

GEOESTATÍSTICA E SIMULAÇÕES CONDICIONAIS APLICADAS A ENSAIOS DE UNIFORMIDADE DE ASPERSÃO CONVENCIONAL

ACÁCIO PERBONI¹; JEFFERSON VIEIRA JOSÉ¹; MARIO NESTOR ULLMANN²; OLIVIO JOSÉ SOCCOL³ E JOSÉ ANTONIO FRIZZONE⁴

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, C.P 9, 13418-900, Piracicaba – SP, acacioperboni@usp.br; jfvieira@usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Agronomia, CAV/UEDESC, Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, 88.520-000, Lages – SC, mnu@cav.udesc.br

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Associado 7, Departamento de Agronomia, CAV/UEDESC, Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, 88.520-000, Lages – SC, soccol@cav.udesc.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, C.P 9, 13418-900, Piracicaba – SP, frizzone@usp.br

1 RESUMO

O aumento do uso de água via irrigação agregado ao alto custo deste recurso torna necessário que os sistemas de irrigação proporcionem altos níveis de uniformidade e eficiência. A descrição da variabilidade e a estrutura de dependência espacial de ensaio de uniformidade de irrigação por aspersão convencional podem auxiliar no manejo eficiente da irrigação. As técnicas da geoestatística são necessárias para obter mapas da distribuição de água. Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e a estrutura de dependência espacial de cinco diferentes ensaios de uniformidade de irrigação por aspersão convencional. A amostragem da distribuição de água na área foi realizada, distribuindo quarenta e oito coletores na forma de malha retangular. Caracterizou-se a variabilidade dos resultados por meio de estatísticas descritivas. Para atender aos pressupostos do modelo geoestatístico adotado, utilizou-se transformação da família Box-Cox da variável resposta. Por meio do método da máxima verossimilhança foram estimados os parâmetros: efeito-pepita (τ^2), variabilidade espacial (σ^2) e alcance (ϕ). A partir de modelos geoestatísticos, foram obtidos mapas da distribuição de água através da técnica de “Krigagem” e geradas simulações condicionais para dividir a área em classes de lâminas de água, e probabilidades de ocorrência de lâminas menores que um valor arbitrário de seis milímetros.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação; distribuição espacial de água; máxima verossimilhança

**PERBONI, A.; JOSÉ, J. V.; ULLMANN, M. N.; SOCCOL, O. J.; FRIZZONE, J. A.
GEOSTATISTICS AND CONDITIONAL SIMULATIONS APPLIED TO TESTS OF
UNIFORMITY OF CONVENTIONAL SPRINKLER**

2 ABSTRACT

The increased use of water by irrigation and its high-cost added on makes it necessary that high levels of uniformity and efficiency be provided by the irrigation systems. The description of variability and the structure of spatial dependence of the uniformity test of conventional sprinkler irrigation can contribute for an efficient management of irrigation.

Geostatistical techniques are required for mapping the distribution of water. The objective of this study was to evaluate the variability and structure of spatial dependence of 5 different uniformity tests of conventional sprinkler irrigation. Sampling of water distribution in the area was performed by distributing 48 collectors in grid shape. Variability of results was characterized by descriptive statistics. In order to meet the assumptions of the geostatistical model adopted, the transformation of Box-Cox family of the response variable was used. Using the maximum likelihood method, the following parameters were estimated: nugget-effect (τ^2), spatial variability (σ^2) and range (ϕ). Based on geostatistical models, maps of water distribution were obtained by the kriging technique and conditional simulations were created to divide the area in classes of water levels and probabilities of occurrence of levels lower than the 6 mm arbitrary value.

Keywords: Irrigation, spatial water distribution, maximum likelihood

3 INTRODUÇÃO

O conceito de uniformidade de distribuição da água em irrigação por aspersão tem tido um grande avanço. Devido à crescente necessidade de conservação do recurso água, à competitividade pela água, ao custo da energia, ao custo dos insumos e a estabilização dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente (HEINEMANN et al., 1998).

De acordo Paulino et al. (2011) o Brasil teve um aumento na área irrigada de 1,3 milhões de hectares, ou seja, 42% em 10 anos, sendo que a irrigação por aspersão (convencional e autopropelido), representava 1.572.960 hectares, aproximadamente 35% da área total irrigada no Brasil.

Entretanto, a crescente utilização da água para fins de irrigação tem despertado a preocupação da opinião pública e das lideranças políticas, em razão dos impactos causados ao ambiente pela inadequada utilização das águas pelos irrigantes. No caso da aspersão convencional os cuidados devem ser maiores quando se trata das perdas durante a aplicação de água, as quais são mais significativas e dependentes do equipamento em uso (MARTINS et al., 2012).

Na determinação das perdas de água por evaporação e arraste em ensaios de campo no qual utilizou-se quatro diferentes aspersores de tamanho médio, Beskow et al. (2008) encontraram valores médios de perdas variando de 8,5 a 39,8 % para ensaios com apenas um aspersor, e perdas de 4,7 a 18,9 % para ensaios com laterais de aspersores. Ainda com base nos resultados dos testes de campo os autores concluíram que: (i) as perdas de água por evaporação e arraste apresentaram tendência geral em aumentar com o acréscimo da temperatura, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento e com o decréscimo da umidade relativa do ar, sendo mais influenciadas pelo diâmetro do bocal do que pela pressão de operação; (ii) nos testes de campo com um único aspersor, as perdas de água por evaporação e arraste foram bastante superiores as perdas obtidas com laterais de aspersores funcionando simultaneamente; e (iii) o diâmetro do bocal do aspersor exerce grande influência no valor das perdas de água por evaporação e arraste, podendo acarretar em perdas maiores que as apresentadas por muitos autores.

Além das perdas características dos sistemas de irrigação por aspersão convencional, é necessário conhecer a uniformidade de distribuição espacial da água, uma vez que determinados locais da área irrigada recebem mais que a lâmina necessária pela cultura,

sofrendo estresse por excesso hídrico e outros locais recebem menos que a lâmina necessária, sofrendo estresse por déficit hídrico.

Os fatores que comprometem a uniformidade de distribuição de água podem ser considerados em climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições de vento. Os fatores não climáticos são os relacionados ao equipamento e ao método de avaliação (HEINEMANN et al., 1998).

Azevedo et al. (2000) realizaram um estudo para avaliar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão e observaram que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na uniformidade, seguido pela pressão de serviço, espaçamento entre aspersores na linha lateral, espaçamento entre linhas laterais, direção do vento em relação à linha lateral e velocidade de rotação do aspersor. No estudo observaram que o aumento da velocidade do vento e do espaçamento entre aspersores diminui o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), enquanto o aumento da pressão de operação do aspersor o elevou nos intervalos estudados.

Muitos autores consideram o CUC, como o parâmetro principal para calcular a uniformidade de irrigação, além do CUC, pesquisadores aplicaram com sucesso, outras técnicas, por exemplo, a geoestatística. Nakamura et al. (2011) simularam diferentes espaçamentos entre aspersores e utilizaram a geoestatística para visualizar as condições de sobreposição das lâminas de irrigação. Para todos os espaçamentos adotados, foi encontrada forte dependência espacial, permitindo o uso de modelos geoestatísticos, na técnica de “Krigagem” para gerar os mapas de isolinhas de lâminas de irrigação.

A geoestatística apresenta dois procedimentos inferenciais, a krigagem e a simulação. A krigagem tem por objetivo obter a melhor estimativa local sem preocupar-se em reproduzir as estatísticas espaciais estimadas a partir do conjunto amostral. A simulação, por sua vez, tem como objetivo a reprodução dessas estatísticas e também tem a vantagem de integrar, de forma mais simples, vários atributos em um único modelo (ORTIZ et al., 2004).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivos:

- 1) Testar a viabilidade de uso de modelos geoestatísticos em cinco ensaios de uniformidade de aspersão convencional, realizados em distintas condições climáticas e operacionais;
- 2) Obter mapas de predição espacial da lâmina de água;
- 3) Simular diferentes cenários e gerar mapas de ocorrência de lâmina de água;
- 4) Dividir a área em classes de lâminas e obter mapas de probabilidade da área que recebe uma lâmina arbitrária menor que seis milímetros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em cinco diferentes ensaios de uniformidade de aspersão convencional, realizados no departamento de Agronomia, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, localizado no município de Lages – SC, cujas coordenadas geográficas são: 27° 47' 33" de latitude Sul, 50° 18' 18" de longitude Oeste e altitude média de 640 metros.

Todos os cinco ensaios foram realizados no mesmo local, em área plana. A água utilizada foi bombeada de reservatório subterrâneo localizado sob o laboratório de hidráulica até o local dos ensaios e a vazão foi medida com medidor do tipo Venturi. Foram utilizadas duas linhas laterais com quatro aspersores cada (Figura 1).

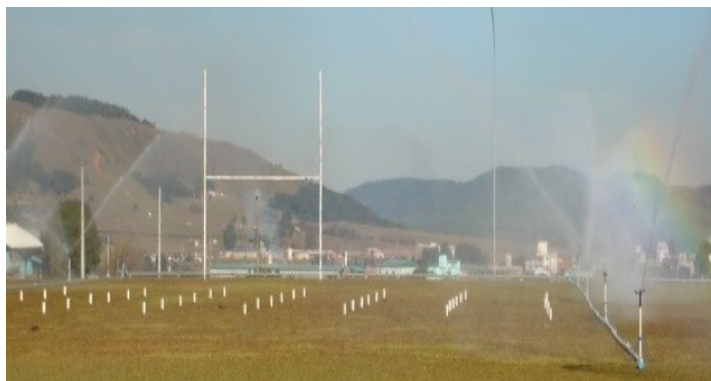


Figura 1. Ensaio de uniformidade.

Para determinar a vazão média aplicada, dividiu-se a vazão medida no medidor Venturi por oito aspersores. A precipitação média aplicada foi calculada pela eq. (1).

em que: P é a precipitação média aplicada, em mm h^{-1} ; Q é a vazão medida no medidor Venturi, em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$; Q_m é a vazão média aplicada, em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ e A é a área irrigada entre quatro aspersores funcionando simultaneamente, em m^2 .

A temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento foram medidas em uma estação meteorológica, próxima ao local de ensaio. O tempo de duração dos ensaios foi cronometrado e a pressão de serviço medida com um manômetro do tipo Bourdon, instalado no tubo de subida do segundo aspersor da segunda linha lateral e corrigida para o centro do bocal do aspersor.

Foram distribuídos 48 coletores com área da seção de coleta de $53,63 \text{ cm}^2$ a uma altura média de 5 cm do solo, entre as duas linhas laterais e entre o segundo e o terceiro aspersores da linha lateral, conforme Figura 2. As linhas laterais foram compostas com tubos de PVC, com comprimento de 66 m e diâmetro de 50 mm ; o espaçamento entre aspersores foi de 18×24 metros. As ligações entre as linhas laterais e os aspersores foram feitas com tubos de subida de PVC com 25 mm de diâmetro e $0,83 \text{ m}$ de comprimento. Os aspersores utilizados foram da marca Plona, modelo PA100, com diâmetro de bocais de $7 \times 3 \text{ mm}$.

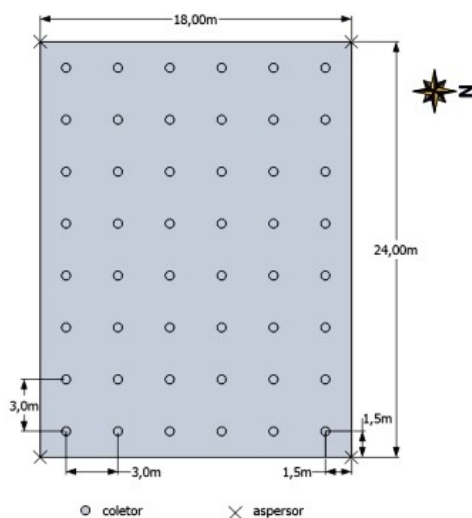


Figura 2. Croqui da distribuição dos coletores.

Após o término dos ensaios, foi medido o volume de água em cada coletor com proveta graduada, os valores obtidos foram usados no cálculo da lâmina média coletada, da precipitação média coletada e da eficiência de aplicação.

Para expressar a dispersão da lâmina de irrigação coletada, foi utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942), expresso pela eq. (2).

em que: CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, adimensional; y_i é a i-ésima lâmina coletada, em mm; \bar{y} é a lâmina média coletada, em mm; N é o número de coletores.

Nas análises de dados, foi utilizada a linguagem e ambiente R, versão 2.15.1. (R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012). Os métodos geoestatísticos e simulações condicionais foram implementadas utilizando funções disponíveis no pacote geoR (RIBEIRO; DIGGLE, 2001). Para encontrar a área correspondente a cada classe de dados foi utilizado o pacote classInt (BIVAND et al., 2012).

Dados de lâmina coletada obtidos nos ensaios foram divididos pela duração do ensaio para transformar em precipitação coletada, depois submetidos à análise estatística descritiva, determinando os valores mínimos, máximos, quartis e média. Utilizou-se a família de transformações Box-Cox (Box & Cox, 1964), visando encontrar a transformação mais adequada para alcançar o comportamento aproximadamente Gaussiano, utilizaram-se as equações (3) e (4). Para valores iguais a 1, os dados são considerados normais, não sendo necessária a transformação.

em que: y é a lâmina de água coletada e λ é o expoente da transformação Box-Cox.

Os dados foram analisados sob a abordagem de modelos geoestatísticos sob o paradigma frequentista da estatística (DIGGLE; RIBEIRO JR, 2007). Buscou-se, desta forma, ajustar os parâmetros do modelo, equação (5):

em que: y_i é a lâmina de água na linha i da matriz de coordenadas X; \bar{y} é a média geral de uma área específica; ϵ é um processo gaussiano com função do modelo com parâmetro de variância σ^2 e parâmetro de alcance ϕ e ϵ_i é o erro aleatório normalmente distribuído com média zero e variância τ^2 .

Simulações condicionais realizadas pelo método de Monte Carlo são resultados das estimativas baseadas em 1.000 cenários diferentes e não apenas um, como é o caso da “Krigagem”. Baseando-se nos 1.000 cenários, foram feitas divisões da área do ensaio em classes de lâminas e determinadas probabilidades de ocorrência de lâmina arbitrária menor que 6 mm. O esforço computacional para simulação depende da malha de predição adotada, para o estudo, foram utilizadas 50 colunas com 50 pontos em cada coluna. Isso resulta em um total de 2.500 (50 x 50) pontos a serem estimados. Como foram realizadas 1.000 simulações,

tem-se uma matriz resultante com 2.500 linhas x 1.000 colunas. Cada linha desta matriz representa um ponto e cada coluna, uma simulação.

As áreas relativas a cada classe foram obtidas a partir da contagem do número de “pixels” até o limite da classe em relação ao número total de “pixels”, que corresponde a 100% da área (18x24 m). Cada “pixel” é representado por um ponto da malha adotada, totalizando 2.500 “pixels”.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo. Observa-se que os testes foram realizados em condições climáticas distintas, ou seja, velocidades médias de vento entre 0 e 1,5 m s⁻¹, umidade relativa média do ar entre 27 e 68% e de temperatura entre 13,6 e 28,7°C.

No ensaio 1 a precipitação média aplicada foi menor (9,07 mm h⁻¹), com tempo de irrigação de 1,094 h. Os testes restantes apresentaram precipitação média aplicada com valores no intervalo de 9,40 a 9,48 mm h⁻¹ e duração de irrigação entre 0,750 e 1,094 h.

Tabela 1. Condições climáticas e operacionais nos ensaios de uniformidade de aspersão.

Ensaio	Data	T (°C)	UR (%)	Vv (m s ⁻¹)	Dv	t (h)	PS (kPa)	apl (mm h ⁻¹)
1	29/05/2003	13,6	68	0	N	1,094	332,76	9,07
2	08/12/2003	•	•	•	•	1,000	385,53	9,42
3	20/05/2006	22,1	58,5	1,5	NE	0,750	389,95	9,40
4	24/08/2006	22,8	27	1,5	NE	0,917	382,39	9,48
5	08/11/2007	28,7	40	0,5	NE	0,917	412,02	9,41

T – temperatura média, em °C; UR – umidade relativa do ar, em %; Vv – velocidade do vento, em m s⁻¹; Dv – direção do vento; t – duração do ensaio, em h; PS – pressão de serviço, em kPa; apl – precipitação média aplicada pelo aspersor, em mm h⁻¹; • - dados não medidos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da estatística descritiva da precipitação coletada, observa-se que os valores das medidas de tendência central média e mediana (2º quartil), não são semelhantes, o que identifica uma distribuição assimétrica, sendo necessária a transformação dos dados.

Tabela 2. Análise exploratória da precipitação coletada (mm h⁻¹).

Ensaio	mínima	1º quartil	2º quartil	3º quartil	máxima	média	Ea (%)
1	3,58	6,78	8,52	9,89	12,02	8,11 ± 0,31	89,47
2	0,93	4,43	7,13	10,70	17,34	7,66 ± 0,61	81,34
3	2,73	5,22	7,09	8,70	11,19	6,91 ± 0,36	73,53
4	1,02	4,78	6,71	8,98	14,04	6,96 ± 0,48	73,44
5	4,07	6,28	7,07	8,65	11,80	7,52 ± 0,26	79,95

Ea – eficiência de aplicação, em %; ± – erro padrão.

Na Figura 3 são apresentados os valores de CUC medidos para os ensaios usando 48 coletores e simulados para números de coletores menores que 48. Por meio de sorteio retirou-se coletores, que foram excluídos do cálculo do CUC, com o objetivo de observar se o número de amostras foi suficiente para avaliar a uniformidade de aplicação de água.

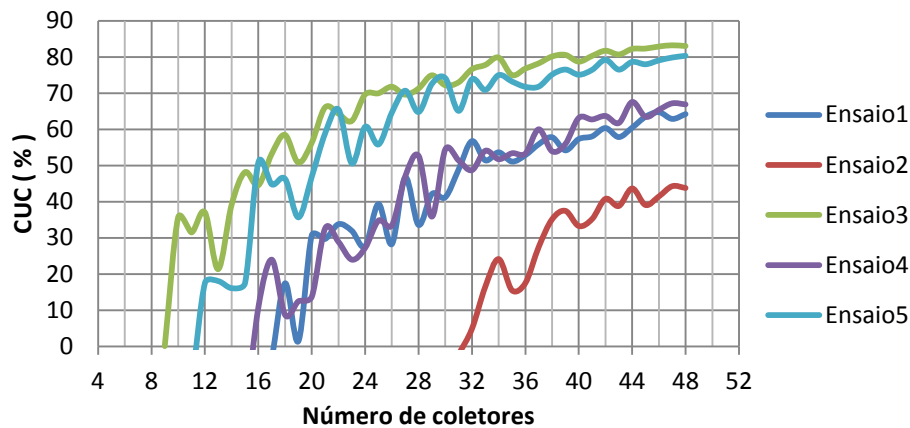


Figura 3. Valores de CUC medido para 48 coletores e simulados para números de coletores menores que 48.

Para todos os ensaios, foi atingido um patamar antes de 48 coletores, indicando que o número de coletores foi suficiente para avaliar a uniformidade usando o CUC. A uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação é considerada excelente quando apresenta valor de CUC acima de 90%, bom de 80-90%, regular de 70-80%, ruim 70-60% e inaceitável abaixo de 60% (BERNARDO et al. 2008).

Para atender a hipótese de estacionaridade, cujos dados tem média e variância considerados constantes, foram usadas transformações Box-Cox. Modelos foram ajustados aos semivariogramas. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das estimativas dos parâmetros (τ^2 , σ^2 e ϕ) da função de verossimilhança. Os modelos escolhidos foram os que apresentaram os maiores valores de maximização.

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros utilizando estimadores de máxima verossimilhança.

Ensaio	Modelo	λ	Parâmetros do semivariograma		
			τ^2	σ^2	ϕ
1	Gaussian	1,73	0,221	141,801	5,261
2	Gaussian	0,60	0,110	3,450	5,728
3	Matern	0,73	0,002	2,255	7,270
4	Gaussian	0,64	0,059	2,861	6,225
5	Gaussian	-0,08	0,002	0,079	7,673

λ - expoente da transformação Box-Cox; τ^2 - efeito pepita dos dados transformados; σ^2 - variância dos dados transformados; ϕ - alcance, em m;

A dependência espacial entre os pontos teve um valor mínimo de 5,26 m, para o ensaio 1, esse valor é maior que a máxima distância entre coletores utilizada nos ensaios, malha regular de 3x3 m. De acordo com Machado et al., (2007), o alcance de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com este raio sejam similares o bastante para serem utilizados na estimativa de valores de qualquer ponto entre eles.

Na estimativa de valores de lâmina em locais não amostrados, foram gerados mapas de distribuição espacial (Figura 4), obtidos por interpolação por meio de “Krigagem”, a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas.

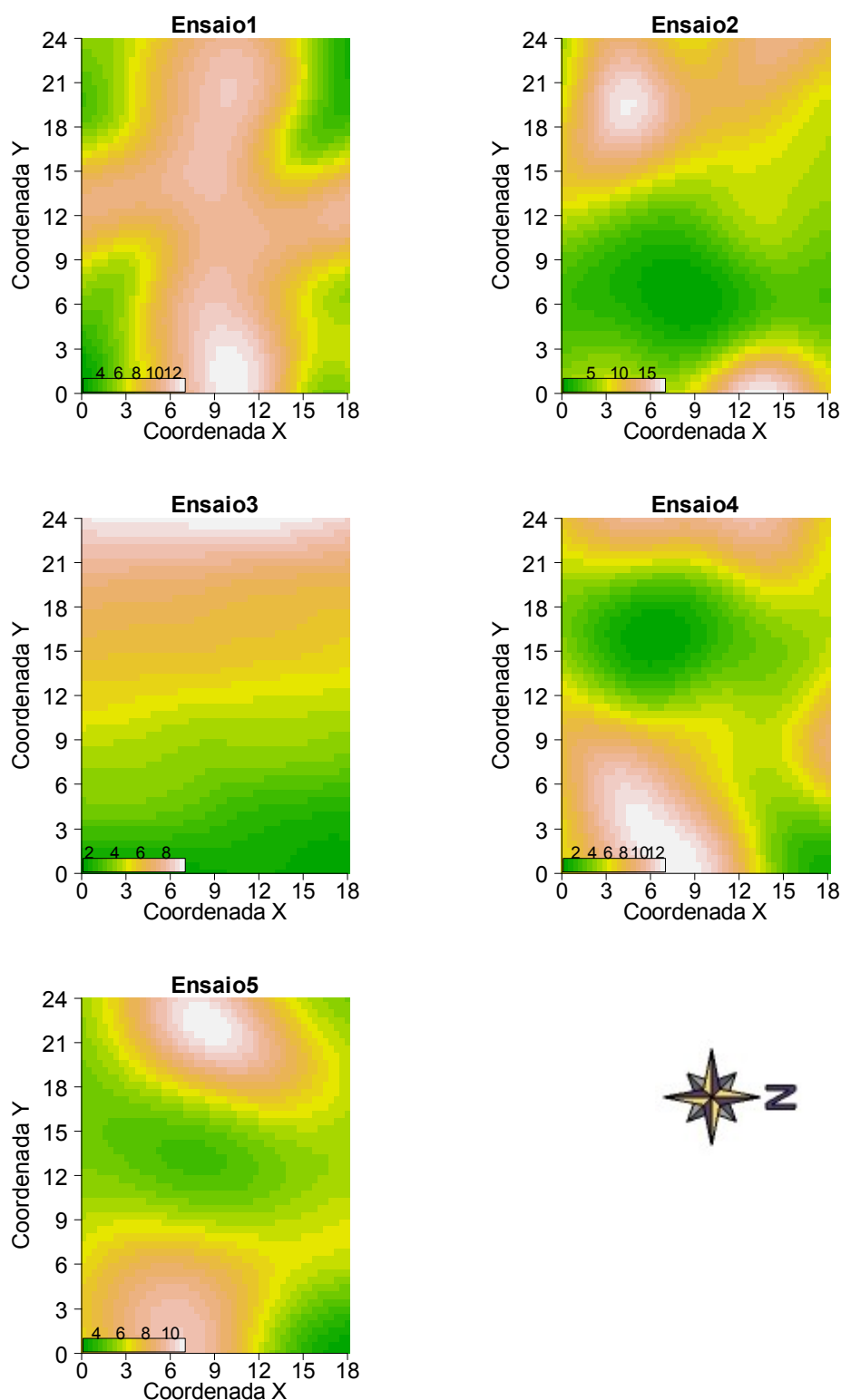


Figura 4. Mapas de “Krigagem” das lâminas coletadas, em mm.

Nos ensaios 3, 4 e 5 observa-se os efeitos do vento nordeste na distribuição espacial da lâmina coletada, formando faixas de lâminas menores (tons de verde) no centro da área para os ensaios 4 e 5; já no ensaio 3 observa-se uma divisão das lâminas em faixas, possivelmente

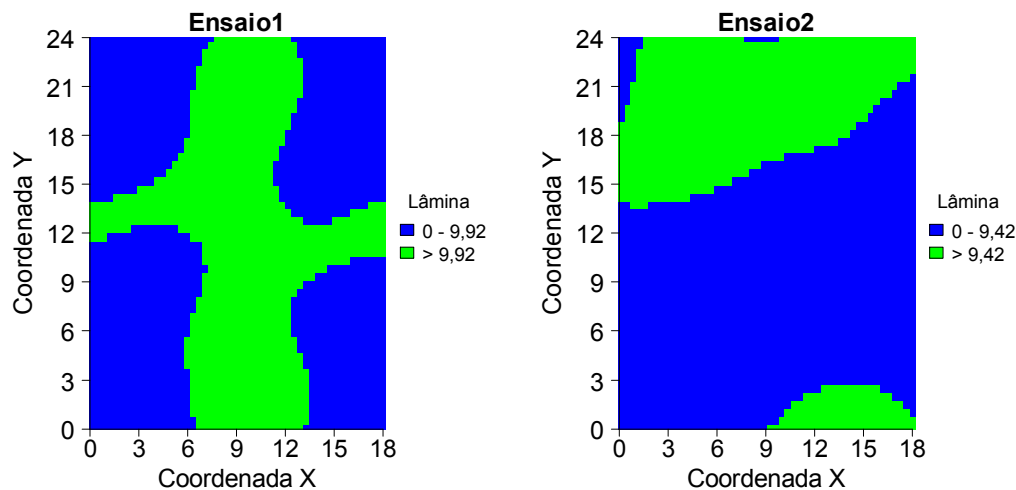
devido a curta duração do ensaio (0,75 h). No ensaio 1, ocorreu uma concentração de lâminas maiores (tons de vermelho) no centro da área, local onde ocorre a sobreposição das lâminas, na ausência de vento, além desse fato a pressão de serviço foi menor que nos outros ensaios (332,76 kPa), diminuindo a pulverização das gotas o alcance do jato de água. No ensaio 2 não foram medidas as condições climáticas.

Na Tabela 4 e na Figura 5, observa-se que para todos os ensaios, a maior parte da área recebeu menos que a lâmina média aplicada pelo aspersor, indicando que houveram perdas devido a evaporação direta, arraste da água aplicada pelos aspersores para fora da área de ensaio, perfil de distribuição de água do aspersor e erros devido ao método de avaliação de uniformidade adotado.

Tabela 4. Porcentagem da área que recebeu mais ou menos que a lâmina aplicada média.

Ensaio	(mm)	área (%)	
		0 -	>
1	9,92	57,88	42,12
2	9,42	65,08	34,92
3	7,05	82,64	17,36
4	8,69	75,96	24,04
5	8,62	82,04	17,96

– lâmina aplicada média, em mm.



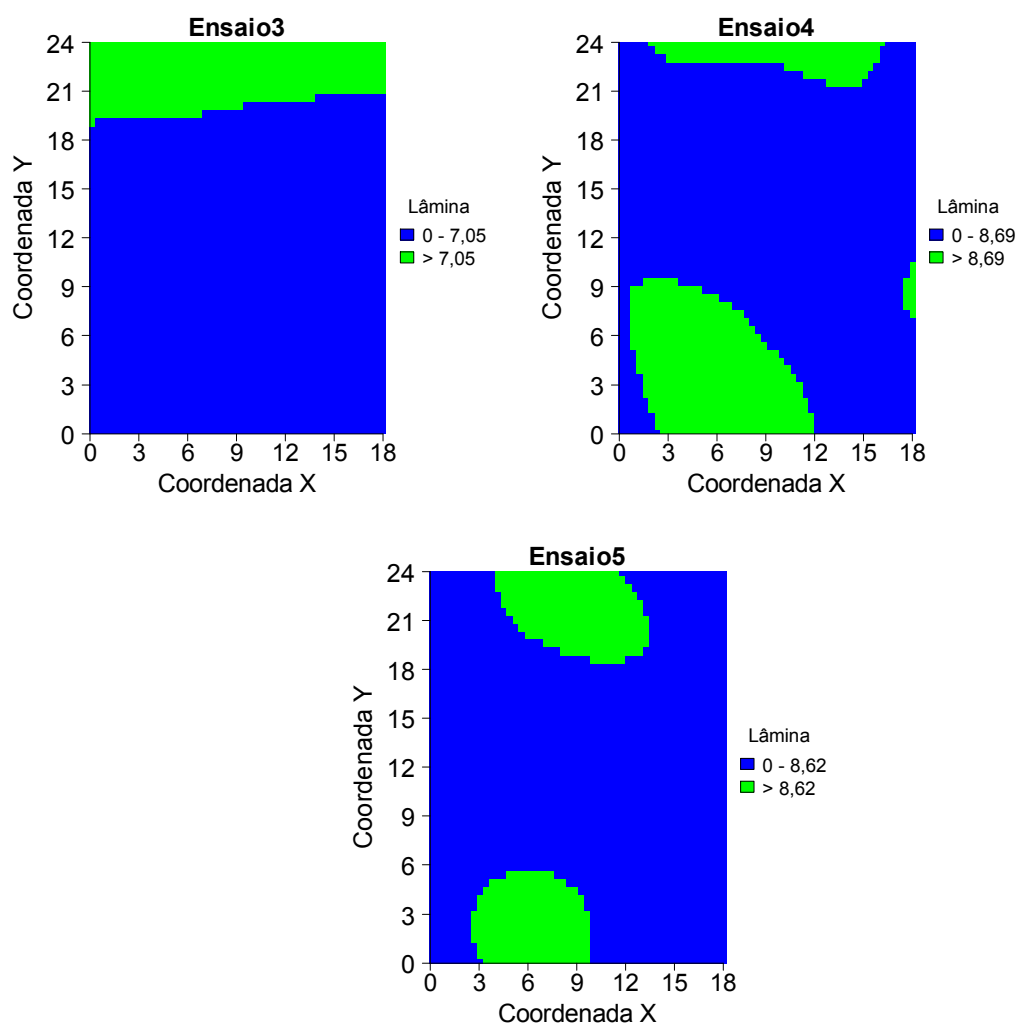


Figura 5. Simulação condicional da lâmina aplicada pelo aspersor, em mm.

No ensaio 1, com condições climáticas que propiciam menores perdas por evaporação direta ($T = 13,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e $UR = 68\%$) e menor arraste da água para regiões fora da área de ensaio ($V_v = 0 \text{ m s}^{-1}$) a distribuição da lâmina aplicada pelo aspersor fica condicionada ao perfil de distribuição de água característico do aspersor, pressão de serviço e sobreposição de lâminas aplicadas pelos aspersores adjacentes, devido ao espaçamento adotado.

Na Tabela 5 e Figura 6, as áreas que receberam lâminas acima e abaixo da lâmina média coletada para os 5 ensaios, apresentaram distribuição aproximadamente normal.

Tabela 5. Porcentagem da área que recebeu mais ou menos que a lâmina média coletada.

Ensaio	(mm)	área (%)	
		0 -	>
1	8,87	43,64	56,36
2	7,66	53,72	46,28
3	5,18	49,64	50,36
4	6,38	53,44	46,56
5	6,89	57,80	42,20

– lâmina coletada média, em mm.

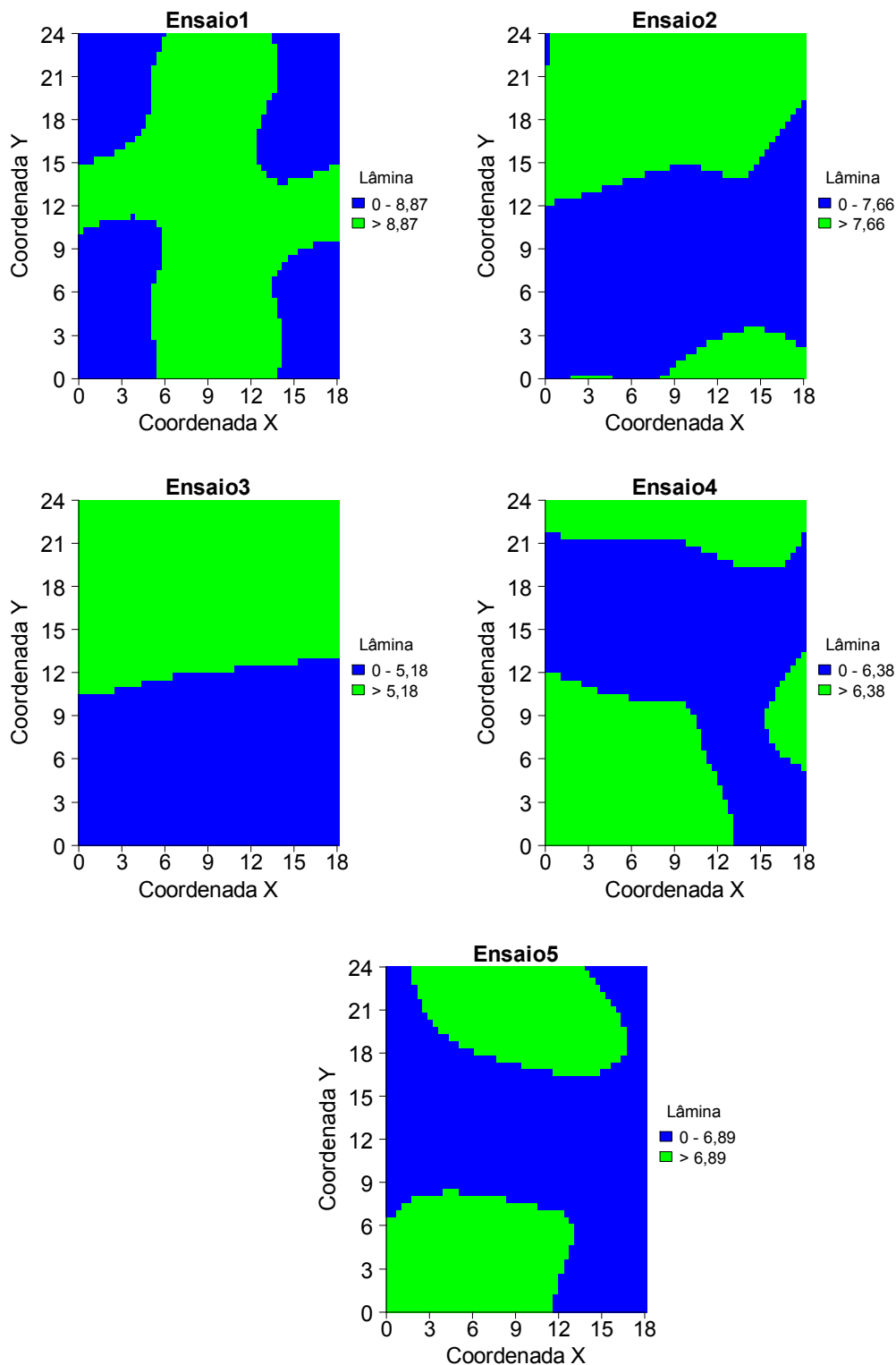


Figura 6. Simulação condicional da lâmina coletada, em mm.

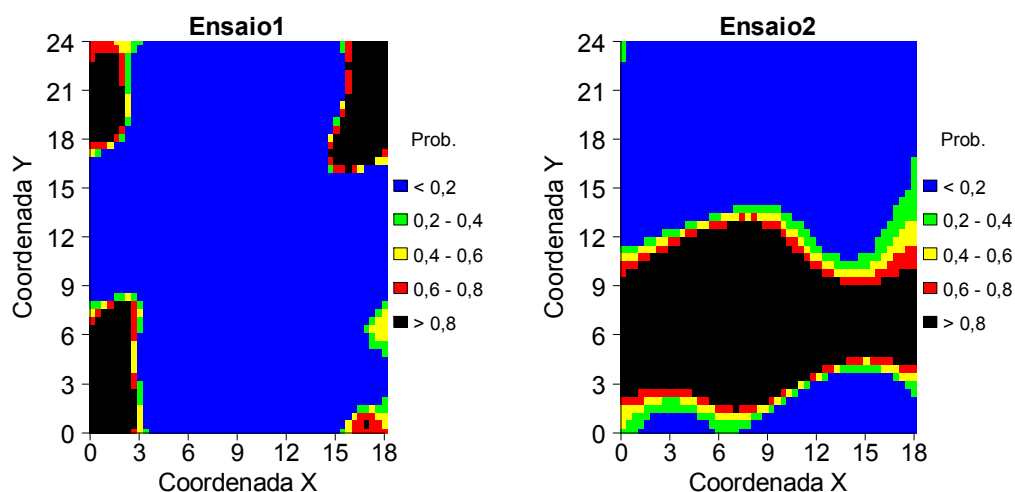
Para detalhar a distribuição de água, a área foi dividida em porcentagens de área para lâminas com intervalo de 1 mm. A partir dos dados da Tabela 6, é possível ter noção da variabilidade da lâmina na área, esse método possibilita substituir o CUC com a vantagem de permitir observar além da variabilidade, a distribuição quantitativa da lâmina de irrigação, por

exemplo, assumindo que para uma cultura fictícia a lâmina adequada é de seis milímetros, pode-se determinar a porcentagem da área adequadamente irrigada e porcentagens com déficit ou excesso de água.

Tabela 6. Cálculo da porcentagem de áreas com intervalo de lâminas de 1mm.

Intervalo	Área para cada intervalo de lamina (%)				
	Ensaio1	Ensaio2	Ensaio3	Ensaio4	Ensaio5
0-1 mm	0	2,04	0	1,28	0
1-2 mm	0	5,56	1,48	5,4	0
2-3 mm	0,44	6,2	15,4	6,68	0
3-4 mm	2,12	7,72	11,6	8,4	1,12
4-5 mm	4,32	8,8	18,8	12	8,76
5-6 mm	7,8	7,04	16,2	15	25,44
6-7 mm	10,64	8,24	18,56	11,32	24,4
7-8 mm	9,28	11,32	8,72	9,88	15
8-9 mm	10,44	5,76	7,64	8,52	11,6
9-10 mm	14,16	5,76	1,6	7,64	9,56
10-11 mm	22,8	6,8	0	5,28	4,08
11-12 mm	14,24	7,72	0	4	0,04
12-13 mm	3,16	5,72	0	4,6	0
13-14 mm	0,6	4,08	0	0	0
14-15 mm	0	2,44	0	0	0
15-16 mm	0	2,48	0	0	0
16-17 mm	0	1,88	0	0	0
17-18 mm	0	0,44	0	0	0

O objetivo dos mapas de probabilidade de ocorrência de lâminas menores que 6 mm é dividir a área em regiões mais ou menos prováveis de receber uma lâmina arbitrária menor que 6 mm. Para gerar os mapas de probabilidades usa-se o conceito de frequência de ocorrência de um evento para estimar a sua chance de ocorrência. Desta forma, ao simular 1.000 cenários diferentes, as lâminas menores que 6 mm, que aparecerem mais que 800 vezes, correspondem a probabilidade de ocorrência $> 0,8$. Na Figura 7 são apresentados os mapas para os 5 ensaios.



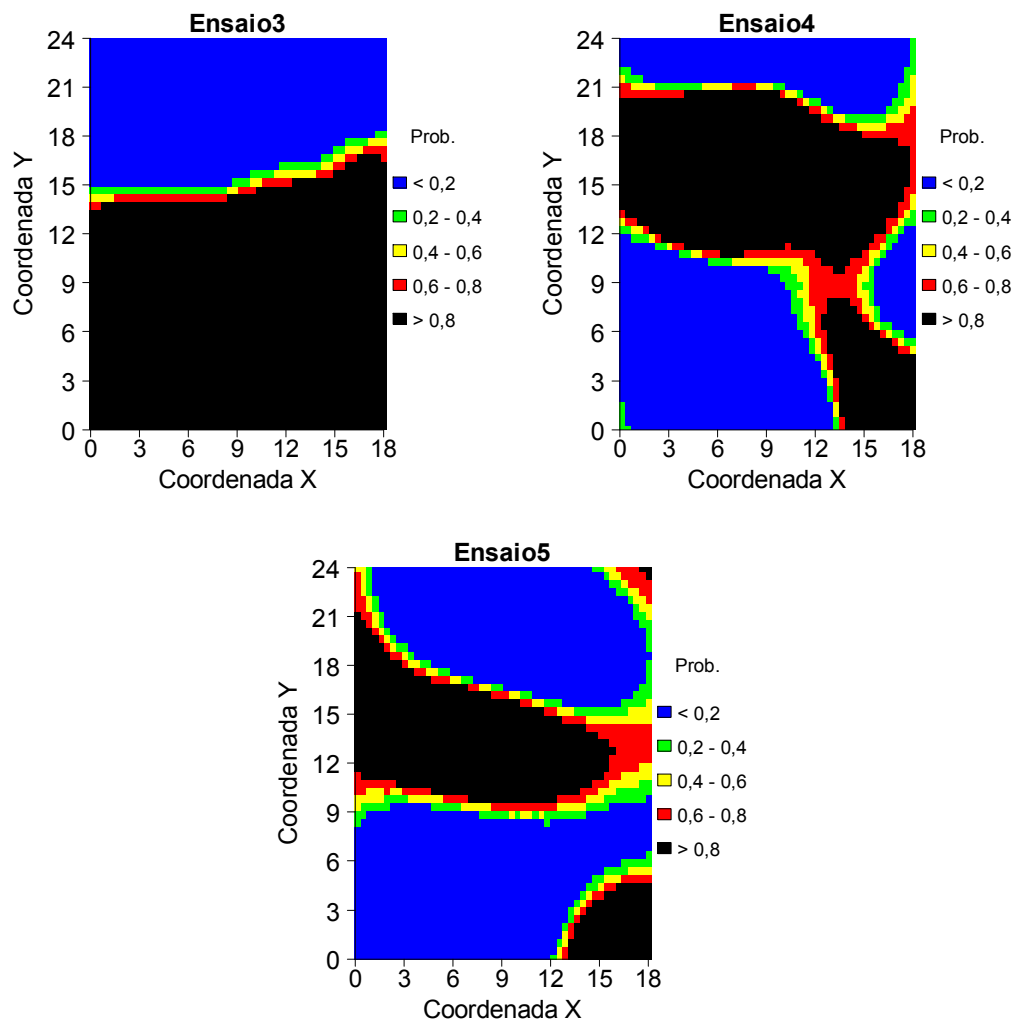


Figura 7. Diferentes classes de probabilidade para lâmina menor que 6 mm.

Se considerar a lâmina de 6 mm, como limiar para déficit hídrico em uma cultura fictícia, nos 5 ensaios a área possui diferentes probabilidades de déficit. No ensaio 1, foi observada a menor área com probabilidade de receber lâmina menor que 6 mm. Já no ensaio 3 foi observada a maior área provável de receber menos que 6 mm de irrigação.

6 CONCLUSÕES

As lâminas coletadas nos cinco ensaios de uniformidade apresentaram dependência espacial, permitindo o uso de modelos geoestatísticos. Com a técnica de “Krigagem” foi possível estimar a lâmina de água em locais não amostrados da área de ensaio, e com isso gerar os mapas de distribuição de lâmina. Simulando diferentes cenários, foi possível dividir a área do ensaio em classes de lâminas e probabilidades de ocorrência de lâminas menores que um valor arbitrário de 6 mm.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 152-158, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625 p.
- BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. S.; RICARDO, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras MG, utilizando aspersores de tamanho médio. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 113-127, 2008.
- BIVAND, R.; ONO, H.; DULANP, R. classInt: Choose univariate class intervals. R package version 0.1-18, 2012. Disponível em <<http://CRAN.R-project.org/package=classInt>>
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.
- DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JR, P. J. **Model based geostatistics**. New York: Springer, 2007. 230 p.
- HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1491, set. 1998.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.
- MARTINS, PAULO E. S.; ZANINI, J. R.; SILVA, E. R.; LEMOS FILHO, M. A. F. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 03-09, 2012.
- NAKAMURA, R.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística aplicada a lâminas de irrigação em diferentes espaçamentos entre aspersores. II Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias; maio de 2011; Botucatu; 2011. 5p.
- ORTIZ, J. O.; FELGUEIRAS, C. A.; DRUCK, S.; MONTEIRO, A. M. V. Modelagem da fertilidade do solo por simulação estocástica com tratamento de incertezas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 379-389, 2004.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S.; JOSÉ, J.V.; Situação da agricultura irrigada no brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Brazilian Journal of Irrigation and Dranaige**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM R.A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2012. URL <http://www.R-project.org>

RIBEIRO J. R.; DIGGLE, P. J. geoR: a package for geostatistical analysis. **R. News**, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.