2. Detalhe da parcela utilizada na obtenção de dados para estimativa de produtividade e produtividade real do milho.

2.3 Cultivar, Manejo e Colheita

O material utilizado foi o híbrido simples P3707VYH, de ciclo precoce, com data de semeadura em 01 de março de 2019. As sementes foram adquiridas com tratamento industrial (TSI), com os inseticidas Dermacor (Clorantraniliprole: 625 g.l⁻¹) e Poncho (Clotianidina: 600 g.l⁻¹), para proteção contra o ataque de pragas em estádios iniciais da cultura. Os demais tratos culturais ao longo do desenvolvimento do milho ficaram a cargo do gerenciamento da fazenda. A colheita foi realizada em 16 de julho de 2019, de forma manual, com debulha mecanizada (Figura 3). Em etapa seguinte, as amostras dos grãos foram levadas ao Laboratório de Análise de Sementes da UFU (LASEM), para limpeza de impurezas, pesagem e obtenção de umidade dos grãos (Figura 4). A produtividade final foi calculada considerando um teor umidade igual a 13%, seguindo a fórmula:

$$PF = \frac{PI(100 - UI)}{100 - UF}$$

Onde:

PF= Peso final corrigido a 13% de umidade

PI= Peso inicial na umidade real

UI= Umidade inicial (real do grão)

UF: Umidade Final (13%)



Fonte: O autor

Figura 3. Debulha mecanizada (A) e separação de grãos para pesagem (B)



Fonte: O autor

Figura 4. Detalhe da avaliação dos componentes produtivos do milho

Os dados foram avaliados de forma descritiva, para obtenção de valores de tendência central e por correlação linear de Pearson ($p < 0,05$), a partir do software Statistica 7 (STATSOFT, 2004). Especialmente, foi realizada análise geoestatística, sendo obtidos semivariogramas e realizada a interpolação por krigagem. Os mapas dos componentes produtivos e das produtividades foram gerados a partir dos softwares Surfer 10 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) e Qgis (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015), com auxílio do plugin Smart Map-SMP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produtividade estimada e componentes produtivos

A estimativa da produtividade do milho permitiu evidenciar um valor médio de 8.764 kg ha^{-1} , superior à média nacional em 2019, de 6.982 kg ha^{-1} (CONAB, 2019). Em relação à produtividade real do talhão (7.354 kg ha^{-1}), a estimativa foi superior em 24 sacas ha^{-1} (1.440 kg ha^{-1})(Tabela 1). A superestimativa pode ser explicada pelo valor mínimo encontrado na produtividade estimada, superior em 28 sacas ha^{-1} (1.680 kg ha^{-1}), quando comparado ao da produtividade real. Para ambas produtividades foram encontrados valores médios de CV% (GOMES, 2009), de 17,4% e 13,7% para a produtividade real e estimada, respectivamente.

Tabela 1 - Análise descritiva dos componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.

Atributos	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	CV (%) ⁴
Produtividade real ²	4366,2	10632,7	7353,9	7402,7	17,4
Produtividade estimada ³	6050,2	10958,2	8764,9	8542,4	13,7
Estande Final	57,0	66,0	61,2	61,0	4,3
Número de espigas	56,0	66,0	60,9	61,0	4,3
Número de fileiras	14,8	18,8	16,4	16,4	5,8
Grãos por fileira	27,4	38,2	32,8	33,0	7,1
PMS ¹	204	317	267	271	8

¹PMS: peso de mil sementes (g), ²Produtividade real: Kg.ha⁻¹; ³Produtividade estimada: Kg.ha⁻¹;

⁴CV (%): coeficiente de variação (%).

O valor médio do componente produtivo estande final foi próximo ao encontrado para o número de espigas (n=61). Essa proximidade foi também verificada na amplitude e CV% de ambos componentes, o que indica a relação de uma espiga por planta. A partir dos dados é possível conferir uma maior amplitude e CV% para o componente PMS (Tabela 1), o que estaria indicando uma possível presença de variabilidade espacial nos dados de produtividade (BARBIERI et al. (2008).

A relação entre os componentes produtivos e a produtividade estimada pode ser compreendida a partir dos coeficientes de correlação de Pearson. Entre os componentes, o PMS foi o que mais aportou nos resultados da produtividade estimada (r=0,74), seguido do número de grãos por fileira (r=0,58) e do número de espigas (r=0,45), denotando a importância dos mesmos na produção do milho.

Para Vian et al. (2016), o componente que mais impactou na produtividade foi o número de espigas, enquanto que para Balbinot Jr. et al (2005), foi o número de grãos por fileira. Segundo Abbott (2003), entre V10 (décima folha) e os estádios reprodutivos há o acúmulo de matéria seca, etapa que é mensurada pelo PMS. O número de grãos por fileira, por sua vez, se forma em V17 (décima sétima folha), em torno de uma semana antes do florescimento. As espigas potenciais são formadas ainda nos estádios vegetativos, em V5 (quinta folha), e seu tamanho definido em V12 (décima segunda folha). O autor ressalta que a quantidade de grãos produzida pela planta de milho varia com o tempo e acúmulo de nutrientes.

A análise espacial, realizada a partir da geoestatística, permitiu observar presença de comportamento espacial para todos os atributos avaliados, com ajustes dos

semivariogramas a modelos esféricos, e valores de alcance entre 90 m, para o estande final e 270 m, para o PMS (Tabela 2; Figura 5).

Tabela 2 - Análise geoestatística componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.

Atributos	Modelo ¹	C0	C0+C	a (m)	GDE
Produtividade real	Esférico	200.000	1.800.000	200	Forte
Produtividade estimada	Esférico	400.000	1.450.000	200	Moderado
Estande Final	Esférico	0	7	90	Forte
Número de espigas	Esférico	0	7	85	Forte
Número de fileiras	Esférico	0,3	0,78	100	Moderado
Grãos por fileira	Esférico	0	5,3	100	Forte
PMS ²	Esférico	50	510	270	Forte

¹C₀: Efeito Pepita; C₀+C: Patamar; a: Alcance prático (m); GDE: Grau de dependência espacial (C₀/C₀+C)*100.

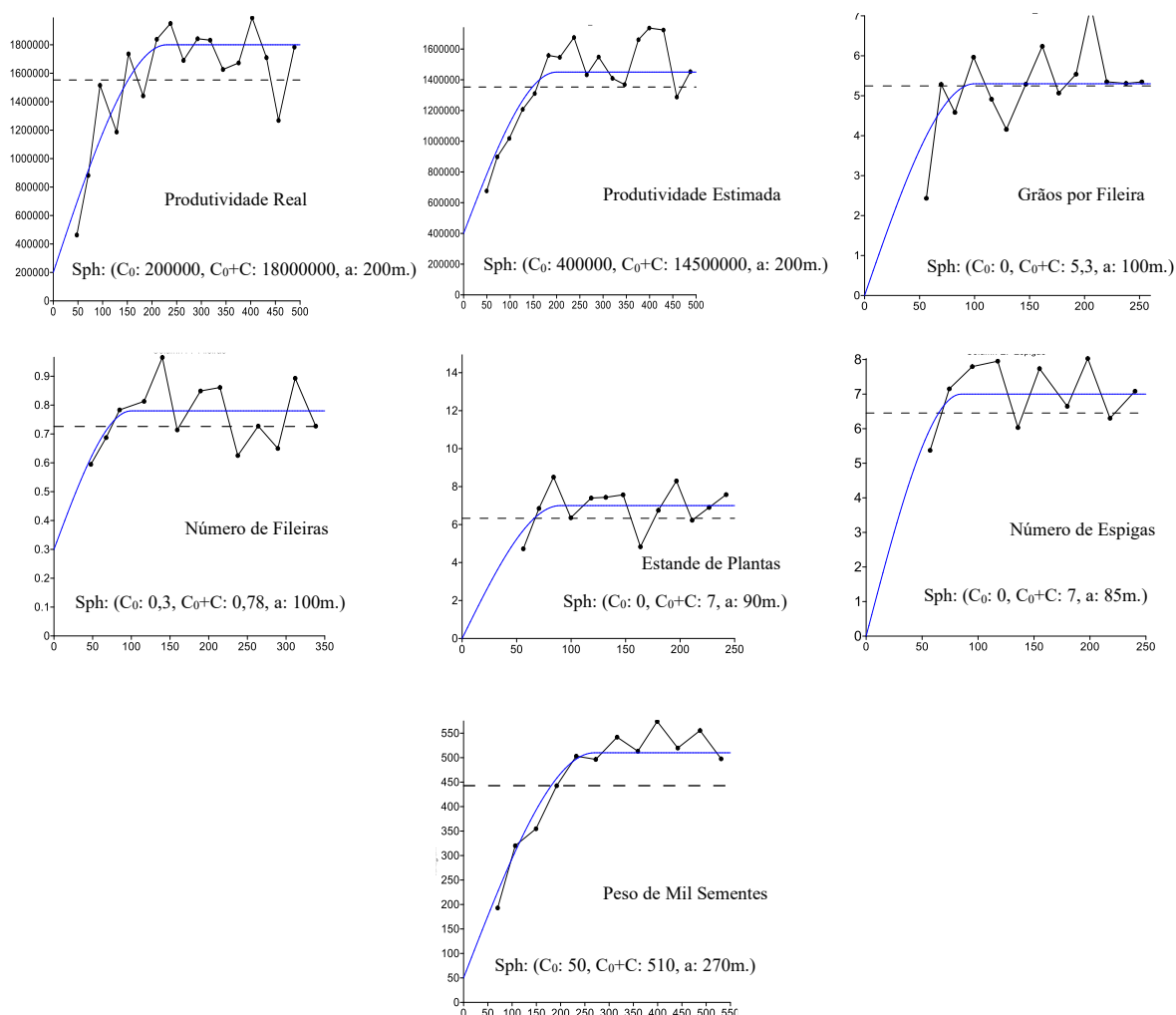


Figura 5. Semivariogramas experimentais para os componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.

Fonte: O autor.

Maiores valores de alcance denotam uma maior continuidade espacial dos atributos na área. Nesse sentido, o maior alcance observado para o PMS (270 m), próximo aos obtidos para ambas produtividades (200 m), dá um maior peso a essa componente na explicação dos dados de produtividade. Em relação ao grau de dependência espacial – GDE (CAMBARDELLA et al., 1994), todos os componentes produtivos, a exceção do número de fileiras, apresentaram um forte grau ($GDE \leq 25\%$), o que expressa uma forte estrutura espacial nos dados (Tabela 2).

Ao analisar o comportamento espacial da produtividade estimada é possível observar semelhança com os dados de PMS e grãos por fileira, apresentando os maiores valores na região central do talhão, e os menores na região inferior (Figura 6).

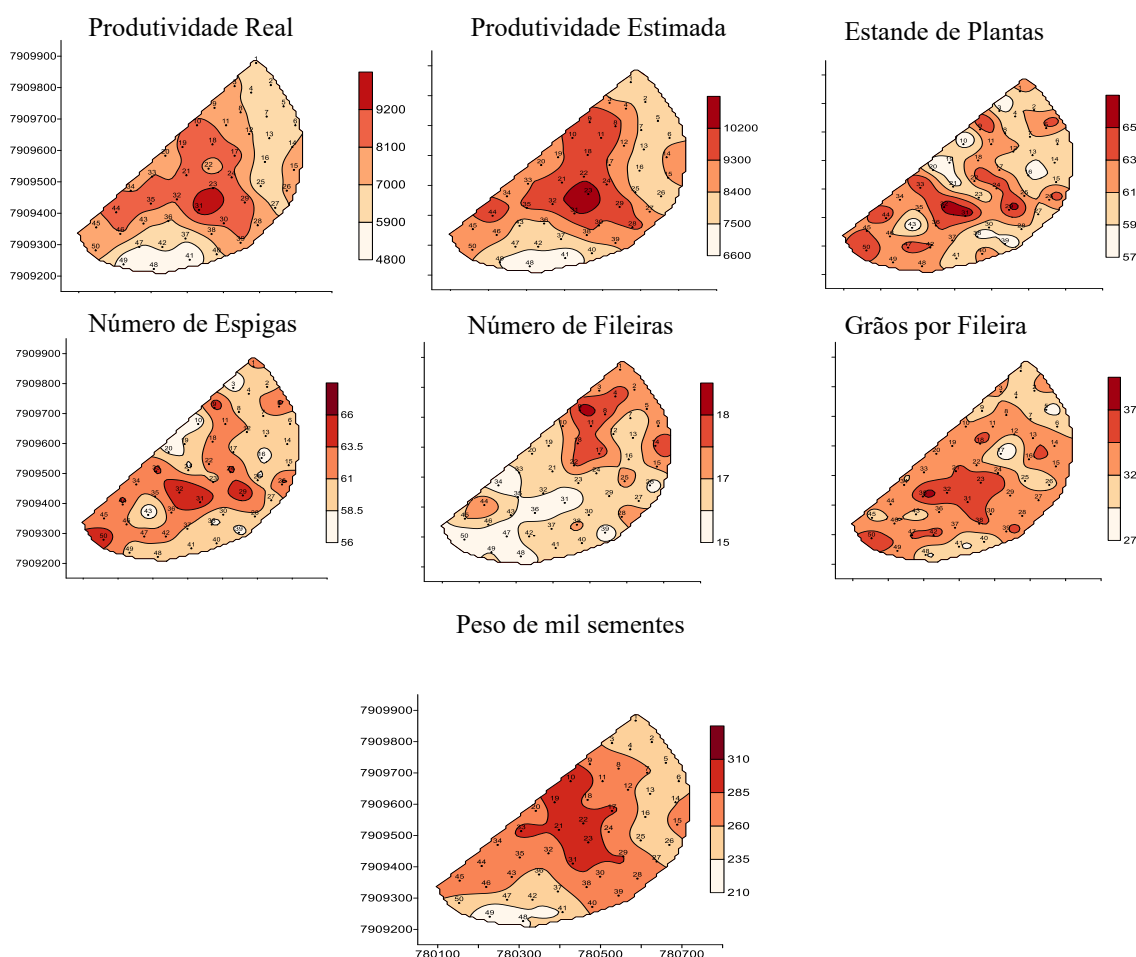


Figura 6. Mapas interpolados por krigagem para os componentes de produtividade e produtividade real e estimada de milho, safra 2019-19.

A correlação entre a produtividade estimada e os componentes PMS ($r=0,74$) e número de grãos por fileira ($r=0,58$), evidencia a importância desses atributos para a

produtividade do milho, sendo necessário se atentar ao manejo correto da cultura nas suas diferentes fases de desenvolvimento, como o correto manejo de irrigação e suprimento de nutrientes adequado. De acordo com Ciampitti et al. (2016), é no período de maturidade fisiológica (R4 - R6) que há definição do PMS, o qual vem acumulando nutrientes desde V10 (ABBOTT, 2003). Já o número potencial de grãos por fileiras é definido no estágio VT. Nesse período, o processo de enchimento de grãos pode ver-se comprometido por perdas de área foliar, ocasionado por pragas e doenças. Por sua vez, no intervalo de V10 a VT há maior demanda nutricional por N, P, K e hídrica (CIAMPITTI et al., 2016).

3.2 Produtividade Real x Estimada

Espacialmente é possível verificar semelhança entre os mapas de produtividade real e estimada (Figura 7). Entretanto, houve mudanças nos valores da escala, como evidenciado nos valores de tendência central (Tabela 1). A partir dos mapas é possível observar uma superestimativa nos dados de produtividade, com maior concentração de dados na faixa de 8000 a 9000 kg ha⁻¹ (Figura 7). Por sua vez, a produtividade real teve a maior concentração de dados na faixa de 7000 a 8000 kg ha⁻¹. A superestimativa nos dados de produtividade foi também observada no estudo de Rodrigues et al. (2005) quando avaliados os métodos de estimativa EMATER-MG e Reetz.

Para a produtividade estimada foi observada ausência de valores na faixa inferior a 6000 kg ha⁻¹ (Tabela 1), a diferença do observado para a produtividade real, onde essa faixa abrangeu 8% dos dados. Por sua vez, a faixa com os maiores valores estimados (9000-10500 kg ha⁻¹), representou 40% dos dados, o que significou apenas 4% dos dados de produtividade real.

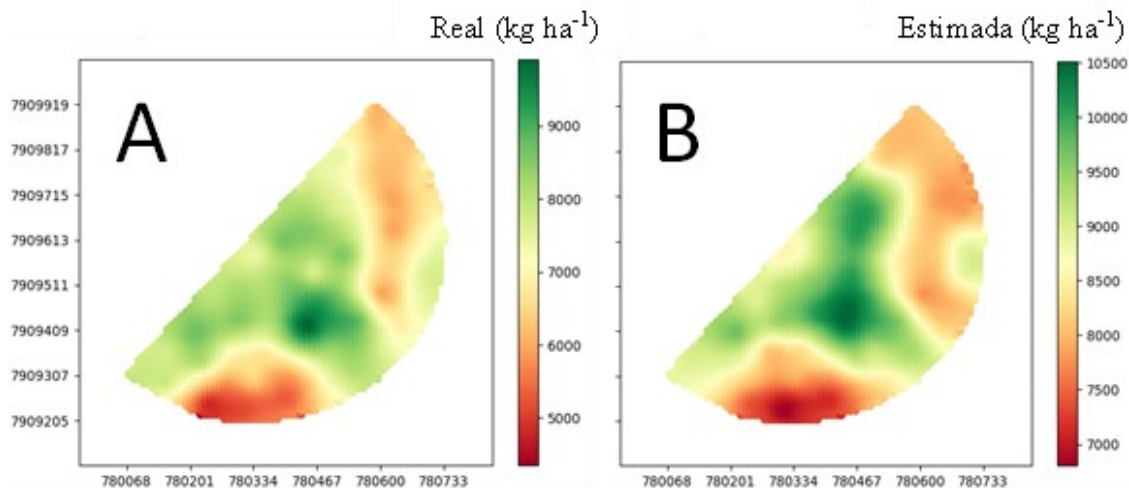


Figura 7. Mapas temáticos da (A) produtividade real e (B) produtividade estimada de milho, safra 2019-19.

Fonte: O autor

Os resultados do trabalho permitem evidenciar a influência que os componentes produtivos tem na espacialização da produtividade, servindo de ferramenta para o gerenciamento das lavouras, podendo, por exemplo, atingir produtores rurais de pequeno a médio porte dado a simplicidade do método, numa escala comercial.

4. CONCLUSÕES

- Há dependência espacial para todos os componentes produtivos e produtividades real e estimada do milho.
- A análise espacial permite identificar ao componente peso de mil sementes - PMS como o de maior impacto na estimativa de produtividade de milho.
- Há superestimativa para os dados de produtividade real de milho. Não obstante, espacialmente, ambas produtividades, real e estimada, apresentam similar padrão de comportamento.

5. REFERÊNCIAS

ABBOTT, B. **How a Corn Plant Develops**. 48. ed. Iowa: Iowa State University Of Science And Technology, 2003.

BALBINOT JR., A. A. et al. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrocência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 161-166, jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.18539/cast.v11i2.1184>.

BARBIERI, D. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, v.28, n. 4, p. 645-653, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400004>.

BERTOLIN, N. O.; FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p. 1627-1638, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n400567>.

BLOSFELD, L. H. **Correlação linear entre os índices de vegetação Ndvi e Ndre com a produtividade do milho segunda safra**. 2018. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Ufmg, Sinop, 2018. Disponível em: <<https://bdm.ufmt.br/handle/1/1283>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

BRASÍLIA. EMBRAPA. **Cultivo do Milho: Ecofisiologia**. 2015. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao1f6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=8662. Acesso em: 17 fev. 2022.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CIAMPITTI, I. A. et al. Fases de Desenvolvimento da Cultura do Milho. **Kansas State University**, Kansas, out. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, 12. ed. Setembro, 2021. Brasília: CONAB, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Boletim da safra de grãos**, 12. ed. Setembro, 2021. Brasília: CONAB, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 22 fev. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Boletim da safra de grãos**, 7. ed. Abril, 2022. Brasília: CONAB, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 12 abr. 2022.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FARIA JUNIOR, C. A. *et al.* Calibração dos coeficientes genéticos e simulação da produtividade do milho pipoca de segunda safra para Tangará da Serra, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 475-483, 18 jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17234>.

FARIAS, P.R.S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated under crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v.10, p.1-9, 2002a. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285589092_Geostatistical_analysis_of_the_spatial_distribution_of_Rotylenchulus_reniformis_on_cotton_cultivated_under_crop_rotation>. Acesso em: 15 mar. 2022.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de Precisão: Mapeamento da Produtividade Em Pomares Cítricos Usando Geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, ago. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200013>.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 61, n. , p. 819-828, dez. 2014. Fap UNIFESP. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000007>.

GOMES, C. C. S. *et al.* **Análise espacial dos componentes produtivos e produtividade de milho de segunda safra**. In: Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais 2021 - Monte Carmelo, 2021. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/sicaa2021/trabalho/213593>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

HENRIQUES, H. J. R.; SCHWAMBACH, D. A.; FERNANDES, V. J. M.; CORTEZ, J. W. Vegetation indices and their correlation with second-crop corn grain yield in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 20, e1195, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18512/rbms2021v20e1195>.

MARTINS, M. A. **Estimativa de produtividade das culturas do milho e do sorgo a partir de modelos agrometeorológicos em algumas localidades da região nordeste do Brasil**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3BBGU25>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

MICOSUL: informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21. Sete Lagoas: **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2020. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126468>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: Borém, A.; Giúdice, M. P.; Queiroz, D. M.; Mantovani, E. C.; Ferreira, L. R.; Valle, F. X. R.; Gomide, R. L. (Orgs.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237-258.

RESENDE, M. *et al.* **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317p.

RIBEIRO, L. *et al.* Programa Agricultura de Precisão: Introdução à Agricultura de Precisão. **Programa Agricultura de Precisão: Introdução à Agricultura de Precisão** Módulo 1: informática na agricultura. Goiânia: Iea: Instituto de Estudos Avançados S/S, 2015. Cap. 1. p. 4-29.

RODRIGUES, V. N., *et al.* Comparação entre métodos para estimar a produtividade de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 1, n. 29, p. 34-42, fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000100004>.

SANTOS, C.; OLIVEIRA, G. P. Avaliação de modelos agrometeorológicos para estimativa da produtividade na cultura do milho. **Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 4, p. 1019-1028, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v0i0.1875>.

SIMÃO, E. P. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 481-494, 2017. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v16n3p481-494](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n3p481-494).

MATIAS, J. F. G.; STRECK L.; AGUILAR., D. D. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. Geração de mapas de produtividade de milho (*Zea mays*) com índice de vegetação NDVI de imagens Landsat 8. João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: Inpe, 2015. 5 p.

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. **Ciência Rural: Fitotecnia**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1987-1993, nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141524>.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; DRUM, M. A.; PIRES, J. L. F.; FOCHESSATTO, E. Sensores de vegetação como ferramenta para identificação de população de plantas e estimativa de produtividade de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 51, p. e66926, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/66926>. Acesso em: 11 mar. 2022.

VIAN, A. L. *et al.* Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 464-471, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150539>.

WAGNER, M. V. *et al.* Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 170-179, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200008>.