

## IX-480 - USO DO COMPLEMENTO “SMARTMAP” E “GEODA” PARA AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO

**Ligia Flávia Antunes Batista<sup>(1)</sup>**

Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Informática pela Universidade Federal do Paraná. Doutora em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista (FCT-UNESP).

**Marcelo Hidemassa Anami<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá.

**Endereço<sup>(1,2)</sup>:** Av. Dos Pioneiros, 3131 Jardim Morumbi – Londrina - PR - CEP: 86036-370 - Brasil - Tel: (43) 3315-6100 - e-mail: [mhanami@utfpr.edu.br](mailto:mhanami@utfpr.edu.br), [ligia@utfpr.edu.br](mailto:ligia@utfpr.edu.br)

### RESUMO

A eficiência do uso da água em atividades agrícolas é fundamental para assegurar a produção de alimentos de forma sustentável. Por isso, avaliar a forma como os sistemas irrigados distribuem a água é de suma importância, uma vez que é imprescindível garantir a disponibilidade deste recurso natural para gerações futuras. O objetivo deste trabalho é avaliar a dependência espacial de lâminas de irrigação observadas em ambiente protegido e representar a sua superfície por meio de interpolação. O estudo foi realizado em uma estufa agrícola com uma área irrigada de 36,0 m<sup>2</sup>. A vazão de cada aspersor foi medida a cada 0,5 metro, em 13 linhas por 13 colunas totalizando 169 pontos de coleta. Para avaliar a dependência espacial, foram calculados os índices de autocorrelação global e local, com os índices Moran e LISA, a partir da definição de cinco métricas de vizinhança: *queen* e baseadas nas distâncias de 50 m, 100 m, 150 m e 200 m. Para cada vizinhança, avaliou-se a autocorrelação global e local, que expressam de forma complementar a dependência espacial da medida avaliada, indicando como um ponto varia em relação a sua vizinhança. Foi realizada ainda a análise geoestatística dos dados e a interpolação pelo método da Krigagem. Verificou-se que os valores do índice de Moran são maiores para as vizinhanças Queen e até 50 m, sendo acima de 0,8. Com relação ao resultado da interpolação, a área com lâminas de irrigação acima de 10 mm foi de 15,53 m<sup>2</sup>, isto nos dá uma área com irrigação uniforme 43,1% da área total, o que indicou uma distribuição ineficiente da água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Interpolação, Agricultura, Análise espacial, Sustentabilidade,

### INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada consome 52% do volume total de água captada em mananciais superficiais e subsuperficiais e o uso da água deve crescer ao redor de 45% entre 2015-2030 (AYRIMORAES, FONTENELLE e FERREIRA, 2020). O atlas da irrigação, que analisa o uso da água na agricultura irrigada (ANA, 2021) confirma que as atividades agrícolas consomem ao redor de 50% da captação de água bruta, e o abastecimento urbano responde por 24% da retirada total.

Existe grande potencial efetivo de aumento da área irrigável de 16,7 milhões de hectares de um potencial total de 55,85 milhões de hectares (ANA, 2021), e apesar deste grande potencial, o uso da água na irrigação é ineficiente, sendo que um dos principais fatores pelo uso ineficiente da água na irrigação é a carência de conhecimento sobre a distribuição da água em sistemas irrigados (SILVA, AZEVEDO e LIMA, 2002).

O uso de ferramentas de geoestatística, que avalia a existência de dependência espacial, foi utilizado por Nakamura, Ferreira Junior e Zimback (2011) para avaliação de lâminas de irrigação em diferentes espaçamentos de aspersores. O conceito de dependência espacial está associado à presença de dados georreferenciados com valores semelhantes, que tendem a se agrupar em regiões próximas entre si (FERREIRA, 2014a).

Pereira et al. (2022) desenvolveram o Smart-Map, um complemento para QGIS, para mapeamento digital utilizando técnicas de aprendizado de máquina e krigagem ordinária. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica livre, um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* – OSGeo. Processa diversos formatos de dados vetoriais e matriciais, realizar consultas por atributos, por localização, edição de layouts cartográficos, entre diversas outras funcionalidades (IBGE, 2019).

A krigagem ordinária é um método de inferência espacial em que são geradas superfícies a partir de pontos amostrais com base em modelos geoestatísticos. Ao contrário dos modelos determinísticos, fundamentados apenas em critérios geométricos, a krigagem pertence à categoria de modelos estocásticos, em que pode-se quantificar a incerteza associada ao estimador (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Na krigagem, os pesos atribuídos às amostras são determinados com base no semivariograma (DRUCK et al., 2004), que descreve a dependência espacial, informando até que distância esta dependência é maior ou menor (FERREIRA, 2014a). Possui as características de minimizar a variância da estimativa e evitar erros sistemáticos (YAMAMOTO, 2020).

O objetivo deste trabalho é utilizar os programas QGIS, com a extensão SmartMap e GeoDa para avaliação da dependência espacial e da autocorrelação global e local, com os índices Moran e LISA, de lâminas de irrigação em ambiente protegido.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma estufa agrícola com uma área irrigada de 36,0 m<sup>2</sup> onde foram instaladas 9 microaspersores Agrojet, modelo bailarina de saída dupla com base rosca ½ polegada com emissor de 1,2 mm da cor bege. (AGROJET, c2018). Valnir Junior et al. (2016), observaram que 9 aspersores tem resultados aceitáveis para realização de ensaios em sistema de irrigação localizada.

A vazão de cada aspersor foi medida em quadruplicata e agrupada conforme as suas posições na linha dividida em 3 agrupamentos, início, meio e final da linha. A análise de variância para avaliação da vazão foi realizada através do software Sisvar (FERREIRA, 2014b) além das análises de estatística descritiva. A pressão de trabalho foi de 13,25 m.c.a. dentro das especificações dos microaspersores.

Foram realizadas medições a cada 0,5 metros em 13 linhas por 13 colunas totalizando 169 pontos de coleta de dados, dispostos em forma de grade regular, tendo como variável de resposta a lâmina de irrigação, dada em mm por hora.

Foi feita avaliação da dependência espacial dos dados (ISAAKS; SRISVASTAVA, 1989) utilizados por meio de análise de autocorrelação global e local, com os índices Moran e LISA (*Local Indicator of Spatial Association*), respectivamente (ANSELIN, 1992). O índice global de Moran é dado pela expressão 1, em que  $n$  é o número de áreas,  $z_i$  o valor do atributo considerado na área  $i$ ,  $\bar{z}$  é o valor médio do atributo na região de estudo e  $w_{ij}$  os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial (DRUCK et al., 2004).

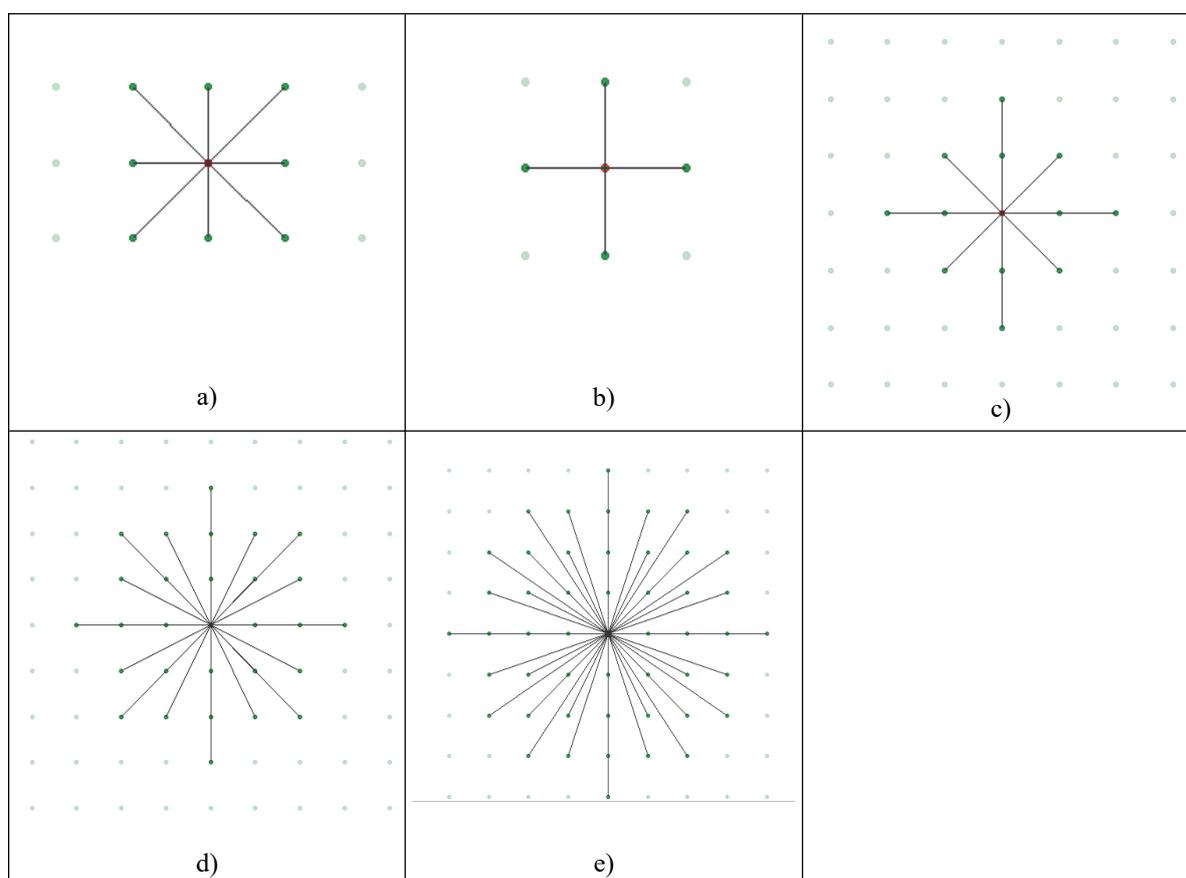
$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (1)$$

O índice LISA, dado pela expressão 2, para cada área  $i$  a partir dos valores normalizados  $z_i$  do atributo, é um indicador local da associação espacial, que permite a identificação de agrupamentos (DRUCK et al., 2004).

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j^2} \quad (2)$$

As análises de autocorrelação global e local foram realizadas com a ferramenta livre GeoDA (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2022) e dependem da definição de uma vizinhança. Neste trabalho foram avaliadas a vizinhança Queen e baseadas em distância (50, 100, 150 e 200 m) conforme ilustrado na Figura 1.

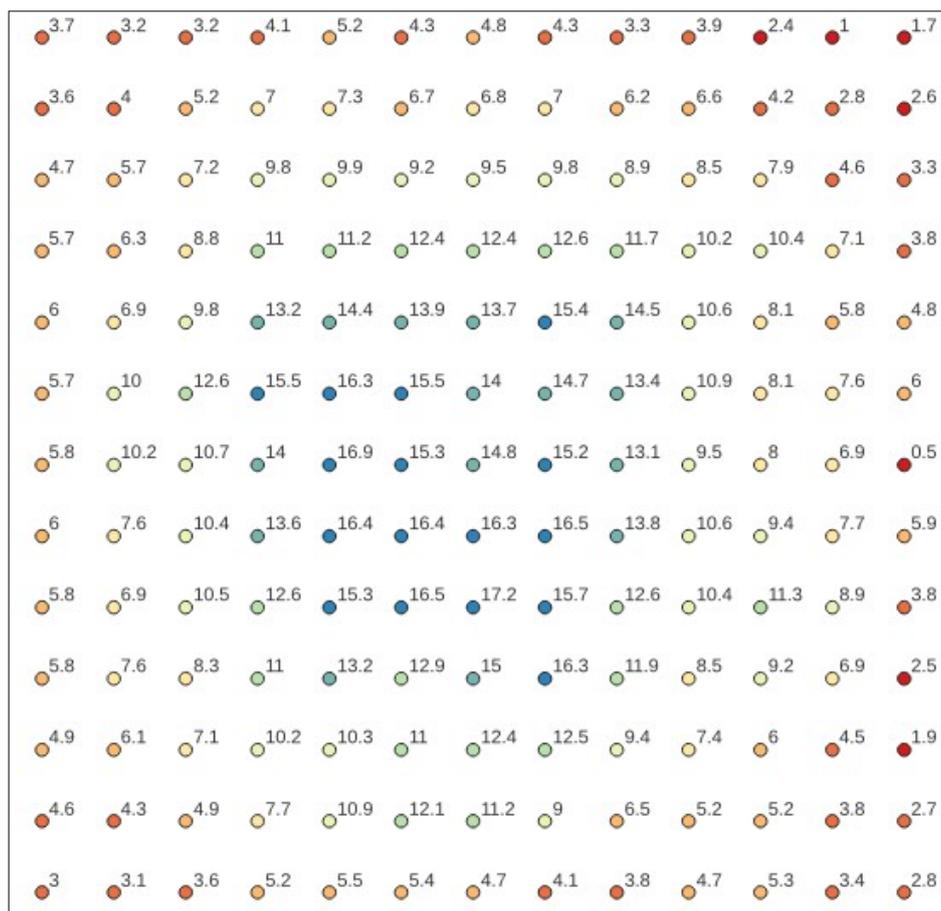
Foi realizada também a análise geoestatística dos dados e os procedimentos de krigagem para gerar uma superfície interpolada, utilizando o Smart-Map, que é um complemento livre e de código aberto do software QGIS, que permite a importação dos dados de uma camada vetorial de pontos, geração do semivariograma experimental e teórico, com os modelos: linear, esférico, exponencial e gaussiano, bem como a superfície interpolada por meio de krigagem ordinária (PEREIRA et al., 2022). Após os ajustes do variograma, foi selecionado o modelo que resultou em maior coeficiente de determinação. Foi feita ainda a validação cruzada dos dados preditos (interpolados) em relação aos observados, bem como o cálculo da raiz do erro médio quadrático (REMQ) que quantifica a qualidade do ajuste.



**Figura 1: Definição de vizinhanças a partir de um ponto central, em que os pontos conectados por linhas são considerados vizinhos. A) Queen; b) Distância de 50 m; c) Distância de 100 m; d) Distância de 150 m; e) Distância de 200 m.**

## RESULTADOS

A vazão média observada foi de 50,09 litros por hora e o desvio padrão foi de 4,94 gerando um coeficiente de variação de 9,87%, a análise de variância realizada não apresentou diferença significativa entre os três agrupamentos definidos pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os pontos medidos de lâmina d'água estão apresentados na Figura 2.



**Figura 2: Pontos e valores de lâmina d'água observados (em mm)**

Em termos de estatística descritiva, os valores para lâmina d'água, expresso em milímetros, variaram de um mínimo de 0,49 mm a um máximo de 17,16 mm, com média de 8,51 mm e desvio padrão de 4,17 mm.

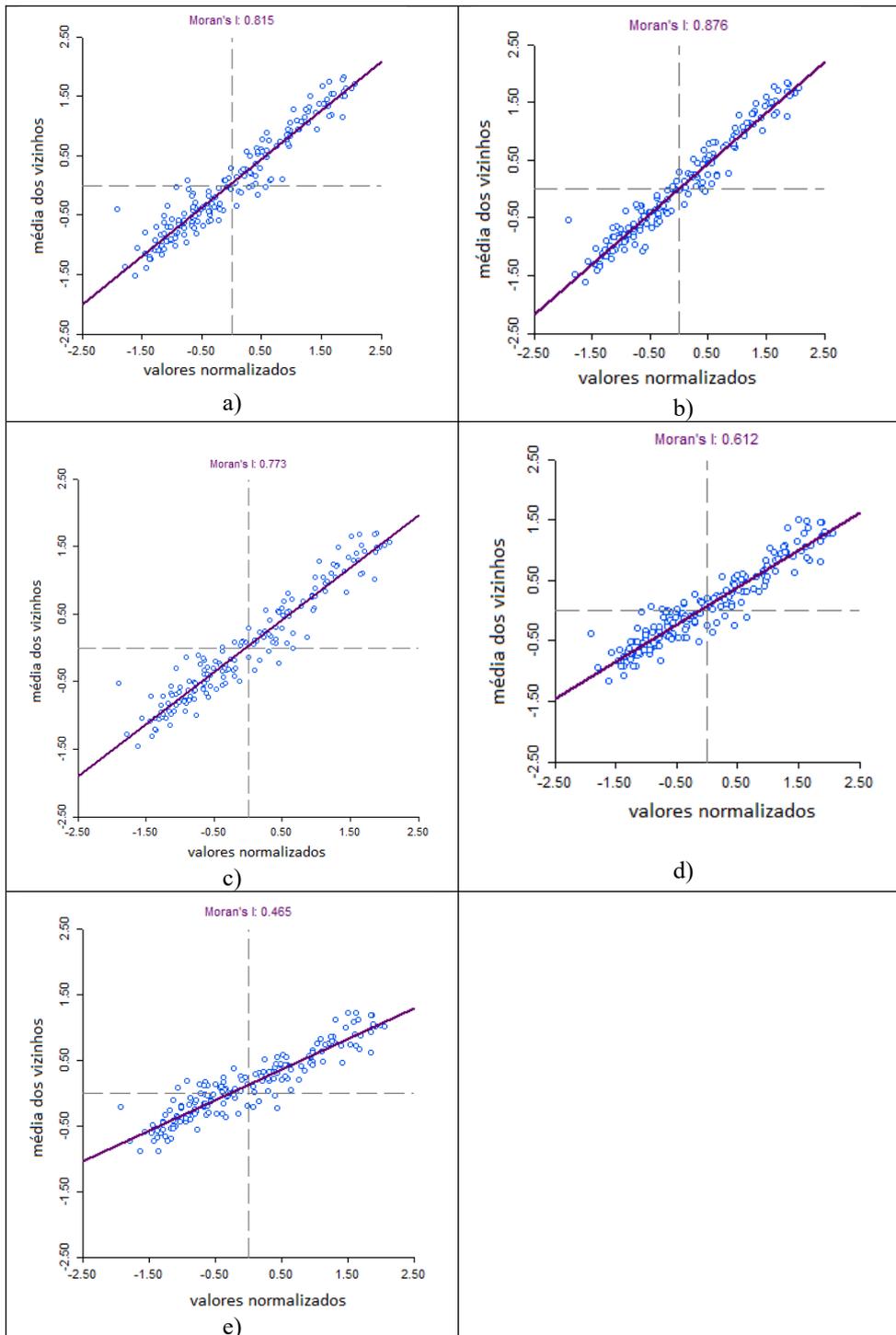
As matrizes de vizinhança geraram os seguintes números de vizinhos por ponto em cada caso:

- Vizinhança Queen: 8 vizinhos;
- Vizinhança por distância de 50 cm: 4 vizinhos;
- Vizinhança por distância de 100 cm : 12 vizinhos;
- Vizinhança por distância de 150 cm: 29 vizinhos
- Vizinhança por distância de 200 cm: 48 vizinhos.

A análise de autocorrelação global expressa pelo índice de Moran gerou gráficos de espalhamento para cada matriz de vizinhança, conforme apresentado na Figura 3, respectivamente para as definições de vizinhança associadas à Queen, distância máxima de 50 m, 100 m, 150 m, 200 m. Verifica-se que o maior valor deste índice refere-se à distância de até 50 m. Sendo uma medida que expressa a associação espacial para todo o conjunto de dados, conclui-se que

Para os mapas de autocorrelação local, observou-se a os seguintes números de pontos para os agrupamentos Alto-Alto (AA) e Baixo-baixo (BB):

- Vizinhança Queen: 50 pontos em AA e 45 pontos em BB;
- Vizinhança por distância de 50 cm: 38 pontos em AA e 32 pontos em BB;
- Vizinhança por distância de 100 cm: 54 pontos em AA e 56 pontos em BB;
- Vizinhança por distância de 150 cm: 60 pontos em AA e 60 pontos em BB;
- Vizinhança por distância de 200 cm: 69 pontos em AA e 48 pontos em BB;



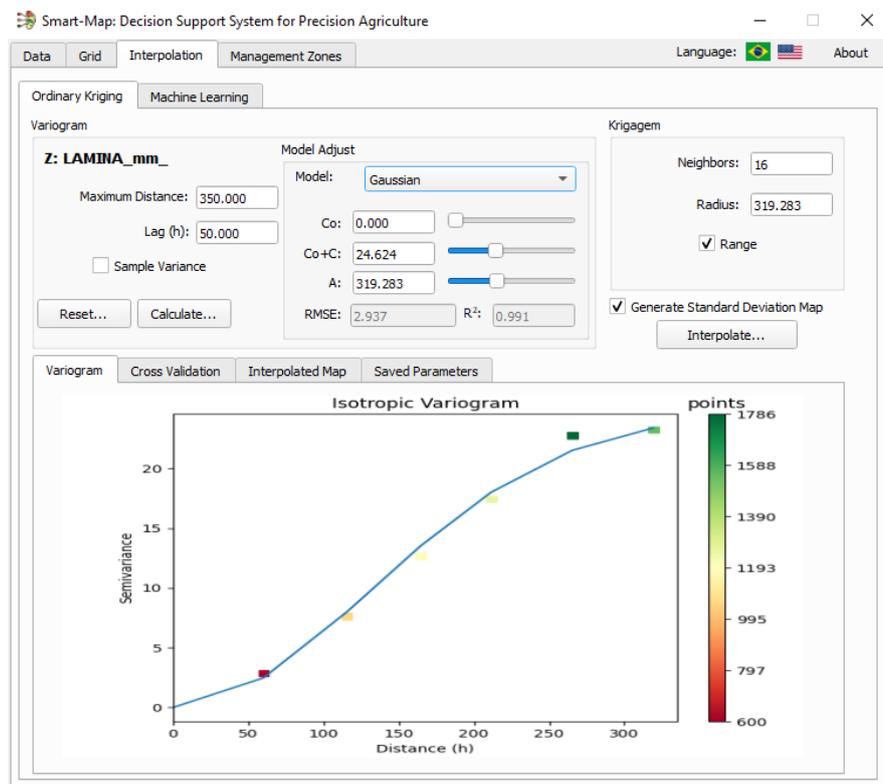
**Figura 3: Gráficos de espalhamento de Moran para cada vizinhança avaliada. a) Queen; b) Distância de 50 m; c) Distância de 100 m; d) Distância de 150 m; e) Distância de 200 m.**

Para o semivariograma ajustado para 169 pontos, foram determinados os seguintes parâmetros:

- Distância máxima: 350 cm;
- Lag de 50 cm;
- Modelo gaussiano;
- Efeito pepita: 0;

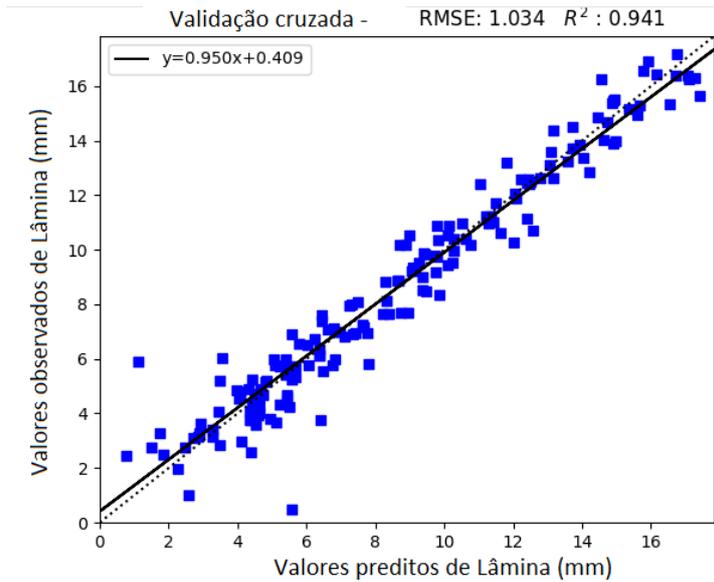
- Patamar: 24,62;
- Alcance: 319,28 cm.

O gráfico do semiovariograma está apresentado na Figura 4, captura de tela do complemento Smart-Map, em que pode-se observar todos os parâmetros informados e o gráfico gerado para o modelo matemático gaussiano.



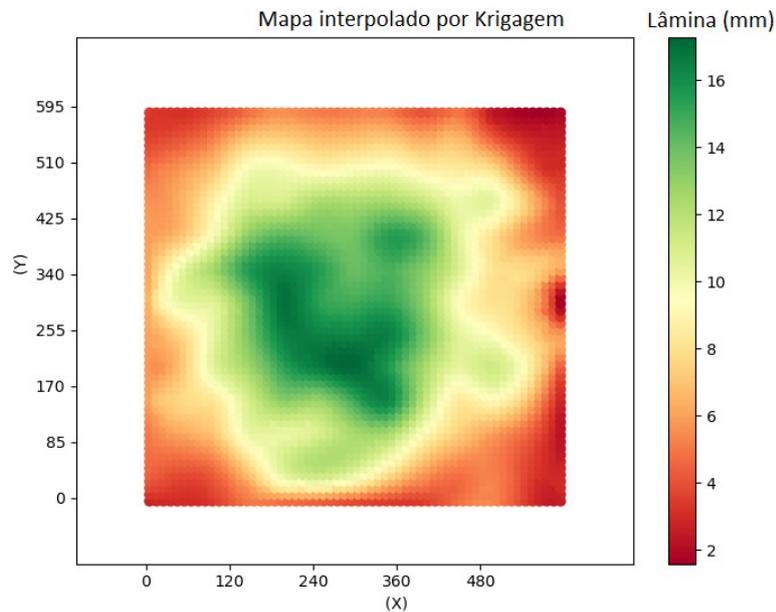
**Figura 4 - Semivariograma ajustado com a ferramenta Smart-Map**

Foi obtido o coeficiente de determinação 0,94 e a REMQ de 1,03 na validação cruzada, cujo gráfico de dispersão está apresentado na Figura 5. O desvio padrão do mapa interpolado variou entre 0,002 a 0,04.



**Figura 5 - Gráfico de dispersão entre valores preditos e observados (validação cruzada)**

A área total interpolada foi de 36 m<sup>2</sup> e a área com lâminas de irrigação acima de 10 mm foi de 15,53 m<sup>2</sup>, indicando uma área com irrigação uniforme correspondente a 43,1% da área total. O mapa interpolado está na Figura 6.



**Figura 6 - Resultado da interpolação dos dados de lâmina d'água por Krigagem**

Para a análise de autocorrelação global, verifica-se que os valores do índice de Moran são maiores para as vizinhanças Queen e até 50 cm, sendo acima de 0,8, o que indica que quando se analisa a variabilidade do total de pontos, valores semelhantes são encontrados apenas quando se considera poucos pontos próximos de lâmina d'água.

Quando se avalia apenas a autocorrelação local, dada pelo indicador LISA, percebe-se que o número máximo de pontos presentes nos grupos AA ou BB, que indicam valores semelhantes entre pontos próximos, é dado pela vizinhança de 150 cm, em que 120 pontos estavam em um desses grupos, de um total de 169 pontos.

Desta forma percebe-se forte dependência espacial ao considerar-se o raio de 150 cm no entorno de cada ponto, que está associada à presença de homogeneidade na irrigação e nos valores de lâmina d'água observados.

A partir do ajuste do semivariograma, obteve-se o valor para o parâmetro alcance de 350 cm e o coeficiente de determinação de validação cruzada bastante alto, demonstrando excelente relação entre valores preditos e observados.

Em termos da superfície interpolada, observou-se que a área uniforme com lâmina de irrigação acima de 10 mm foi baixa, denotando uma distribuição deficiente, o que confirma as informações de Silva, Azevedo e Lima (2002).

## **CONCLUSÕES**

O uso dos softwares GeoDa e o complemento Smart-Map para QGIS, são ferramentas adequada para avaliação da dependência espacial e s mapas gerados facilitam a visualização dos pontos uniformes. O elevado coeficiente de determinação da validação cruzada denota excelente relação entre os valores preditos e os observados.

Outras arranjos do sistema de irrigação serão realizados para aumentar a área irrigada uniforme, como a utilização de outros modelos de microaspersores, variação da pressão na linha de irrigação, aumento do espaçamento dos aspersores entre outros.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, ao CNPq/CAPES, à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná, pelo apoio financeiro ao projeto.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. AGROJET. Bailarina de saída dupla com base de ½ polegada. 2018, Dados técnicos. Disponível em: <https://11nq.com/EFEAq> Acesso em 04/07/2022.
2. ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - 2. ed. - Brasília: ANA, 2021. 130 p.
3. ANSELIN, L. Spatial data analysis with GIS: an introduction to application in the social sciences. Santa Barbara, CA, August 1992.
4. ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa : An Introduction to Spatial Data Analysis. Geographical Analysis, v. 38, n. 1, p. 5–22, 2005.
5. AYRIMORAES, S.; FONTENELLE, T. H.; FERREIRA, D. A. Uso da água na agricultura irrigada no Brasil: panorama e estudos de planejamento da Agência Nacional de Águas. Cap 10. Fortaleza : Inovagri, 2020. p. 98 -104
6. DRUCK, S. et al. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina, DF: Embrapa, 2004
7. FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciênc. Agrotec. [online]. 2014b, vol.38, n.2, pp. 109-112 . Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
8. FERREIRA, M. C. Iniciação à análise geoespacial. São Paulo: Editora UNESP, 2014a. 343 p.

9. IBGE. Acesso e uso de dados geoespaciais. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2019. 147 p. (Manuais técnicos em geociências ; 14).
10. ISAAKS, E. H.; SRISVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.
11. NAKAMURA, R., ARAUJO, R., JUNIOR, F., & LOPES, R. Geoestatística aplicada a lâminas de irrigação em diferentes espaçamentos entre aspersores, Anais... Botucatu – SP: UNESP. ISSN: 2236-2118. Disponível em: <http://11nq.com/ahKGx> Acesso 27/07/2022
12. PEREIRA, G.W.; et al. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. *Agronomy*. 2022, 12, 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>
13. SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A.; SILVA, J. E. F. W. Análise de desempenho da irrigação. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. 2002. 84p.
14. VALNIR JÚNIOR, M. V., et al.. Análise comparativa de metodologia de coleta de dados para avaliação de sistemas de irrigação localizada. *Rev. Bras. Agric. Irrig.*, 10(5), 2016. p.965-975.
15. YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo, Oficina de Textos, 2013. 215 p.
16. YAMAMOTO, J. K. Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais. São Paulo: Gráfica Paulos, 2020. 308 p.