

SICASSI - SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO E SIMULAÇÃO DE SOBREPÓSICÃO DE SPRAYERS DE IRRIGAÇÃO

MARCELO CARAZO CASTRO¹

¹ Engenheiro Agrícola, prof. IFRJ *campus* Pinheiral, Pinheiral-RJ, (24) 3356-8202, marcelo.castro@ifrj.edu.br.

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Os sistemas computacionais podem fornecer subsídios para a conservação dos recursos hídricos em sistemas de irrigação, a partir da identificação da melhor uniformidade de distribuição de água observada em simulações entre os possíveis espaçamentos dos emissores. Assim, este trabalho objetivou desenvolver, no laboratório de irrigação do IFRJ *campus* Pinheiral, um sistema computacional em ambiente programação Lazarus, para avaliação e simulação de sobreposição de sprayers de irrigação, denominado SICASSI. O sistema computacional pode trabalhar com três tipos de sprayers (90°, 180° e 360°) determinando suas características de aplicação de água. Ele pode ainda determinar a uniformidade de aplicação de água a partir da simulação da sobreposição entre emissores de um mesmo tipo, em duas disposições (em malha retangular ou em linha lateral isolada) e em duas configurações (com ou sem contribuição de água de emissores adjacentes), totalizando 12 alternativas. A utilização do SICASSI proporciona ao seu usuário uma ferramenta que facilita a avaliação das características de distribuição de água de sprayers, bem como agiliza a tomada de decisão na definição da configuração que proporciona maior economia de água.

PALAVRAS-CHAVE: aplicativo agrícola, uniformidade de aplicação, recursos hídricos

SICASSI - SOFTWARE FOR EVALUATION AND SIMULATION OF OVERLAP OF IRRIGATION SPRAYERS

ABSTRACT: The software can provide subsidies for the conservation of water resources in irrigation systems, from the identification of the best uniformity of water distribution observed in simulations between the possible spacings of the emitters. Thus, the purpose of this study was the development, in the irrigation laboratory of the *campus* Pinheiral IFRJ, of software in Lazarus programming environment, for evaluation and simulation of overlap irrigation sprayers, called SICASSI. The software can work with three types of sprayers (90°, 180° and 360°) determining their water application characteristics. It can also determine the uniformity of water application from the simulation of overlap between emitters of the same type, in two arrangements (in rectangular mesh or in isolated lateral line) and in two configurations (with or without contribution of water from adjacent emitters), totaling 12 evaluation alternatives. The use of SICASSI provides its user a tool that facilitates the evaluation of the water distribution characteristics of sprayers, as well as speed up the decision making in the definition of configuration that provides greater water savings.

KEYWORDS: agricultural software, uniformity of application, water resources

INTRODUÇÃO

Diversos sistemas computacionais foram desenvolvidos para utilização em sistemas de irrigação pressurizada visando seu dimensionamento e sua avaliação (FRIEDMAN et al, 2016; MENEZES, 2005; PATEL et al., 2018; REISDORFER, 2009; ROLIM & TEIXEIRA, 2016; SOUZA, 2005), além de auxiliar a tomada de decisão em agricultura irrigada (ALBUQUERQUE et al., 2011; CASTRO, 2001; MARQUES & MARQUES, 2002; NASCIMENTO et al., 2012; VALNIR JÚNIOR et al., 2017), o que tem permitido maior agilidade e precisão nos cálculos.

O uso desse recurso deve ser ainda mais estimulado para auxiliar a busca de soluções visando o aproveitamento da água para a irrigação com o mínimo de desperdício, estando assim em consonância com a preocupação nacional da utilização racional dos recursos hídricos, uma vez que a irrigação é atualmente o maior consumidor de água do Brasil, sendo responsável por 52% do total de água captada (ANA, 2018).

De forma ideal, toda irrigação deveria proporcionar uma distribuição igualitária de água na área irrigada, não sendo possível, porém, devido a fatores relacionados a engenharia de fabricação dos emissores, condições de instalação, características físicas da área e condições ambientais locais. Deve-se ressaltar que um maior grau de desuniformidade de aplicação de água implicará em um maior gasto deste recurso a fim de compensar a sua falta nas áreas mais secas e evitar o estresse das plantas nestes locais. Entretanto, valores mínimos de uniformidade devem ser respeitados pelos sistemas de irrigação, evitando-se desperdícios fora dos padrões esperados (THOMPSON & ROSS, 2011).

Avaliações da uniformidade de distribuição de água podem ser realizadas em sistemas já implantados, e simulações de previsão das mesmas podem ser obtidas antes da instalação do sistema o que pode auxiliar o técnico na escolha do melhor espaçamento a ser estabelecido entre emissores (BERNARDO et al., 2005) minimização a quantidade de água aplicada sem prejudicar a produtividade.

Recentemente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 8026 que trata dos procedimentos para a avaliação de emissores de irrigação do tipo *sprayers* (ABNT, 2016). A grande maioria dos sistemas computacionais disponíveis que podem avaliar o desempenho destes tipos de emissores, como aqueles apresentados por Allen (1992) e Menezes (2005), atendem essa norma de forma limitada, pois não contemplam emissores setoriais, bastante comuns em irrigação paisagística e agrícola de áreas pequenas. Assim, esse trabalho objetivou desenvolver um sistema computacional para avaliar as características da distribuição de água de *sprayers* de irrigação e realizar simulações de sobreposição dos mesmos, obtendo a respectiva uniformidade de distribuição de água, a partir da avaliação de campo de emissores individuais do tipo setorial ou de círculo cheio (360°), fornecendo subsídios para o uso racional da água em sistemas de irrigação com os mesmos.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema computacional foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação do IFRJ *campus* Pinheiral, Pinheiral-RJ, em ambiente de programação Lazarus v1.8.4., que é um ambiente de desenvolvimento integrado, multiplataforma, de código aberto profissional para criação de aplicações com *Pascal Free*, compatível com o Delphi®, estando disponível gratuitamente em <https://www.lazarus-ide.org/>.

O fluxograma geral do sistema computacional é apresentado na Figura 1 e sintetiza as etapas de sua criação: 1) leitura dos dados de campo da avaliação e identificação do tipo de *sprayer*; 2) avaliação do *sprayer* individualmente, determinando os raios molhados, lâminas

aplicadas e perfis de molhamento; 3) simulação de sobreposições, a partir da geração dos quadrantes molhados e dos espaçamentos desejados - para o caso de emissores setoriais, os quadrantes faltantes (por exemplo, três para os tipos setoriais de 90°, e dois para os tipos setoriais de 180°) são criados pela rotação apropriada dos dados fornecidos.

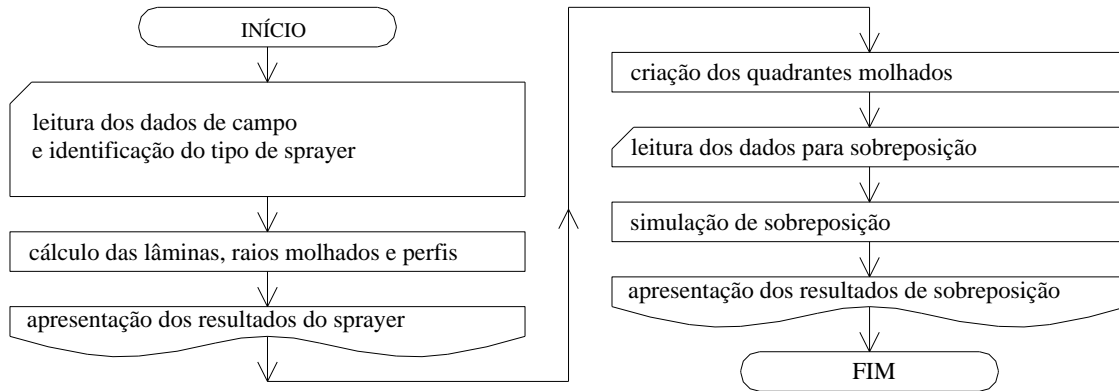


Figura 1. Fluxograma geral do sistema computacional.

Na entrada de dados, o sistema computacional é capaz de ler os valores coletados nos pluviômetros em volume ou em massa. Entretanto, quando os valores são fornecidos em massa, é necessário a sua conversão para volume a fim de possibilitar o cálculo da respectiva lâmina. Isso é feito por intermédio da equação 1, que utiliza a equação 2 para fornecer o valor da massa específica da água. A equação 2 foi obtida por ajuste polinomial da relação entre a temperatura e a massa específica da água a partir dos dados apresentados por Azevedo Netto et al. (1998), e apresenta $r^2 = 1,000$.

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (1)$$

em que,

V – volume, m^3 ;

M – massa de água coletada, kg, e,

ρ – massa específica da água, $kg\ m^{-3}$, dada por:

$$\rho = 0,00003T^3 - 0,00721T^2 + 0,04738T + 999,93 \quad (2)$$

em que,

T – temperatura da água, °C.

Na definição do raio molhado, ou raio de alcance, a maior distância de aplicação de água do sprayer é considerada levando-se em consideração uma intensidade de aplicação mínima de $0,13\ mm\ h^{-1}$, para emissores com vazão máxima de $75\ L\ h^{-1}$, ou de $0,26\ mm\ h^{-1}$ para emissores com vazões superiores a este valor, conforme apresentado pela ABNT (2016). Uma vez que os sprayers podem ter um raio de molhamento de alcance irregular, o sistema computacional determina o raio máximo contínuo de molhamento, isto é, o máximo alcance em todas as direções ao redor do sprayer avaliado, considerando-se suas características setoriais quando for o caso, que atenda ao critério anterior de intensidade de aplicação mínima. Este raio máximo contínuo de molhamento garante que não haverá área seca em seu interior, o que nem sempre é observado no raio de alcance definido pela ABNT (2016).

O sistema computacional foi desenvolvido para permitir avaliações de sprayers de círculo cheio (360°) e setoriais de 90° e de 180°, em operações em malha quadrada e retangular ou em linha lateral isolada, podendo-se definir ainda se a sobreposição utilizará todos os emissores que contribuem com água na área avaliada ou se utilizará apenas os emissores dispostos nos cantos da mesma; no caso de linha lateral isolada, pode-se definir a distância paralela a lateral a ser considerada nos cálculos (Figura 2). Foi considerado que as malhas dos sistemas com emissores setoriais sejam compostas de apenas duas laterais. Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) são determinados respectivamente pelas equações 3 e 4, fornecidas por Bernardo et al. (2005).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{NL_m} \right) \quad (3)$$

$$CUD = 100 \frac{L_q}{L_m} \quad (4)$$

em que,

N – número de coletores;

L_i – lâmina coletada no ponto “i”, mm;

L_m – lâmina média de todos os coletores, mm, e

L_q – lâmina média do menor quartil, mm.

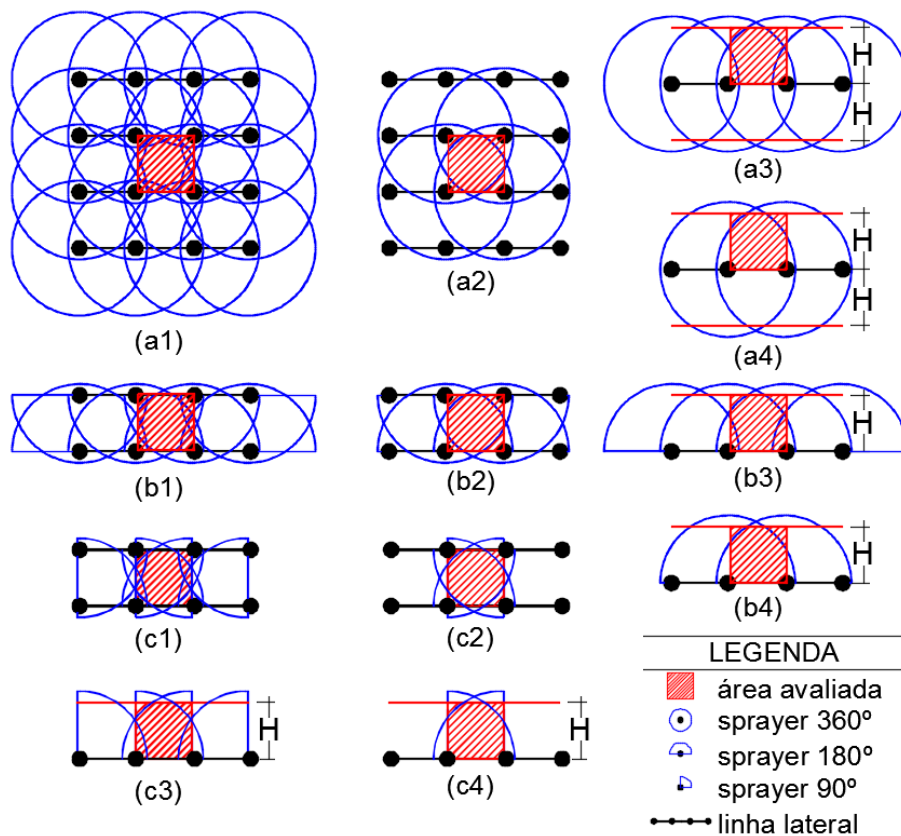


Figura 2. Exemplo dos casos de avaliação abrangidos pelo sistema computacional: a1) molhamento em malha com emissores de 360° e com contribuição lateral; a2) molhamento em

malha com emissores de 360° sem contribuição lateral; a3) molhamento em linha com emissores 360° e com contribuição lateral; a4) molhamento em linha com emissores 360° sem contribuição lateral; b1) molhamento em malha com emissores setoriais de 180° e com contribuição lateral; b2) molhamento em malha com emissores setoriais de 180° sem contribuição lateral; b3) molhamento em linha com emissores setoriais de 180° e com contribuição lateral; b4) molhamento em linha com emissores setoriais de 180° sem contribuição lateral; c1) molhamento em malha com emissores setoriais de 90° e com contribuição lateral; c2) molhamento em malha com emissores setoriais de 90° sem contribuição lateral; c3) molhamento em linha com emissores setoriais de 90° e com contribuição lateral; c4) molhamento em linha com emissores setoriais de 90° sem contribuição lateral; sendo H a distância à linha lateral considerada nas avaliações em linha.

A fim de visualizar graficamente o padrão de molhamento do emissor e o resultado das sobreposições simuladas, o sistema computacional possibilita a exportação dos resultados em arquivo para manuseio no software gráfico Surfer® (GOLDEN, 2019). Permite também a exportação dos resultados em arquivo do perfil de molhamento do sprayer para a planilha eletrônica Microsoft Excel®.

Para a validação do sistema computacional, os resultados da uniformidade de distribuição (CUC e CUD) de simulações obtidos com emissores 360° com contribuição lateral (configuração a1 da Figura 2) foram comparados com os do programa Catch3D (ALLEN, 1992), e os demais casos com simulações realizadas em planilha eletrônica Microsoft Excel®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a tela inicial do sistema computacional desenvolvido, denominado SICASSI, composto por um total de 11 telas e capaz de atender às 12 situações mostradas na Figura 2. As telas de configurações, de entrada de dados para sprayers setoriais de 180°, de informações de simulações também para sprayers setoriais de 180° e de resultados são apresentadas respectivamente nas Figura 4, 5, 6 e 7; as telas de entrada de dados e de simulações para sprayers de 90° e de 360° são similares às dos sprayers de 180°.



Figura 3. Tela de abertura do sistema computacional desenvolvido.

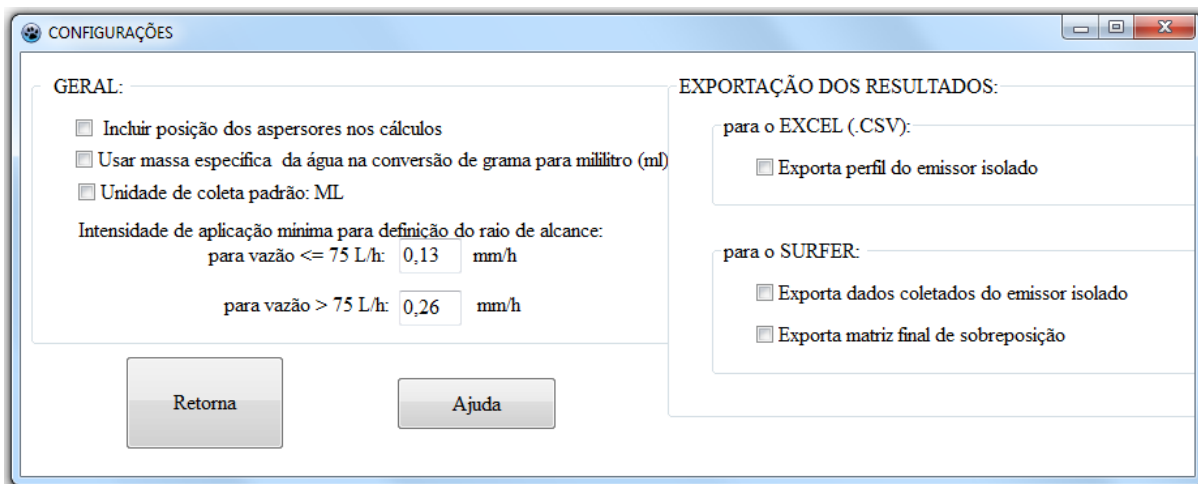


Figura 4. Tela de configurações do SICASSI.

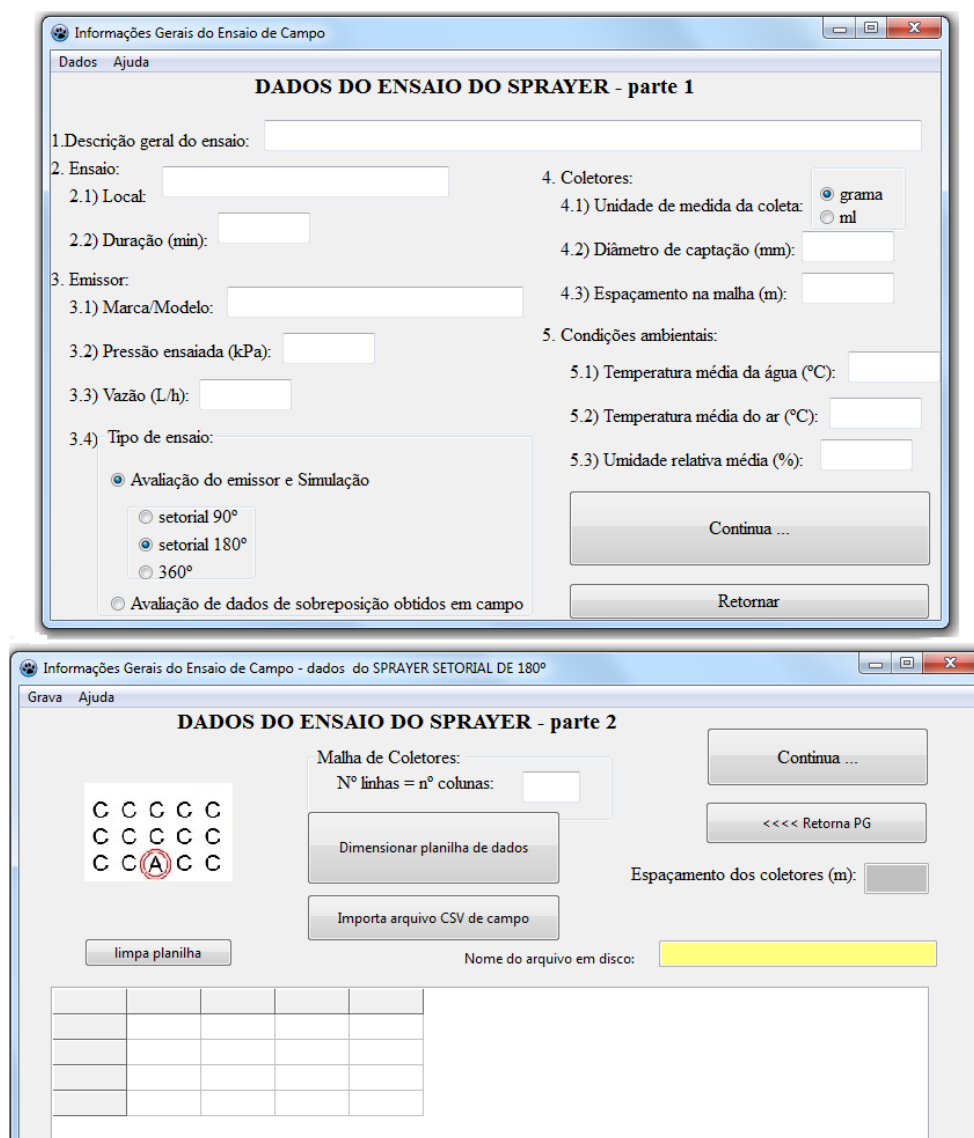


Figura 5. Telas de entrada de dados específicas para sprayers setoriais de 180°.

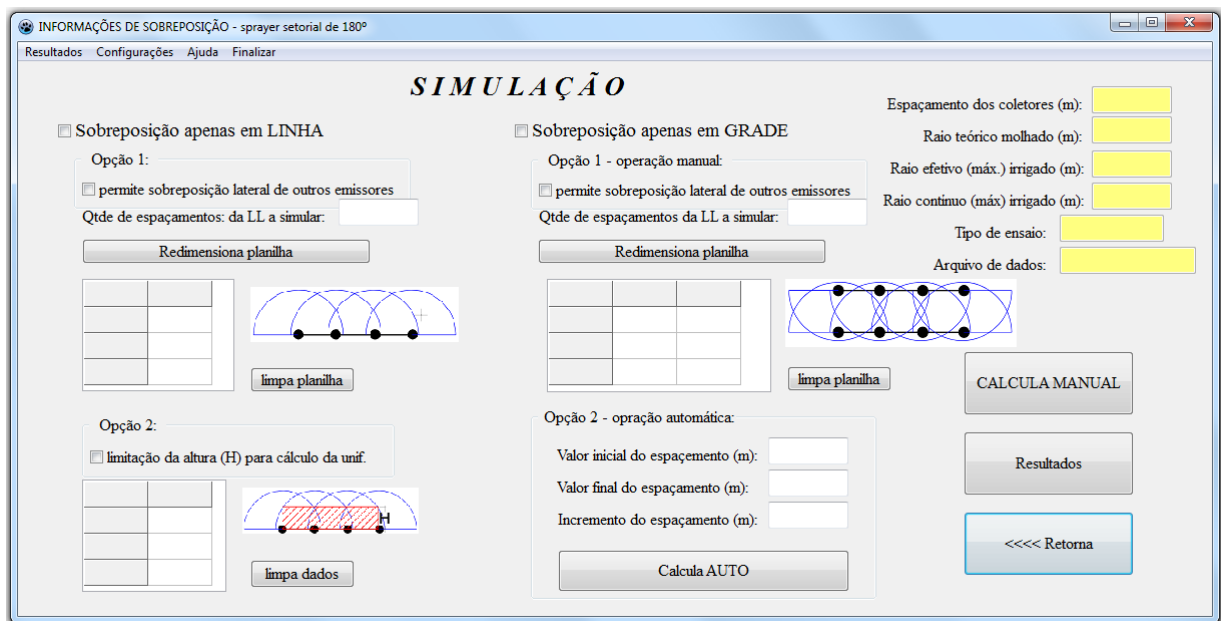


Figura 6. Tela de simulação de sobreposição para sprayers setoriais de 180°.

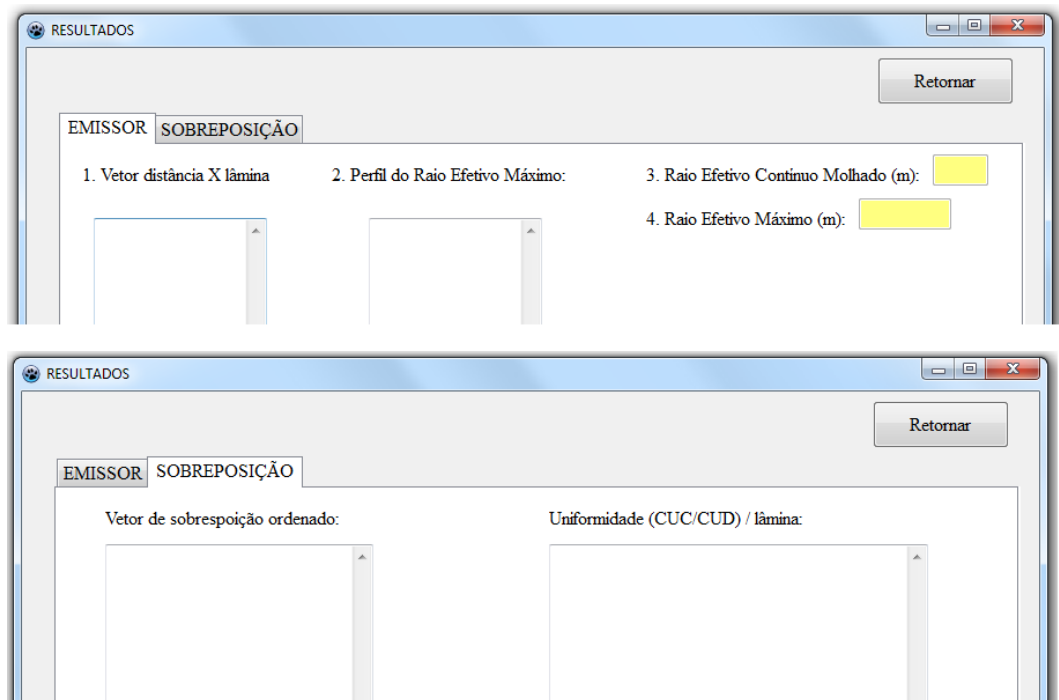


Figura 7. Tela de resultados do SICASSI organizada em abas para o emissor e sobreposição.

Na validação do SICASSI, observou-se que seus resultados foram sempre idênticos aos do Catch3D (ALLEN, 1992) e às das simulações realizadas em planilha eletrônica.

A possibilidade de entrada dos dados coletados em massa, e sua posterior conversão automática em volume utilizando a massa específica da água em função da temperatura (Figura 4), possibilita um fornecimento de dados mais refinados tornando o SICASSI adequado também para finalidades científicas de pesquisa.

A possibilidade de avaliação de emissores setoriais, de utilização de linhas laterais isoladas e da opção de não levar em consideração a contribuição de água de emissores adjacentes a área avaliada (como mostrado nas situações a2, a4, b2, b4, c2 e c4 da Figura 2) permite que o sistema computacional desenvolvido seja utilizado em áreas pequenas, como

aquelas utilizadas em muitos viveiros de produção de mudas e em áreas estreitas de jardins de irrigação paisagística, ampliando seu campo de utilização além das tradicionais áreas agrícolas exemplificadas na situação a1 da Figura 2.

Embora o sistema computacional desenvolvido objetive o estudo de sprayers de irrigação, ele pode ser também aplicado para auxiliar a avaliação da característica de distribuição de água de microaspersores e de aspersores agrícolas, uma vez que o modelo de ensaio de campo segue o mesmo princípio para todos, onde se coloca o emissor no lugar do coletor situado no centro da malha de coletores (ABNT, 2000; ABNT, 2004; ABNT, 2016). Entretanto, o critério para definição do raio de alcance de microaspersores, dado pela ABNT (2004), é um pouco diferente daquele utilizado para os sprayers, definido pela ABNT (2016), onde a diferença reside no valor da intensidade de aplicação mínima (IA_{mn}) para emissores com vazão superior a 75 L h^{-1} : no caso de microaspersores, $IA_{mn} = 0,25 \text{ mm h}^{-1}$, e no caso de sprayers, $IA_{mn} = 0,26 \text{ mm h}^{-1}$. A fim de permitir o uso adequado do SICASSI também na determinação do raio de alcance de microaspersores, é possível definir o valor da IA_{mn} na tela “configurações” do SICASSI (Figura 4). O sistema computacional desenvolvido não é adequado, todavia, para a determinação do diâmetro efetivo de aspersores de círculo total (360°) pelo método de campo, uma vez que este parâmetro é determinado pela média de quatro direções (ABNT, 2000), o que não é executado pelo SICASSI.

Para fins de demonstração de utilização do sistema computacional desenvolvido, aplicou-se o SICASSI na avaliação de um sprayer onde se deseja estimar, por meio de simulações, a uniformidade de distribuição de água do mesmo na irrigação de um pequeno viveiro retangular de $5,0 \times 1,0 \text{ m}$, estudando-se duas configurações alternativas: configuração A) colocando-se um emissor em cada canto da área, em conformação semelhante a c2 apresentada na Figura 2 (sistema em malha sem contribuição lateral); configuração B) colocando-se apenas dois emissores ao longo de uma única linha lateral de $5,0 \text{ m}$ de extensão, limitando a avaliação a $1,0 \text{ m}$ de largura (sistema em linha com limitação de altura, sendo $H = 1,0 \text{ m}$), semelhante a conformação c4 da Figura 2. Foi empregado o sprayer setorial de 90° , marca Fabrimar, modelo Sempre Verde, pressão de operação de 150 kPa , cujos dados foram obtidos no laboratório de irrigação do IFRJ campus Pinheiral. O SICASSI relatou que o alcance máximo irrigado é de $5,55 \text{ m}$ e o alcance máximo contínuo irrigado ao redor do emissor sem a presença de valores nulos é de $1,95 \text{ m}$, evidenciando-se que o padrão de aplicação de água desse sprayer não é uniforme, devendo-se, portanto, ser cuidadoso na avaliação/aplicação do mesmo. Os valores do CUC, do CUD e da intensidade de aplicação determinados pelo SICASSI foram respectivamente de 80% , 69% e 43 mm h^{-1} , para a configuração A, e 45% , 21% e 21 mm h^{-1} , para a configuração B. Thompson & Ross (2011) mencionam que, de forma geral, o CUD mínimo ideal para sistemas de irrigação com sprayers é de 65% , o que é atendido apenas na configuração A, sendo esta então a disposição de uso recomendada neste caso. A utilização da configuração B implicará em um consumo de água que será 55% maior do que a da configuração A, segundo procedimento apresentado por esses autores. A Figura 8 apresenta os isogramas dos padrões de cobertura do emissor individual e das sobreposições, obtidos no SURFER[®] a partir das informações geradas e exportados pelo SICASSI. Nas Figuras 8b e 8c, pode-se visualizar os locais de sobre irrigação (principalmente nas posições aproximadas de $0,75 \times 1,25 \text{ m}$ e de $0,25 \times 3,25 \text{ m}$, na Figura 8b, e de $1,0 \times 2,5 \text{ m}$ na Figura 8c) e de sub irrigação (principalmente nos cantos da área nas Figuras 8b e 8c e na posição aproximada de $0,0 \times 2,0 \text{ m}$ na Figura 8c).

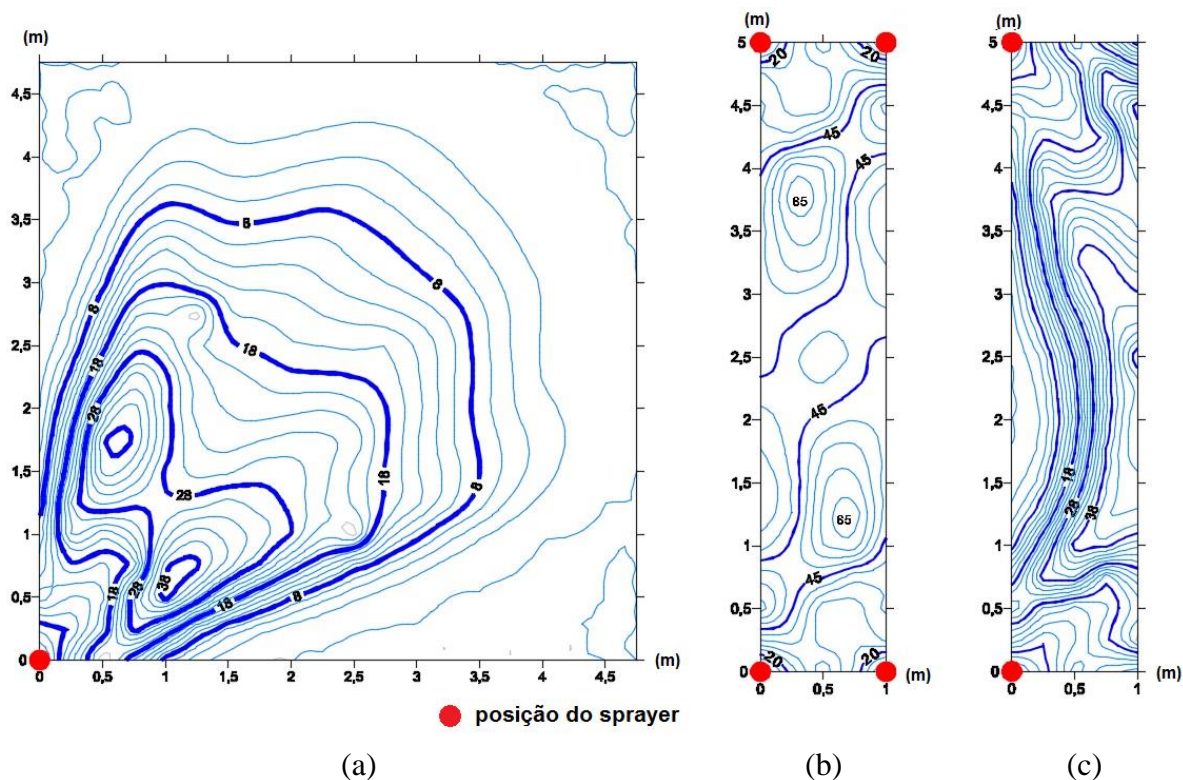


Figura 8. Isogramas das lâminas (mm h^{-1}) do sprayer setorial de 90° utilizado como exemplo, produzidos pelo SURFER[®] a partir de informações geradas pelo SICASSI: a) padrão de cobertura individual; b) sobreposição em malha para espaçamento de 5,0 X 1,0 m sem contribuição lateral; c) sobreposição em linha para o espaçamento de 5,0 x 1,0 m sem contribuição lateral.

CONCLUSÕES

O sistema computacional desenvolvido auxilia a obtenção das características de distribuição de água de sprayers do tipo 360° , 180° e 90° , facilitando sua avaliação; possibilita também a determinação rápida e eficaz dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água e da intensidade de aplicação, a partir da simulação de sobreposição dos mesmos em configurações variadas, facilitando a tomada de decisão para definição do melhor espaçamento/configuração visando a conservação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018:** informe anual. Brasília, 2018. 72p.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; FARIA, C. M.; COELHO, E. A. **Utilização do Software Irrigafácil para Manejo de Irrigação.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 36 p. (Documentos, 128).
- ALLEN, R. G. **CATCH3D - Sprinkler overlap program:** user's manual. Logan: Utah State University, 1992. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 7749-1 Equipamentos de irrigação agrícola - aspersores rotativos;** parte 1: requisitos para projetos e operação. Rio de Janeiro, 2000. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15084 Irrigação localizada - microaspersores - requisitos gerais e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2004. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8026:2016 - Equipamentos de irrigação agrícola - Sprayers - requisitos gerais e métodos de ensaio**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2016. 20p.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 611p.

CASTRO, M. C. **Sistema computacional para determinação da lâmina econômica ótima em irrigação pressurizada**. Lavras, 2001. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras.

FRIEDMAN, S. P.; COMMUNAR, G.; GAMLIEL, A. DIDAS – User-friendly software package for assisting drip irrigation design and scheduling. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 120, p. 36–52, 2016.

GOLDEN. **Surfer: user's guide**. Golden-CO: Golden Software, 2019. Disponível em: <<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

MENEZES, P. L. **Programa computacional para simulação da uniformidade de aplicação de água em irrigação por aspersão convencional e microaspersão**. Cascavel, 2005. 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

NASCIMENTO, P. S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. S. Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 1-15, jan-mar, 2012.

PATEL, N.; RAJPUT1, T. B. S.; DINKAR, D. K.; RAM, S. DOMIS: a decision support system for design and cost estimation of micro-irrigation systems. **Current Science**, Bengaluru-Índia, v. 115, n. 12, p. 2240-2249, 25 Dec. 2018.

REISDORFER, M. **Programa computacional (PROIRRIGA) para avaliação da uniformidade em irrigação por gotejamento e sua validação**. Cascavel, 2009. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

ROLIM, J.; TEIXEIRA, J. L. The design and evaluation of travelling gun irrigation systems: Enrolador software. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 917-927, 2016.

SOUZA, R. O. R. M. **Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento com microtubos**, Piracicaba, 2005. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

THOMPSON, K. K.; ROSS, G. A. Performance Audits. In: STETSEN, L.E.; MECHAM, B.Q. (ed). **Irrigation**. 6. ed. Fall Church: Irrigation Association, 2011. p.565-611.

VALNIR JUNIOR, M.; RIBEIRO, F. C.; ROCHA, J. P. A; LIMA, S. C. R. V.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R. Desenvolvimento de um software para o manejo da microirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 2, p. 1324 - 1330, 2017.