

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DA
UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL E MICROASPERSÃO

PAULO LOPES DE MENEZES

CASCADEL - PR

2005

PAULO LOPES DE MENEZES

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DA
UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL E MICROASPERSÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio
Vilas Boas

Co-Orientador: Prof. Dr. Benedito Martins
Gomes

CASCADEL – Paraná - Brasil

Agosto – 2005

PAULO LOPES DE MENEZES

“Programa computacional para simulação da uniformidade de aplicação de água em irrigação por aspersão convencional e microaspersão”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
UEM – Maringá - PR

Prof. Dr. Silvio César Sampaio
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Eurides Küster Macedo Júnior
UNIOESTE/CCA – Marechal Cândido Rondon - PR

Cascavel, 04 de agosto de 2005.

*A Josi Marcon, minha noiva,
pela compreensão tão necessária
neste período e que, mais que
todos, incentivou e me deu forças
para a realização deste trabalho.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas, pelo incentivo, orientação, apoio, ensinamentos e confiança depositada.

Ao co-orientador Prof. Dr. Benedito Martins Gomes, pelo apoio demonstrado;

Ao CEFET-PR - Unidade de Medianeira, pela oportunidade de desenvolvimento pessoal;

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE, com quem tivemos a grata satisfação de conviver e aprender;

A todos os colegas do CEFET-PR – Unidade de Medianeira que, de alguma maneira, contribuíram para tornar este trabalho possível, em especial ao amigo Nelson Miguel Betzek.

A Deus, acima de tudo.

SUMÁRIO

<u>LISTA DE FIGURAS.....</u>	<u>7</u>
<u>LISTA DE TABELAS.....</u>	<u>10</u>
<u>RESUMO</u>	<u>12</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>13</u>
<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>2</u>
<u>2.1 A IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO.....</u>	<u>2</u>
<u>2.2 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....</u>	<u>6</u>
<u>2.3 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.....</u>	<u>8</u>
<u>2.3.1 Aspersores.....</u>	<u>9</u>
<u>2.4 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....</u>	<u>10</u>
<u>2.5 EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA.....</u>	<u>13</u>
<u>2.6 IMPORTÂNCIA DO SOFTWARE COMO FERRAMENTA.....</u>	<u>14</u>
<u>2.6.1 Programas Computacionais Aplicados à Irrigação por Aspersão e Localizada.....</u>	<u>15</u>
<u>2.7 ESPAÇAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS ASPERSORES E MICROASPERSORES.....</u>	<u>16</u>
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>18</u>
<u>3.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO.....</u>	<u>18</u>
<u>3.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO.....</u>	<u>19</u>
<u>3.3 ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA.....</u>	<u>19</u>
<u>3.4 GERAÇÃO DE GRÁFICOS.....</u>	<u>21</u>
<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>23</u>
<u>4.1 O PROGRAMA COMPUTACIONAL RADGRID-3D.....</u>	<u>23</u>
<u>4.2 SIMULAÇÃO DO PROGRAMA COM DADOS DE ENSAIO REAIS.....</u>	<u>29</u>
<u>4.2.1 Ensaio em Malha e Radial para Aspersor.....</u>	<u>29</u>
<u>4.2.2 Ensaio Radial para Microaspersor.....</u>	<u>38</u>
<u>4.2.3 Comparação entre o CATCH-3D e o Programa Desenvolvido.....</u>	<u>52</u>
<u>5 CONCLUSÃO.....</u>	<u>56</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Brasil: área plantada e produção de grãos, fibras e oleaginosas.....	3@~
Figura 2 - Estrutura geral do programa.....	20@~
Figura 3 - Tela de abertura do programa.....	24@~
Figura 4 - Tela de parâmetros do projeto.....	25@~
Figura 5 - Tela de entrada de dados para ensaio radial.....	26@~
Figura 6 - Tela de entrada de dados para ensaio de grid.....	27@~
Figura 7 - Tela com o gráfico do perfil de distribuição de água (em mm) do microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm a uma pressão de 350 kPa e espaçamento entre coletores de 0,50 m, gerado pelo programa.....	29@~
Figura 8 - Tela com a entrada dos parâmetros e tela de entrada dos volumes de água dos coletores (em cm ³) do ensaio radial do aspersor ZAD-30	31@~
Figura 9 - Tela com a entrada dos parâmetros e tela de entrada dos volumes de água dos coletores (em cm ³) do ensaio em malha do aspersor ZAD-30.....	31@~
Figura 10 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água aplicada (em mm) sem sobreposição no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30.....	32@~
Figura 11 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 6 x 12 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30.....	33@~
Figura 12 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 12 x 12 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30.....	33@~

- Figura 13 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 12 x 18 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30..... 34@~
- Figura 14 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 18 x 18 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30..... 35@~
- Figura 15 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 18 x 24 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30..... 35@~
- Figura 16 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 24 x 24 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30..... 36@~
- Figura 17 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 24 x 30 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30..... 37@~
- Figura 18 - Valores de CUC obtidos no programa para vários espaçamentos no ensaio em malha e radial, para o aspersor ZAD-30..... 38@~
- Figura 19 - Gráfico do perfil de distribuição de água (em mm) do microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm a uma pressão de 350 kPa e espaçamento entre coletores de 0,50 m, gerado pelo programa..39@~
- Figura 20 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 1,5 x 3,0 m.....45@~
- Figura 21 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 3,0 m.....46@~
- Figura 22 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 4,5 m.....47@~

- Figura 23 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 4,5 m.....48@~
- Figura 24 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 6,0 m.....49@~
- Figura 25 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 6,0 m.....49@~
- Figura 26 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 7,5 m.....50@~
- Figura 27 - Telas de entrada de dados de ensaio radial no programa RADMALHA-3D, em cm³ e CATCH-3D, em ml..... 53@~
- Figura 28 - Gráfico da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no CATCH-3D..... 55@~
- Figura 29 - Gráfico da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no RADGRID-3D..... 55@~

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de região, população, superfície e disponibilidade de água.....	3@~
Tabela 2 - Índices de eficiência nos processos de irrigação.....	4@~
Tabela 3 - Evolução das áreas irrigadas no Brasil.....	5@~
Tabela 4 - Participação da irrigação no setor agrícola brasileiro (Ha) –1996 a 1998.....	6@~
Tabela 5 - Classificação dos valores de UD para sistemas de irrigação localizada.	12@~
Tabela 6 - Variáveis de entrada e saída do programa.....	20@~
Tabela 7 - Volumes em cm ³ , medidos para cada coletor de 8,33 cm de diâmetro, espaçados de 2 m no ensaio radial do aspersor ZAD-30 a uma pressão de 200 Kpa com duração de 1 hora usado na simulação.....	30@~
Tabela 8 - Volumes em cm ³ , medidos para cada coletor de 8,33 cm de diâmetro, espaçados de 2 m no ensaio em malha do aspersor ZAD-30 a uma pressão de 200 kPa com duração de 1 hora, usado na simulação	30@~
Tabela 9 - Valores de CUC obtidos no programa para vários espaçamentos no ensaio em malha e radial, para o aspersor ZAD-30.....	37@~
Tabela 10 - Valores dos volumes coletados para o ensaio radial uniforme...38@~	38@~
Tabela 11 - Valores de lâminas (em mm) projetadas pelo programa, por meio da interpolação linear, para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, em ensaio radial, a uma pressão de 350 kPa com 9 coletores de 10 mm espaçados de 0,5 m com 8 coletores.....	40@~
Tabela 12 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 1,5 x 3,0 m.....	41@~

Tabela 13 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 3,0 m.....	41@~
Tabela 14 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 4,5 m.....	41@~
Tabela 15 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 4,5 m.....	42@~
Tabela 16 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 6,0 m.....	42@~
Tabela 17 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 6,0 m.....	43@~
Tabela 18 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 7,5 m.....	43@~
Tabela 19 - Resultado da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no CATCH-3D.....	53@~
Tabela 20 - Resultado da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no RADGRID-3D.....	54@~

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um programa computacional em ambiente gráfico para determinação da uniformidade e eficiência de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão e por microaspersão. O programa foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual Basic*. E buscou-se desenvolver uma interface amigável ao usuário e gerar gráficos de uniformidade em ensaios com distribuição dos coletores em malha e radial. Para a geração de gráficos tridimensionais foi utilizada uma biblioteca externa ao *Visual Basic*, destinada a gerar gráficos especializados a partir de informações passadas como parâmetro em tempo de execução do programa. No programa foi implementada uma rotina para fazer a interpolação linear das lâminas coletadas no ensaio radial projetando as demais medidas, gerando uma matriz quadrada, para traçar o perfil de distribuição do aspersor ou microaspersor em teste e a uniformidade e eficiência de distribuição de água para diversos espaçamentos com sobreposição de lâminas. Uma série de dados de ensaios reais de laboratório para aspersor e microaspersor, em distribuição radial e malha, foi submetida ao programa a fim de testar a sua sensibilidade e foi observado que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) diminui à medida que aumenta o espaçamento; que o ensaio com distribuição radial de coletores é estatisticamente equivalente ao ensaio com distribuição em malha e que o programa apresenta coerência nas informações geradas por meio da comparação de seus resultados com os valores pressupostos e gerados pelo programa CATCH-3D.

Palavras-chave: Coeficiente de Christiansen, manejo de irrigação, irrigação por microaspersão, programa computacional.

ABSTRACT

This study was aimed for developing a computing program in graphic atmosphere to determine the uniformity and efficiency of water distribution in the irrigation system by sprinkler and trickle. The program was developed in the Basic Visual programming language where it was aimed to make a friendly interface for the user and generate graphics of uniformity in tests with distribution in mesh and radial collectors. To generate three-dimensional graphics it was used an external library to Visual Basic, destined to generate specialized graphics from past information as a parameter in time of the program execution. In the program a routine was implemented to make the linear interpolation of the collected blades in the radial test projecting the other measures, generating a square mould, to draw the distribution profile of the sprinkler or trickle in test and the uniformity and efficiency of water distribution to the several spacings with blade coverings. A series of data and real laboratory test for sprinkler and trickle irrigation, in radial and mesh distributions were submitted to the program aiming to test their sensitivity, where it was observed that the Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC) reduces as the space increases; that the test with radial distribution of collectors is statistically equivalent to the test with mesh distribution and that the program presents coherence in the information gotten through the comparison of their results with the presupposition values and generated by the program CATCH-3D.

Keywords: Christiansen's Uniformity Coefficient, irrigation handling, sprinkler irrigation, microslinker irrigation, computing program.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento e operação de um projeto de irrigação pelo qual se busque a máxima produção e a boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requer conhecimentos das inter-relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo de irrigação. Muita tecnologia e ciência têm sido utilizadas para determinar o momento correto e a quantidade de água a ser aplicada para suprir às necessidades das culturas, mantendo elevados níveis de eficiência de aplicação e de uniformidade de distribuição de água.

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros básicos do manejo da irrigação e sua importância se destaca à medida que cresce o custo e a ênfase dada à conservação da água, tema inclusive de fóruns mundiais sobre recursos hídricos. Dessa forma, com o avanço da ciência e da tecnologia tem-se buscado desenvolver ferramentas para precisar esse parâmetro. Diante disso, o computador, como ferramenta versátil que é, vem ocupando cada vez mais espaço no trabalho dos projetistas e pesquisadores de irrigação, com programas que automatizam cálculos e aceleram o processo de tomada de decisão. Na maioria das vezes, por falta de programas específicos, utilizam-se de programas de propósito geral, como planilhas eletrônicas e editores de texto que ajudam, mas não concentram todos os recursos necessários para determinadas situações.

Existem poucos programas específicos para o estudo da irrigação por aspersão e microaspersão. Por essa razão, foi estabelecido como objetivo para este trabalho o desenvolvimento de um programa que irá diminuir essa carência, facilitando o estudo e a avaliação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em projetos de irrigação por aspersão e microaspersão, servindo como uma ferramenta que auxiliará técnicos, pesquisadores e alunos da área de engenharia agrícola a desenvolverem as suas atividades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

A tecnologia de irrigação, desde que adequadamente desenvolvida e adaptada, oferece um instrumento capaz de promover transformação social e econômica no meio rural, gerando novos empregos, elevando a renda do agricultor e a oferta de produtos agrícolas. Essa tecnologia tem por finalidade suprir água às culturas, na quantidade necessária e no momento conveniente, procurando manter elevados níveis de eficiência de aplicação e de uniformidade de distribuição da água (MATOS et al. 1999).

A migração da população brasileira do campo para a cidade e a industrialização, além de exercerem significativa demanda das águas dos mananciais, também exigiram o crescimento do parque gerador de energia elétrica, que, por sua vez, implicou a necessidade de aproveitamentos hidrelétricos. Adicionalmente, o aumento da população reclamou maior produção de alimentos, o que veio encontrar na agricultura irrigada o canal apropriado para satisfazer a essa demanda.

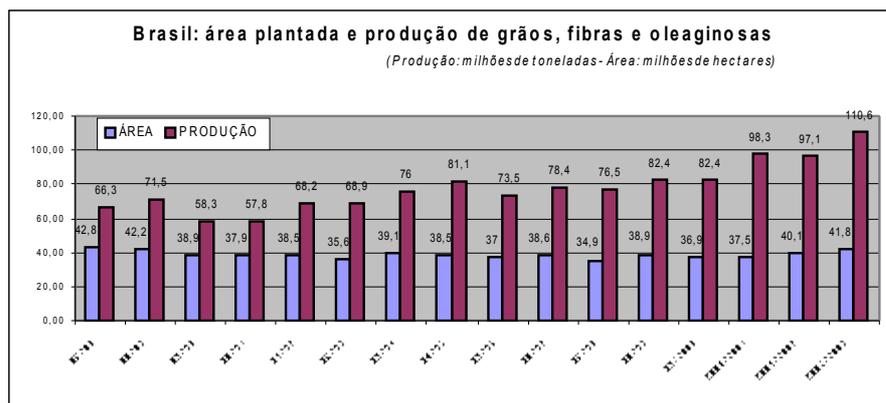


Figura 1 - Brasil: área plantada e produção de grãos, fibras e oleaginosas

O gráfico da Figura 1 mostra a evolução da área destinada ao plantio, em relação à evolução da produção. Isto comprova que a irrigação possibilita o aumento da produção sem a necessidade de aumento da área destinada ao plantio. Em 2002, obteve-se uma produção de 110 milhões de toneladas. Para 2004 a previsão era de, aproximadamente 140 milhões. É certo que a tecnologia envolvida na produção de sementes e nos processos de cultivo contribui para essa otimização, da mesma forma que a irrigação contribui para o incremento na produção, fornecendo à lavoura somente a quantidade de água necessária, sem desvios, sem desperdícios, utilizando-se sistemas de irrigação adequados. A relação entre o que é extraído do manancial do solo e o que é destinado à planta, sem desperdício, é chamada de eficiência. (BRUNHEROTO, 2004)

Na Tabela 1 observa-se que a água está mais disponível nas regiões em que se tem a menor parte da população e terras agricultáveis.

Tabela 1 - Comparativo de região, população, superfície e disponibilidade de água

Região	População	Superfície	Água	Pivôs-2003	
	%	%	%	Unid	%
Norte	7,0	45,3	68,5	3	0,3

Nordeste	28,9	18,3	3,3	107	12,4
Sudeste	42,7	10,8	6,0	431	49,9
Centro Oeste	6,4	18,8	15,7	289	33,5
Sul	15,1	6,8	6,5	33	3,8
TOTAL				863	

Fonte: CONAB/Elaboração: CNA/Decon

Ainda, segundo BRUNHEROTO (2004), os processos de irrigação, que inicialmente eram realizados por inundação ou sulcos, evoluíram e foram surgindo as irrigações por carretel, irrigação por pivô central, que trouxeram como evolução os emissores tipo LEPAS e, por fim, a irrigação localizada, realizada por gotejamento e microaspersão, cujos valores de eficiência estão descritos na Tabela 2. Como acessórios para sistemas de irrigação, tem-se disponível uma gama de ferramentas para gerenciamento e operação do sistema. São sensores de umidade de solo e estações meteorológicas acopladas a computadores que ajudam o operador a decidir o momento de iniciar a irrigação e o quanto aplicar de água.

Tabela 2 - Índices de eficiência nos processos de irrigação

Tipo de Irrigação	Área (mil ha)	Eficiência
Inundação	1.655	50%
Convencional	615	75%
Pivô Central	651	88%
Localizada	248	92%
TOTAL	3.147	

Fonte: CONAB /Elaboração: CNA/Decon

O Código das Águas de 1934, ao incluir a indústria de energia elétrica entre os serviços de utilidade pública e instituir o regime de concessão para sua exploração, criou condições para as grandes obras hidráulicas no país. Em todos os aproveitamentos hidráulicos concebidos, o objetivo predominante era a geração de energia elétrica. Como a construção das obras hidráulicas contemplou prioritariamente a geração de energia elétrica, as obras de irrigação desenvolveram-se lentamente, inclusive, em razão de recursos insuficientes.

A evolução da área irrigada no Brasil é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Evolução das áreas irrigadas no Brasil

ANO	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1994	1995	1996	1997	1998
Área Irrigada (10 ³ hectares)	64	141	320	545	796	1100	1600	2100	2700	2800	2600	2656	2756	2870
Taxa de crescimento (% ao ano)		17,11	17,81	11,23	7,87	6,68	7,78	5,59	5,15	0,91	-7,14	2,15	3,77	4,14

Fonte: CHRISTOFIDIS (1999).

Constituindo uma técnica que proporciona alcançar a máxima produção, em complementação às demais práticas agrícolas, a irrigação tem sido alvo de considerável interesse, principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Sul do Brasil. De fundamental importância para a produção agrícola em regiões áridas, a irrigação vinha sendo constantemente relegada a um plano secundário nas regiões em que, sob certas condições, a precipitação natural permitia que as culturas se desenvolvessem e produzissem normalmente.

O aumento do custo da terra, aliado ao considerável capital necessário à exploração agrícola, não permite mais que a produção final dependa da ocorrência ou não de um regime de precipitação adequado. Por essa razão, a nova tendência do meio empresarial agrícola tem sido a de aumento do interesse pela prática da irrigação que, além de reduzir os riscos, proporciona outras vantagens significativas ao produtor irrigante.

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário.

Segundo MEDEIROS e GOMES (1999), apesar do decréscimo significativo da área plantada no país, da ordem de 8,90% ao ano, as áreas irrigadas sofreram uma taxa de crescimento de 3,95% ao ano, no período de 1996 a 1998. A Tabela 4 mostra a participação da irrigação no setor agrícola brasileiro.

Tabela 4 - Participação da irrigação no setor agrícola brasileiro (Ha) –1996 a 1998

Região	1996			1997			1998		
	Irrigada (I)	Plantada (P)	I/P	Irrigada (I)	Plantada (P)	I/P	Irrigada (I)	Plantada (P)	I/P
Norte	78.360	2.214.440	3,54%	81.850	2.254.299	3,63%	86.660	2.156.271	4,02%
Nordeste	428.460	14.228.910	3,01%	455.820	12.362.022	3,69%	495.370	8.592.553	5,77%
Sudeste	821.520	12.495.700	6,57%	863.816	10.920.082	7,91%	890.974	10.741.395	8,29%
Sul	1.147.800	18.277.200	6,28%	1.167.168	16.087.306	7,26%	1.195.440	16.232.488	7,36%
Centro-Oeste	180.140	7.745.600	2,33%	187.290	7.858.909	2,38%	201.760	8.623.762	2,34%
TOTAL	2.656.280	54.961.850	4,83%	2.755.944	49.482.618	5,57%	2.870.204	46.346.469	6,19%

Fonte: CHRISTOFIDIS (1999).

Ainda segundo MEDEIROS e GOMES (1999), da área total de várzeas, estima-se que apenas 44% possam ser efetivamente utilizadas, ou seja, aproximadamente 13,5 milhões de hectares. A reserva de 56% se deve a fatores legais, técnicos, econômicos e ambientais. Portanto, a área total de solos aptos à irrigação no Brasil é estimada em 29,6 milhões de hectares, o que representa aproximadamente 3,5% da área total do território nacional.

O Brasil possui uma estimativa de 16.100.000 ha com potencial para o uso de irrigação em terras altas; atualmente, estão sendo explorados, aproximadamente, 2.870.000 ha.

2.2 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Destacando-se por ter um alto índice de eficiência, entre 80 e 95%, a irrigação localizada é um método no qual a água é aplicada no sistema radicular das plantas, por meio de emissores pontuais (gotejadores) ou superficiais

(microaspersores). A proporção de área molhada varia de 20 a 90% da área total, o que pode resultar em grande economia de água e flexibilidade.

O teor de umidade do solo pode ser mantido alto por meio de irrigações freqüentes e em pequenas quantidades, beneficiando a cultura que responda muito bem a essa condição. Fertilizantes e alguns defensivos podem ser aplicados via água de irrigação, com potencial aumento de produtividade das culturas. É um método que permite alto grau de automação, o que exige menor emprego de mão-de-obra na operação.

A utilização de microaspersores na fruticultura demonstra ser um investimento de excelente custo/benefício em culturas de maior espaçamento e de grande expansão radicular. Tendo como vantagem em relação ao gotejamento, um maior raio molhado.

MEDEIROS e GOMES (1999) citam que se busca a otimização dos sistemas de irrigação por meio da relação econômica existente entre a altura de bombeamento (custo da energia) e as tubulações da rede coletiva de distribuição (custo das instalações) em que deve haver uma solução que proporcione o custo mínimo do conjunto: rede de distribuição – bombeamento e no gerenciamento.

Segundo LIMA (1995), a avaliação de um sistema de irrigação não deve ser realizada somente para efeito de projetos, visando caracterizar o desempenho do equipamento, mas também em sistemas em operação. Nesses casos, o objetivo consiste em verificar o desempenho e fornecer subsídios para proporcionar condições de manejo do sistema de irrigação, visando aumentar a produção econômica das culturas irrigadas.

2.3 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Na irrigação por aspersão, a água é aplicada ao solo por meio de uma chuva artificial produzida pela pulverização de um jato d'água que, por sua vez, é obtido pelo fluxo d'água sob pressão através de bocais ou orifícios. Comumente, a pressão é obtida por bombeamento da água, que é assim conduzida até as estruturas de fragmentação do jato, denominadas aspersores.

Segundo CARDOSO NETO (1999), esse método permite um controle completo da lâmina d'água aplicada e, por isso possibilita uma adaptação quase perfeita em praticamente toda situação possível. O método vem sendo usado há muito tempo como regadores de jardim, porém sua utilização na agricultura brasileira teve início apenas na década de 50, quando se iniciou a importação de equipamentos de aspersão para a cultura do café. A flexibilidade do equipamento de aspersão faz com que tal método se adapte bem a qualquer situação topográfica, sem necessidade de sistematização do terreno. Como os aspersores apresentam uma enorme variedade de capacidade de descarga, o método é aplicável a praticamente qualquer tipo de solo, tendo como “quase” único fator limitante, o econômico.

Embora seja o método mais eficiente no controle da salinidade, sua utilização é questionável quando a água de irrigação se apresenta com grande quantidade de sais dissolvidos. De qualquer maneira, é bastante conhecida a eficiência desse método na fase de germinação de sementes, segundo BERNARDO (1995).

2.3.1 Aspersores

Segundo BERNARDO (1995), os aspersores são as peças principais do sistema de irrigação por aspersão. Operam sob pressão e lançam o jato d'água no ar, o qual é fracionado em gotas, caindo sobre o terreno em forma de chuva.

Os aspersores podem ser de giro completo ou do tipo setorial, permitindo a regulação da amplitude de giro. Este último é menos comum e só é utilizado em áreas periféricas do campo ou sob condições especiais. Quanto à velocidade de rotação, os tipos mais comuns são os de baixa velocidade de rotação, em geral de uma a duas rotações por minuto (rpm) para os aspersores pequenos e 0,5 rpm para os aspersores gigantes. Para um bom desempenho dos aspersores a velocidade de rotação deve ser uniforme.

O ângulo de inclinação do jato com a horizontal, geralmente em torno de 30°, com um ou dois bocais, cujo diâmetro, expresso em milímetros, caracteriza os aspersores.

Em um mesmo tipo de aspersor, podem-se usar bocais de diferentes diâmetros. Para cada combinação de pressão de serviço e diâmetro do bocal do aspersor têm-se diferentes diâmetros molhados, diferentes vazões por aspersor e, conseqüentemente, diferentes intensidades de precipitação.

Vários tamanhos de aspersores estão disponíveis no comércio. Para fins de classificação, segundo BERNARDO (1995), pode-se reuni-los em quatro grupos, segundo a pressão de serviço:

- a) Aspersores de “pressão de serviço muito baixa” - trabalham com pressão variando entre 4 e 10 m.c.a. e pequeno raio de ação. Compreendem os tipos especiais de aspersores, como microaspersores e aspersores de jardim.
- b) Aspersores de “pressão de serviço baixa” - trabalham com pressão variando entre 10 e 20 m.c.a. e possuem pequeno raio de ação, entre 6 e 12 m, usados, principalmente para irrigação da subcopa dos pomares ou para pequenas áreas de cultivos.

- c) Aspersores de “pressão de serviço média” - trabalham com pressão variando entre 20 e 40 m.c.a. e com um raio de ação de 12 e 36 m. Constituem os tipos mais usados nos projetos de irrigação por aspersão e se adaptam a quase todos os tipos de solo e de cultura.
- d) Aspersores “gigantes” ou canhão hidráulico - existem dois modelos de aspersores do tipo canhão: aspersores de médio e de longo alcance. Os aspersores de médio alcance trabalham com pressão variando de 40 a 80 m.c.a. e possuem um raio de ação entre 30 e 60 m, sendo usados para irrigação de capineiras, pastagens, cereais, cana-de-açúcar e pomares. Os aspersores gigantes de longo alcance trabalham com pressão variando entre 50 e 100 m.c.a. e possuem um raio de ação entre 40 e 80 m, geralmente usados em sistemas autopropelidos para irrigação de cana-de-açúcar, pastagens e capineiras.

2.4 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros básicos do manejo da irrigação e sua importância aumenta quando se usa a quimigação, pois a eficiência de distribuição do produto químico é um dos pontos básicos a serem considerados para o sucesso do projeto.

Segundo BERNARDO (1995), para determinação da uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão instala-se um conjunto de coletores, equidistantes, em torno do aspersor a ser testado e liga-se o aspersor por um período nunca inferior a duas horas. Durante o teste, medem-se a pressão e a vazão no bocal do aspersor, a direção e a velocidade do vento e o volume ou a lâmina d'água coletada, em cada coletor, no final do teste.

A área em torno do aspersor é dividida em subáreas quadradas, de iguais dimensões. Os coletores são colocados no centro de cada subárea, e o volume coletado, em cada coletor, representa a precipitação em cada subárea.

O resultado desse teste representa o desempenho de um aspersor, mas na irrigação no campo sempre existe sobreposição de vários aspersores sobre a mesma área. Para determinar a uniformidade de distribuição do sistema, tem-se que considerar qual é o tipo de arranjo dos aspersores no campo e simular as diversas combinações de espaçamento entre os aspersores, ao longo da linha lateral e entre linhas laterais; fazer a sobreposição, para cada combinação de espaçamento, das precipitações sobre a área entre quatro aspersores, considerando todos os aspersores periféricos que podem atingir a área; e calcular a uniformidade com os totais sobrepostos em cada coletor.

Uma equação que pode ser usada para determinar a uniformidade de aplicação do sistema é aquela proposta por Christiansen (equação 1), citado por BERNARDO (1995). O uso dessa equação permite a obtenção de resultados bastante confiáveis e pode ser calculada por:

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|}{n \cdot \bar{Y}} \right) \quad (1)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen em %;

Y_i - lâmina de água coletada, em mm;

\bar{Y} - lâmina média de água coletada, em mm;

n - número de observações.

O valor mínimo do CUC adotado como referência para sistemas de irrigação por aspersão é 0,80 ou 80%. Valores inferiores podem ser admitidos se a precipitação pluvial tiver um valor significativo, durante a estação de cultivo, ou se a diminuição dos custos do sistema com a redução da uniformidade compensarem a diminuição de receita, pela redução na produção da cultura.

Outro modo prático de se representar valores numéricos na uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação é a razão entre a média dos 25% dos menores valores de lâmina de irrigação (Y_{25}) ou média do menor quartil, e a lâmina média coletada. Sua origem é creditada ao SCS-USDA, por quem é chamada de eficiência padrão. KRUSE (1978) denominou-a de uniformidade de distribuição (UD):

$$(2)$$

Em que:

Y_{25} - média dos 25% dos menores valores de lâmina de irrigação, em mm;

\bar{Y} - lâmina média coletada, em mm.

Segundo a norma ASAE EP 458 (ASAE, 1996), os valores de UD podem ser classificados conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos valores de UD para sistemas de irrigação localizada.

UD	Classificação
87 – 100	Excelente
75 – 87	Bom
62 – 75	Razoável
50 – 62	Ruim
< 50	Inaceitável

BERNARDO (1995) cita também o Coeficiente Estatístico de Uniformidade – CUE, expresso pela equação 3.

$$CUE = 100 \left[1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)\bar{X}^2}} \right] = 100 \left[1 - \frac{S}{\bar{X}} \right] = 100 - CV \quad (3)$$

Em que:

S - desvio-padrão dos dados de lâmina aplicada;

\bar{X} - média das lâminas;

X_i - lâmina observada em cada pluviômetro;

n - número de pluviômetros;

CV - coeficiente de variação.

Sendo o coeficiente de variação CV :

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (4)$$

O desvio padrão S é dado por:

$$\left| \right. \quad (5)$$

2.5 EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

A eficiência de irrigação, conceito habitualmente utilizado no processo de dimensionamento e manejo, envolve perdas de água e uniformidade de distribuição. As perdas de água na aspersão estão associadas ao arrastamento das

gotas pelo vento, à evaporação, à retenção foliar e à percolação da água abaixo da zona radicular. O aumento do diâmetro do bocal produz o mesmo efeito de uma diminuição de pressão, na distribuição do tamanho da gota, da energia das gotas e da taxa de aplicação instantânea (KELLER; KARMELI, 1974).

BERNARDO (1995) cita que a eficiência potencial de aplicação pode ser determinada pela razão entre a média das 25% menores precipitações e a lâmina bruta aplicada durante a irrigação, conforme a seguinte equação.

$$(6)$$

Em que:

EPa - eficiência potencial de aplicação, em %;

\bar{H} - média das 25% menores precipitações, em mm; e

Hm - lâmina média aplicada durante a irrigação, mm.

Ainda segundo BERNARDO (1995), a lâmina média aplicada pode ser calculada por:

$$(7)$$

Em que:

q - vazão do aspersor (l/s);

T_i - tempo de irrigação (h);

S_1 - espaçamento entre aspersor ao longo da linha lateral (m);

S_2 - espaçamento entre linhas laterais (m).

Na irrigação por aspersão, pode-se modificar a posição das linhas, pressão de serviço, diâmetro dos bocais, altura do tubo de elevação, tempo de aplicação por posição ou o diâmetro das tubulações como forma de aumentar a eficiência de irrigação do projeto.

2.6 IMPORTÂNCIA DO *SOFTWARE* COMO FERRAMENTA

Dimensionar um projeto de irrigação exige o conhecimento das dimensões da área cultivada, do tipo de cultura, do nível de evaporação da água na área cultivada, do coeficiente de cultura (K_c), do turno de rega, do tipo de solo, entre outros. O dimensionamento dos vários elementos que compõem o sistema de irrigação é obtido aplicando-se esses valores conhecidos a equações que, além de trabalhosas, exigem um alto grau de conhecimento de matemática.

Esse processo envolve também a entrada de coeficientes constantes, pré-estabelecidos, que devem ser pesquisados em tabelas disponíveis nas literaturas técnicas da área, a exemplo da Tabela de valores de radiação no topo da atmosfera e coeficiente da cultura (K_c).

Desenvolver essas equações de forma manual demanda tempo e é um trabalho passível de erros que podem levar a um dimensionamento incorreto do projeto, ocasionando um superdimensionamento ou um subdimensionamento que, certamente, diminuirão o desempenho da irrigação e afetarão a lucratividade da cultura.

Segundo BALTRA (1987), o cálculo computacional está abrindo um novo e vasto panorama com muitas vias de solução para os problemas da água, sua distribuição e benefício pela irrigação.

2.6.1 Programas Computacionais Aplicados à Irrigação por Aspersão e Localizada

Atualmente, existem alguns poucos *softwares* para simulação e dimensionamento da irrigação localizada, dentre eles destacamos um sistema composto por um conjunto de programas desenvolvidos em ambiente DOS por

LOPEZ (1996), denominados: AJUSCURV, FILTMALL ,PERDCARG, DISAGRO2, LIMITE LATERAL, TERC, cujo objetivo é facilitar o cálculo da curva de ajuste, vazão através de um filtro de malha, perda de carga na tubulação, usando Darcy-Weisbach e Colebrook, projeto agrônômico e tolerância de pressões, respectivamente.

Em ambiente *Windows*, podemos destacar o programa *Hydro Calc*, desenvolvido pela empresa israelense Netafim (NETAFIM, 2004), que auxilia no dimensionamento de sistemas de irrigação, que é mais preciso em projetos em que utilizem os produtos da mesma empresa, pois traz em sua base de dados os coeficientes de válvulas e emissores produzidos por ela.

Também em ambiente *Windows* podemos citar o RAIN BIRD PC-DRIP v. 2.0, desenvolvido pela Techtools Inc (TECHTOOLS, 2004), que se mostrou bastante limitado quanto à inserção de detalhes do projeto e o não suporte a internacionalização das unidades de medida, por exemplo.

No Brasil, GUIMARAES (1998) desenvolveu o ProLoc – Projeto Otimizado de Sistemas de Irrigação Localizada, em *Visual Basic*, para elaborar projetos de irrigação localizada com interface para *Windows* de 16 bits.

O CATCH-3D, desenvolvido por ALLEN e MERKLEY (1995), que é um modelo matemático para analisar estatisticamente o desempenho de aspersores com ênfase nos cálculos de uniformidade e eficiência de aplicação de água, é o único, dentre os citados, que traça um perfil tridimensional do desempenho do aspersor, que é um dos objetivos deste projeto.

2.7 ESPAÇAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS ASPERSORES E MICROASPERSORES

Segundo LIMA (1995), para se obter um índice de uniformidade de distribuição de água satisfatório, deve existir suficiente sobreposição dos perfis

de distribuição dos aspersores individuais adjacentes. O grau de sobreposição depende das características do perfil de distribuição que, por sua vez, é função, principalmente, das características dimensionais e operacionais do aspersor e condições de vento. A redução do espaçamento entre aspersores, em geral, aumenta custos dos sistemas de irrigação.

Em microaspersores o uso de sobreposição de perfis de distribuição são menos usuais, pois sua área de alcance é menor e possui maior índice de uniformidade, podendo ser considerada em algumas culturas nobres e densamente distribuídas, em que pode ser economicamente viável.

A disposição dos aspersores no campo constitui outro importante fator na uniformidade de distribuição. Em geral, as formas retangular, quadrangular e triangular são as mais comuns. O comprimento de montagem padronizado em 6 m, para a maioria das tubulações para irrigação por aspersão fabricadas no Brasil, condiciona o espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais, em valores múltiplos de, aproximadamente, 6 m.

A existência de conexões com diferentes especificações, introduz pequenas modificações no comprimento de montagem dessas tubulações, cuja tolerância, encontra-se especificada nos textos normativos de produtos manufaturados pela indústria nacional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

O sistema desenvolvido neste trabalho utilizou a linguagem *Visual Basic*®, uma linguagem de programação moderna que teve sua origem no *Quick Basic*. Neste trabalho foi utilizada a versão *Visual Basic* 6.0 que permite ao desenvolvedor fazer uso de módulos, controles OCX (*ActiveX Component Object*), e objetos para criar interfaces bastante amigáveis ao usuário. O *software* funciona sob os sistemas operacionais *Windows 98*®, *Windows Me*®, *Windows 2000*® ou *Windows XP*®, disponibilizando ao usuário os recursos gráficos destes ambientes.

Além de relatórios impressos com os dados do projeto, o usuário também conta com o auxílio de gráficos tridimensionais que facilitam a compreensão e análise dos dados apresentados.

O sistema foi elaborado utilizando todas as ferramentas de análise e desenvolvimento próprias da ciência da computação, o que assegura a consistência, confiabilidade e clareza das interfaces do sistema computacional.

O sistema foi exaustivamente testado, simulando, em todas as fases de seu projeto, condições de campo teóricas e reais e comparando os seus resultados com os resultados obtidos em métodos tradicionais.

3.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO

A análise do *software* desenvolvido foi realizada por meio de uma série de simulações, usando exemplos conhecidos da literatura e comparando-se os valores obtidos. Para testes de desempenho computacional foi aplicada uma série de simulações com o *software* desenvolvido, comparando esses resultados com os resultados obtidos nos programas de LOPEZ (1996) e no CATCH-3D, desenvolvido por ALLEN e MERKLEY (1995) para medir e analisar estatisticamente o desempenho de aspersores.

3.3 ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA

O programa tem um módulo principal, que carrega as variáveis de ambiente que serão utilizadas nas rotinas de cálculo e controla as demais interfaces do programa e dois submódulos; um para trabalhar com ensaios em malha e outro para trabalhar com ensaios radiais. O módulo de ensaios radiais fornece como parâmetro a quantidade de coletores, volumes coletados, em mm, e espaçamento, em m, para a rotina de interpolação que irá gerar uma matriz quadrada, simulando um ensaio em malha.

A matriz quadrada com os dados interpolados ou informados no ensaio em malha é transferida para as rotinas de geração de gráficos e relatórios.

A Figura 2 apresenta uma visão geral dos módulos e rotinas do programa.

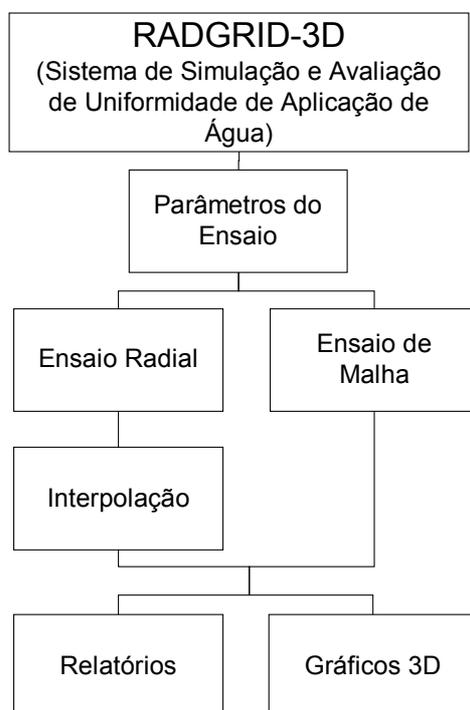


Figura 2 - Estrutura geral do programa

Cada módulo, submódulo ou rotina será responsável por uma etapa do tratamento de dados e da simulação, necessitando de entradas e resultando em saídas, conforme indicado na Tabela 6 :

Tabela 6 - Variáveis de entrada e saída do programa

Dados de Entrada	Dados de Saída
Código do Ensaio	Para vários espaçamentos:
Tipo do Ensaio (radial/malha)	Volumes da lâmina sobreposta

Quantidade de coletores	Coefficiente de Uniformidade de Christiansen
Diâmetro dos coletores (cm)	Desvio Padrão
Duração do teste (h)	Coefficiente de variação
Volumes coletados (cm ³)	Gráfico tridimensional de desempenho do
Vazão (l/s)	microaspersor
Pressão (kPa)	Gráfico tridimensional da lâmina
Altura (m)	

3.4 GERAÇÃO DE GRÁFICOS

Esta etapa do projeto foi a que demandou maior trabalho, pesquisa e tempo, pois as linguagens de programação estão bastante evoluídas e voltadas para soluções comerciais, em que as necessidades são bastante específicas, de forma que para o desenvolvimento de soluções científicas, essas linguagens se mostram carentes de uma série de recursos, como por exemplo, a manipulação de alguns tipos de dados e a geração de gráficos com três eixos.

Foram pesquisadas e testadas várias soluções com o propósito de gerar gráficos tridimensionais que fossem expressivos e de formatação científica e, entre elas, foi adotado o programa DPLOT JR 2002. (HYDESOFT, 2005) por ter se mostrado a solução mais completa e com a melhor política de licença de uso. O fato desse programa ter se mostrado como uma solução mais completa, trouxe também, por consequência, o fato de ser bastante complexa, necessitando bastante dedicação em seu estudo.

Considerando que o *Visual Basic*, versão 6.0, utilizado na implementação do programa, não possuía recursos próprios para gerar e manipular gráficos tridimensionais, foi necessário utilizar em conjunto o DPLOT JR 2002, que é um *software* livre destinado a manipular dados bidimensionais e tridimensionais e, por meio de uma *Dynamic Language Library* (DLL), provê mecanismos de comunicação entre processos *Dynamic Data Exchange* (DDE), possibilitando que qualquer programa faça uso de sua interface para gerar

gráficos e que, por sua licença de uso, pode ser distribuído gratuitamente, juntamente com qualquer outro *software* desenvolvido, desde que distribuído na sua forma original, com os arquivos de ajuda e *Dynamic Language Library* (DLL) .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O PROGRAMA COMPUTACIONAL RADGRID-3D

O programa foi desenvolvido de forma que os usuários pudessem utilizá-lo intuitivamente, mesmo aqueles com pouco conhecimento específico da informática. Após instalado o programa para determinação da uniformidade e eficiência de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão (RADGRID-3D), é inserido no menu iniciar um *link* para iniciar a sua execução.



Figura 3 - Tela de abertura do programa

Após o início do programa, a primeira tela a ser exibida será a de créditos e versão do programa, por um breve período, e em seguida a tela Principal, mostrada na Figura 3, pela qual o usuário tem acesso às funções do programa por meio do menu, com as opções **Arquivo**, **Editar** e **Sobre** ou pelos botões da barra de tarefas que fornecem atalhos mais práticos, para as funções do menu que são mais utilizadas.

Seguindo o padrão de interfaces estabelecido no ambiente *Windows®*, no menu **Arquivo/Novo** o usuário pode criar um ambiente de trabalho novo, em que as telas, relatórios e variáveis do projeto são todas zeradas para possibilitar a introdução de novos dados para um novo projeto.

Depois de inseridos os parâmetros e dados do novo projeto, o usuário pode gravar todas as informações do projeto atualmente em execução, por meio do botão **Salvar** ou pelo menu **Arquivo/Salvar**, de forma que as informações das variáveis do projeto atual serão armazenadas pelo sistema para futuramente serem recuperadas pelo menu **Arquivo/Abrir** ou pelo botão **Abrir**.

Parametros

Dados do Ensaio

Ensaio Nº.: 1

Data: 03/07/2002

Hora de Início: 14:12

Hora de Término: 15:12

Duração (h): 01:00

Aplicar

Fechar

Tipo de Ensaio

Radial

Grid

Dados dos Coletores

Diâmetro (cm): 10

Espaçamento (m): 0,50

Dados do Aspersor

Altura (m):

Pressão (kPa): 350

Vazão (l/s):

Ensaio Grid

Quantidade Linhas:

Quantidade Colunas:

Ensaio Radial

Qtde de Coletores: 9

Figura 4 - Tela de parâmetros do projeto

Uma tela bastante importante do sistema está ilustrada na Figura 4, na qual o usuário pode inserir os parâmetros do projeto. Nessa tela são informados o número de identificação do ensaio, a data que, por padrão, é assumida a data do sistema operacional, hora de início e término no formato “hh:mm”, e o campo Duração, que é automaticamente preenchido, pela diferença entre a hora de início e término informadas pelo usuário.

Em seguida, há o campo Tipo de Ensaio, em que o usuário seleciona a forma de distribuição dos coletores que foi adotada no ensaio, Radial ou *Grid*, além do Diâmetro dos coletores que é um dos parâmetros para os cálculos de lâmina. Alguns dados do aspersor como Altura, Pressão e Vazão são opcionalmente solicitados, mas não afetam nenhum cálculo ou resultado gerado pelo programa, servindo apenas como informações complementares das condições do teste que são exibidas nos relatórios emitidos pelo programa. As informações referentes ao espaçamento e a quantidade de coletores no ensaio radial ou a quantidade de linhas e colunas, no ensaio de *grid*, completam os campos dessa tela, de forma que basta o usuário pressionar o botão Aplicar, para que esses parâmetros passem a ser considerados nas rotinas de cálculo do programa ou, então, simplesmente pressionar o botão Fechar, sem Aplicar, para ignorar os dados informados.

0,056
0,063
0,056
0,072
0,066
0,045
0,022
0,003
0,000

Ensaio: Radial

Qtde Coletores: 9

Colar da Area de Transferencia Fechar Calcular

Figura 5 - Tela de entrada de dados para ensaio radial

A Figura 5 mostra a tela na qual o usuário deve informar os volumes de água, em cm^3 , registrados nos coletores em um ensaio Radial, de forma que é exibida apenas uma coluna de células para a entrada dos dados, uma para cada coletor. Quando o ensaio for do tipo *grid*, será exibida a tela da Figura 6, fornecendo uma matriz de células com quantidade de linhas e colunas correspondente ao espaçamento informado na tela de parâmetros do projeto. Nessa tela as células podem ser editadas diretamente ou , através da importação dos dados existentes em uma planilha do *software Microsoft Excel*, com o recurso de Copiar e Colar, selecionando e copiando os dados da planilha do *Excel* e colando no programa através do botão “Colar da Área de Transferência”.

The screenshot shows a software window titled "Dados Coletados" with a blue title bar and a close button. The window contains a data table with 7 columns and 7 rows. To the right of the table are two input fields labeled "Colunas" and "Linhas", both containing the number "7". At the bottom of the window are two buttons: "Colar da Área de Transferência" and "Calcular".

0,00	3,10	7,45	8,23	7,45	3,10	0,00
0,00	9,40	11,34	16,70	16,70	11,34	8,10
2,50	11,34	16,70	21,80	21,80	16,70	12,28
3,80	12,28	16,70	21,80	21,80	16,70	11,34
2,50	9,40	11,34	16,70	16,70	11,34	8,30
0,00	3,10	2,50	7,45	8,23	3,10	5,20
0,00	0,00	1,80	2,70	0,00	0,00	0,00

Figura 6 - Tela de entrada de dados para ensaio de *grid*

Ao pressionar o botão Calcular da tela mostrada na Figura 5, o programa irá fazer os cálculos de volumes de lâmina sobreposta, coeficiente de uniformidade de Christiansen, desvio padrão, coeficiente de variação e, a partir deles, gerar o gráfico tridimensional de precipitação do aspersor e o gráfico tridimensional da lâmina sobreposta para sete espaçamentos diferentes, em função da distância entre aspersores, informada pelo usuário, mostrando a lâmina sobreposta e a eficiência de forma estatística e visual para que o usuário possa analisar os dados de maneira mais intuitiva. Quando realizado um ensaio radial o programa faz a interpolação linear dos volumes lidos nos coletores dispostos radialmente, projetando os demais pontos até formar os 360° de alcance do aspersor ou microaspersor ensaiado, criando uma matriz quadrada equivalente ao ensaio realizado.

A Figura 7 mostra o gráfico de precipitação do aspersor, com base nos dados coletados e inseridos nas telas da Figura 4, que mostra os parâmetros do ensaio e da Figura 5 que mostra os dados medidos em cada coletor.

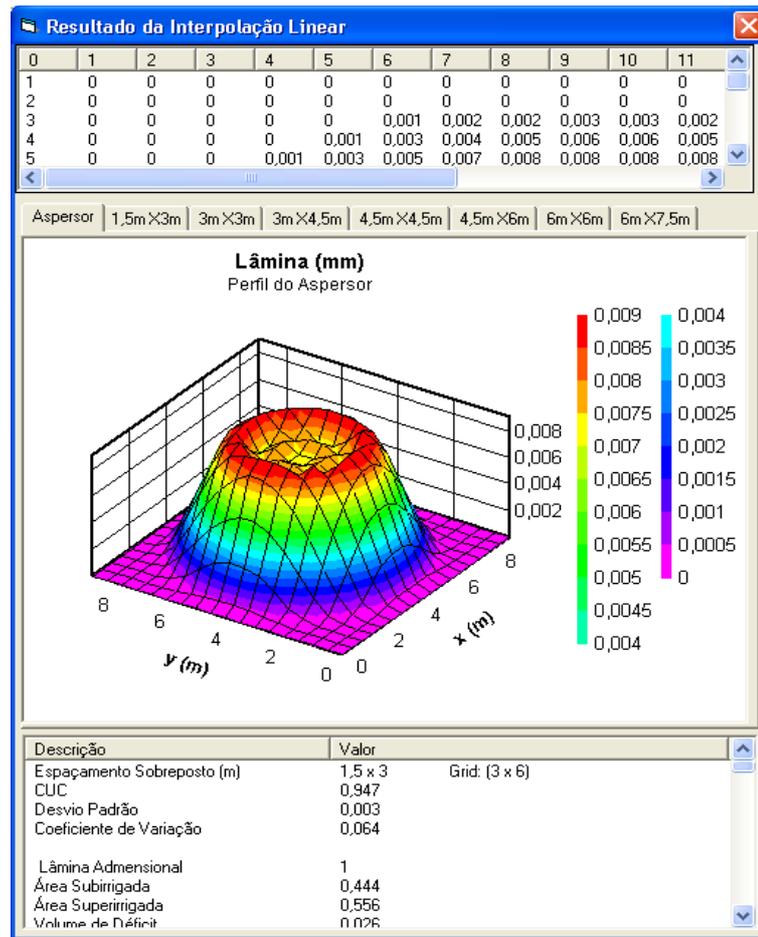


Figura 7 - Tela com o gráfico do perfil de distribuição de água (em mm) do microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm a uma pressão de 350 kPa e espaçamento entre coletores de 0,50 m, gerado pelo programa

4.2 SIMULAÇÃO DO PROGRAMA COM DADOS DE ENSAIO REAIS

O teste de desempenho do programa se deu através da comparação de seus resultados com os obtidos no CATH3D para o mesmo ensaio, utilizando-se de dados das literaturas pesquisadas. Foi realizado um estudo da consistência do programa, pela realização de pequenas alterações dos parâmetros dos ensaios e da observação da coerência dos resultados obtidos.

4.2.1 Ensaio em Malha e Radial para Aspensor

Para esse teste foram utilizados os dados de dois ensaios realizados em laboratório por VILAS BOAS (1994); um ensaio radial (Tabela 7) e outro em malha (Tabela 8), executados simultaneamente, a fim de demonstrar que o ensaio radial e em malha são estatisticamente equivalentes, utilizando o aspensor ZAD-30 a uma pressão de serviço de 200 kPa, durante 60 minutos. No ensaio radial foram utilizados sete coletores de 8,33 cm de diâmetro, com espaçamento de 2 m entre eles e na distribuição em malha utilizaram-se 196 coletores dispostos em uma malha de 14 linhas por 14 colunas com o aspensor ao centro.

Tabela 7 - Volumes em cm³, medidos para cada coletor de 8,33 cm de diâmetro, espaçados de 2 m no ensaio radial do aspensor ZAD-30 a uma pressão de 200 Kpa com duração de 1 hora usado na simulação

Lâmina (cm ³)
37,000
21,450
17,800
14,450
14,200

10,800
1,700

Tabela 8 - Volumes em cm³, medidos para cada coletor de 8,33 cm de diâmetro, espaçados de 2 m no ensaio em malha do aspersor ZAD-30 a uma pressão de 200 kPa com duração de 1 hora, usado na simulação

0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	2,0	0,5	1,0	9,2	14,9	17,0	19,0	16,0	10,0	4,0	1,0	0,0	0,0
0,0	0,0	4,2	15,0	16,8	17,0	14,0	14,8	14,2	14,9	12,2	3,8	0,0	0,0
0,0	1,0	13,6	13,4	13,6	13,6	14,0	14,8	13,8	15,6	14,0	11,0	2,8	0,0
0,0	9,8	14,6	12,8	13,0	17,0	18,6	18,4	16,6	15,0	14,0	11,2	7,0	0,0
0,0	13,0	13,8	13,2	16,6	18,0	20,0	21,0	19,0	15,8	12,8	13,0	9,8	0,0
0,0	12,0	12,8	13,4	18,2	19,0	32,0	31,0	21,0	18,4	14,0	14,2	8,0	0,0
0,0	13,4	15,0	15,6	19,0	21,6	34,0	30,0	20,8	18,2	15,0	12,8	8,4	0,0
0,0	9,8	16,8	15,0	18,6	21,4	23,2	25,0	22,6	18,4	15,0	14,0	5,0	0,0
0,0	6,8	12,6	14,2	15,6	19,8	20,6	21,4	20,0	16,0	14,4	9,6	1,5	0,0
0,0	0,5	9,4	13,8	14,2	17,8	16,4	15,8	17,0	15,4	10,0	3,4	1,0	0,0
0,0	0,0	1,0	7,4	14,6	14,4	14,6	16,6	15,2	9,8	4,6	1,8	0,0	0,0
0,0	0,0	0,5	0,5	7,0	9,8	9,0	7,8	5,2	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

A Figura 8 mostra a tela de entrada dos parâmetros do ensaio, neste caso selecionado o ensaio radial e a tela de entrada dos volumes de lâmina de água, em cm³, dos sete coletores de 8,33 cm de diâmetro e espaçamento de 2 metros no programa.

Na Figura 9 foi ilustrada a tela de parâmetros do ensaio e a entrada dos volumes coletados para o ensaio em malha.

Parâmetros

Dados do Ensaio

Ensaio Nº: Hora de Início:

Data: Hora de Término:

Duração (h):

Tipo de Ensaio

Radial Grid

Dados dos Coletores

Diâmetro (cm): Espaçamento (m):

Ensaio Grid

Quantidade Linhas: Quantidade Colunas:

Dados do Aspersor

Altura (m): Pressão (kPa): Vazão (l/s):

Ensaio Radial

Qtd de Coletores:

Dados Coletados

37,000	Colunas:
21,450	1
17,900	Linhas:
14,450	7
14,200	
10,800	
1,700	

Figura 10 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água aplicada (em mm) sem sobreposição no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

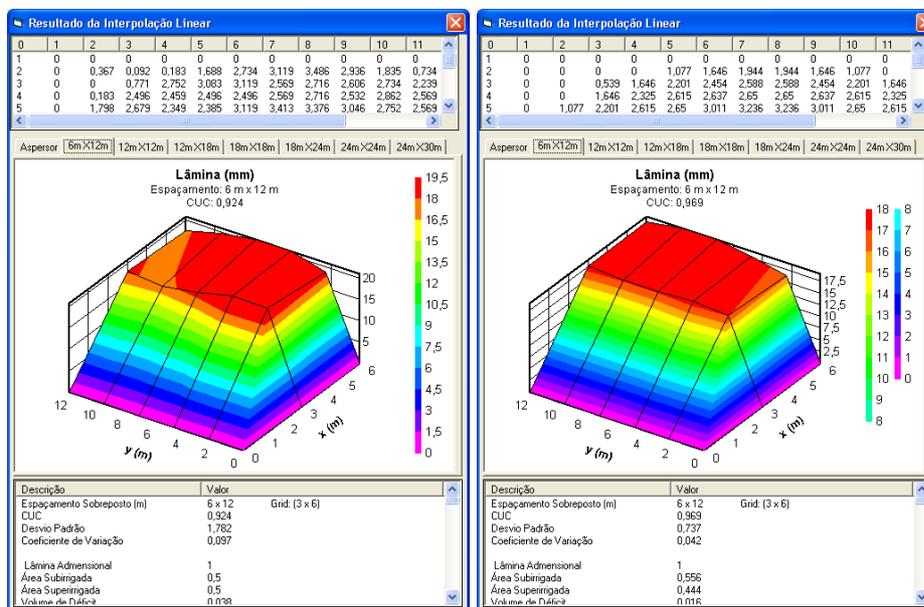


Figura 11 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 6 x 12 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

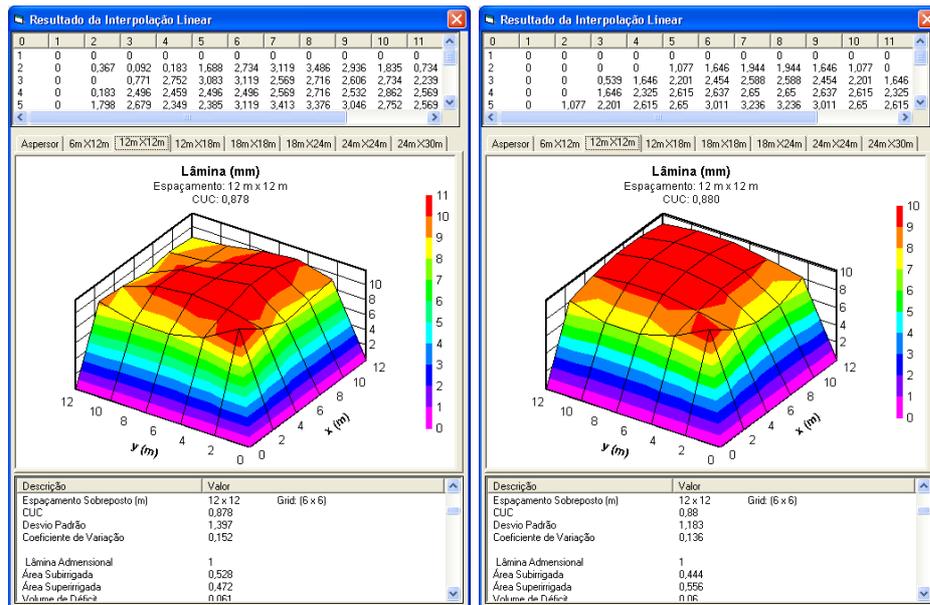


Figura 12 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 12 x 12 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

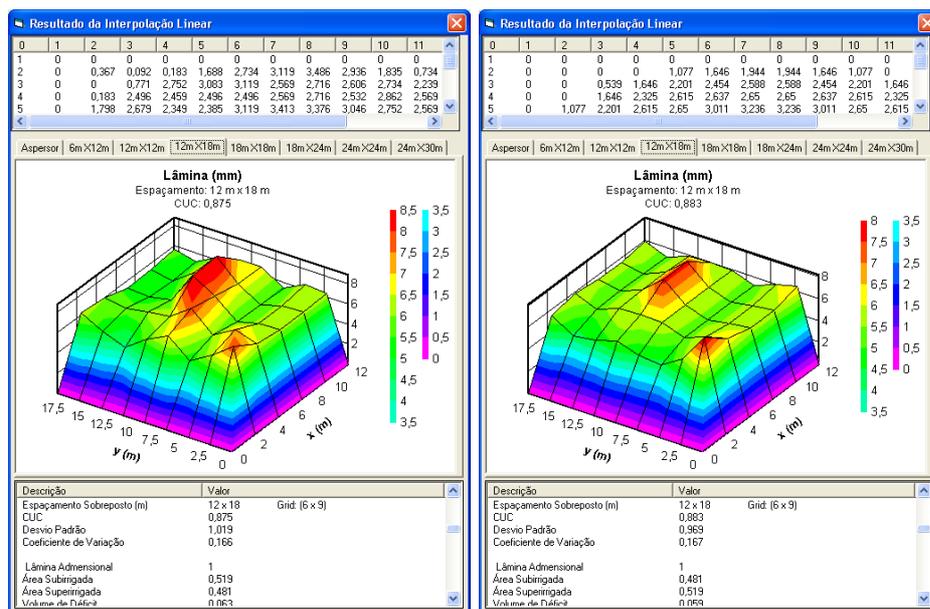


Figura 13 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 12 x 18 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

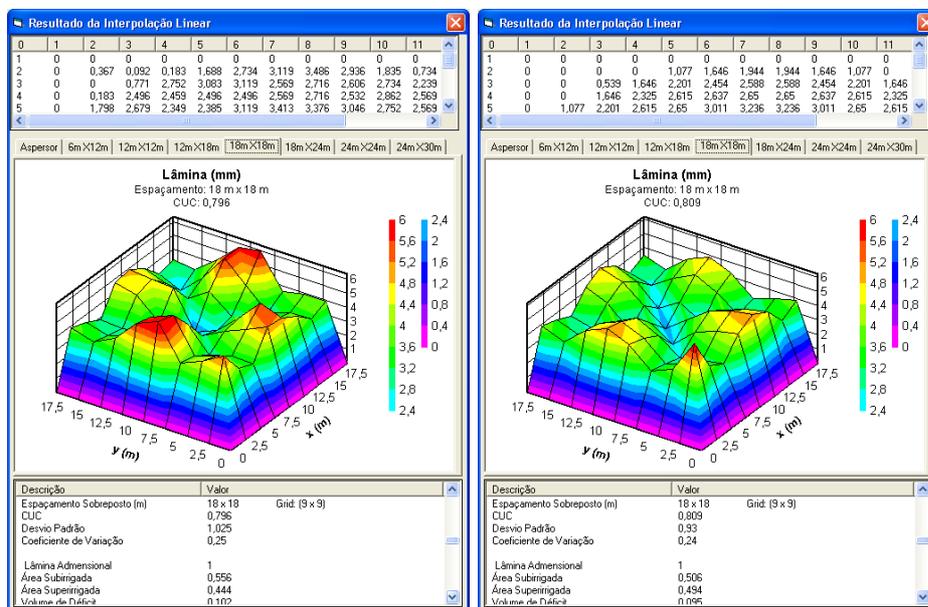


Figura 14 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 18 x 18 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

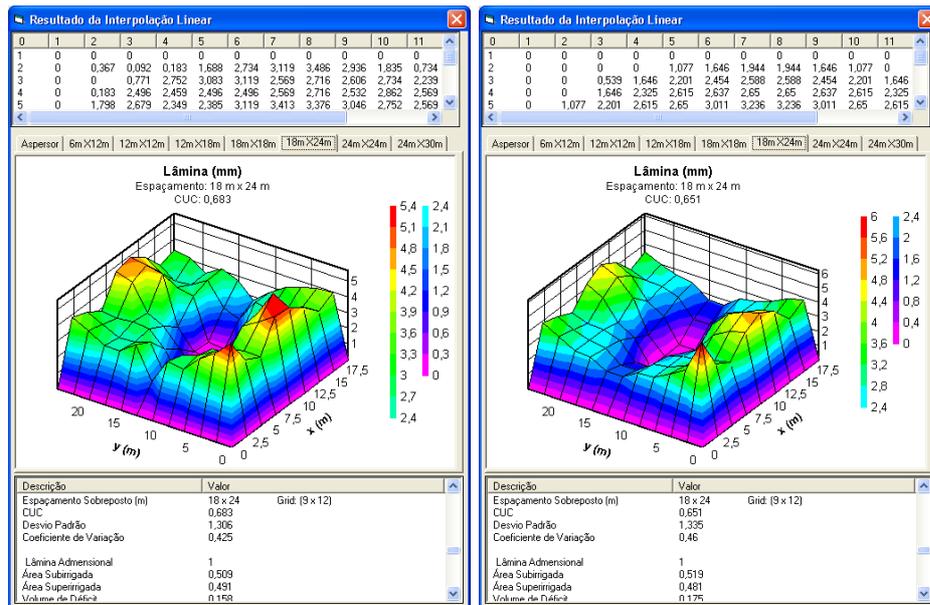


Figura 15 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 18 x 24 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

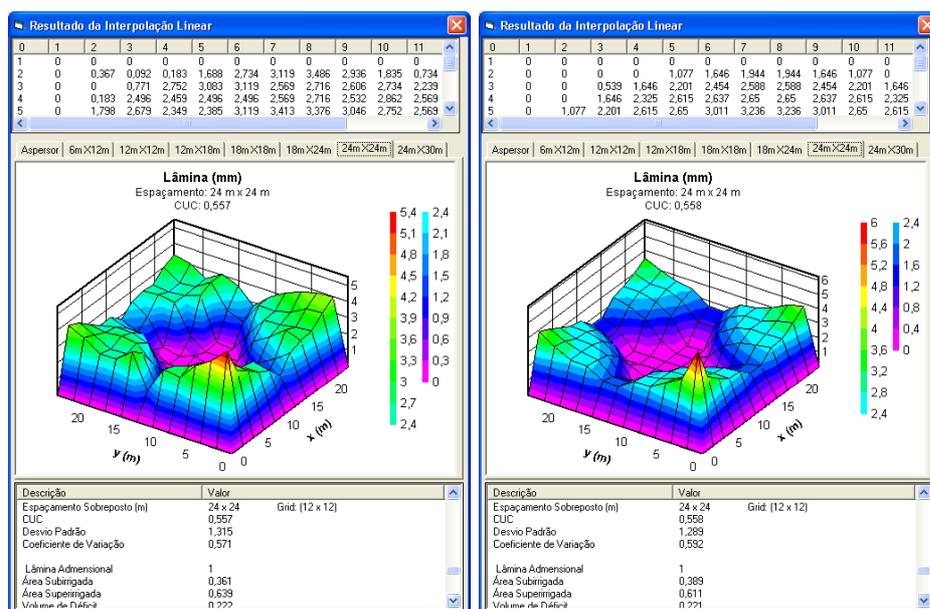


Figura 16 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 24 x 24 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

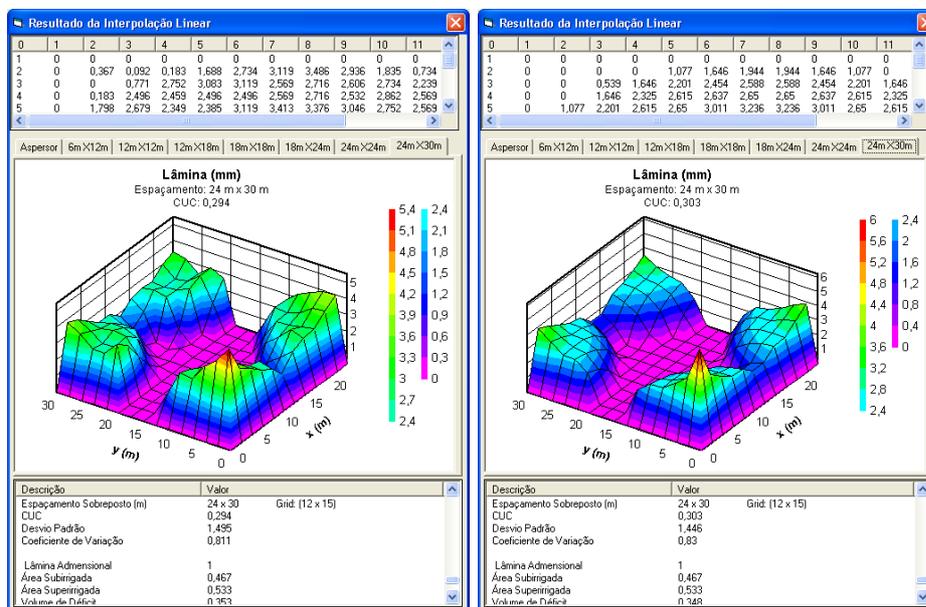


Figura 17 - Gráficos comparativos do perfil de lâmina de água sobreposta (em mm) para o espaçamento de 24 x 30 m no ensaio em malha e radial, respectivamente, para o aspersor ZAD-30

Tabela 9 - Valores de CUC obtidos no programa para vários espaçamentos no ensaio em malha e radial, para o aspersor ZAD-30

Espaçamento	Radial	Malha
6 x 12	0,969	0,924
12 x 12	0,880	0,878
12 x 18	0,883	0,875
18 x 18	0,809	0,796
18 x 24	0,651	0,683
24 x 24	0,558	0,557

24 x 30 0,303 0,294

Foi observado que o valor do CUC diminui à medida que aumenta o espaçamento, como pode ser observado nos valores da Tabela 9, e que o resultado da interpolação linear do ensaio radial é estatisticamente equivalente ao ensaio em malha por apresentar resultados semelhantes, observado por VILAS BOAS (1994), conforme pode ser verificado no gráfico da Figura 18.

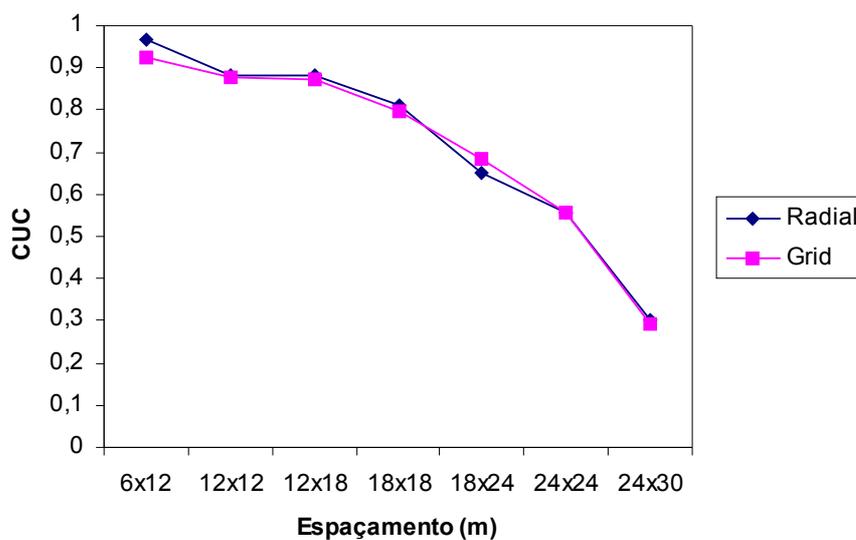


Figura 18 - Valores de CUC obtidos no programa para vários espaçamentos no ensaio em malha e radial, para o aspersor ZAD-30

4.2.2 Ensaio Radial para Microaspersor

Nessa simulação do programa foram utilizados os dados coletados no ensaio realizado por MAZZER (2003), para determinar a uniformidade de distribuição de água, referente ao microaspersor marca DAN SPRINKLERS com bocal de 1,16 mm, bocal cinza, a uma pressão de 350 kPa durante 60 minutos, utilizando-se de 9 coletores com diâmetro de 10 cm, espaçados 0,50 metros entre eles, numa distribuição radial.

Tabela 10 - Valores dos volumes coletados para o ensaio radial uniforme

Distância (m)	Volume coletado (cm ³)
0,5	0,0563
1,0	0,0633
1,5	0,0558
2,0	0,0716
2,5	0,0662
3,0	0,0447
3,5	0,0222
4,0	0,0029
4,5	0,0000

Depois de inseridos no programa os dados das condições do teste na Tela de Parâmetros do ensaio e informados os volumes coletados, conforme apresentados na Tabela 10, o programa gerou as seguintes informações:

A projeção de volumes coletados para uma distribuição espacial em malha de 18 linhas por 18 colunas (duas vezes o número de coletores) espaçadas de 0,5 m, por meio da técnica de interpolação linear, obtendo-se os valores mostrados na Tabela 11 e o gráfico tridimensional da Figura 19, representando o perfil de distribuição de água do microaspersor.

As lâminas sobrepostas para os espaçamentos de 1,5 x 3,0 m; 3,0 x 3,0 m; 3,0 x 4,5 m; 4,5 x 4,5 m; 4,5 x 6,0 m; 6,0 x 6,0 m; 6,0 x 7,5 m; representadas nas Tabelas de 12 a 18 e os respectivos gráficos tridimensionais nas Figuras 20 a 26.

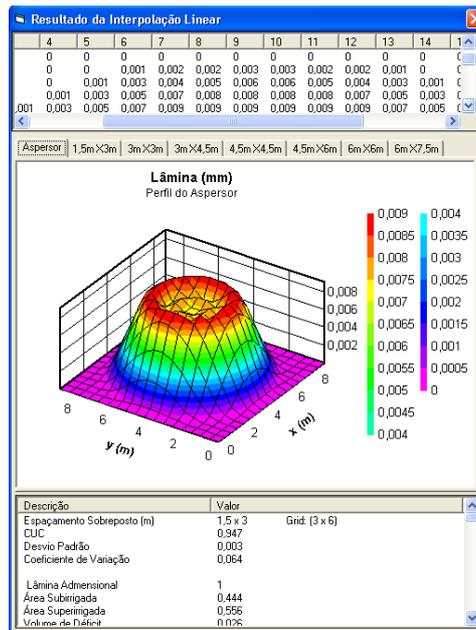


Figura 19 - Gráfico do perfil de distribuição de água (em mm) do microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm a uma pressão de 350 kPa e espaçamento entre coletores de 0,50 m, gerado pelo programa

Tabela 12 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 1,5 x 3,0 m

00,050	00,052	00,050
00,055	00,054	00,055
00,059	00,058	00,059
00,059	00,058	00,059
00,055	00,054	00,055
00,050	00,052	00,050

Tabela 13 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 3,0 m

00,024	00,026	00,026	00,026	00,026	00,024
00,026	00,027	00,029	00,029	00,027	00,026
00,026	00,029	00,033	00,033	00,029	00,026
00,026	00,029	00,033	00,033	00,029	00,026
00,026	00,027	00,029	00,029	00,027	00,026
00,024	00,026	00,026	00,026	00,026	00,024

Tabela 14 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 4,5 m

00,016	00,017	00,016	00,016	00,017	00,016
00,016	00,016	00,017	00,017	00,016	00,016
00,016	00,017	00,020	00,020	00,017	00,016
00,018	00,021	00,023	00,023	00,021	00,018
00,020	00,022	00,024	00,024	00,022	00,020
00,018	00,021	00,023	00,023	00,021	00,018
00,016	00,017	00,020	00,020	00,017	00,016
00,016	00,016	00,017	00,017	00,016	00,016
00,016	00,017	00,016	00,016	00,017	00,016

Tabela 15 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 4,5 m

00,007	00,008	00,010	00,015	00,017	00,015	00,010	00,008	00,007
00,008	00,008	00,011	00,014	00,016	00,014	00,011	00,008	00,008
00,010	00,011	00,012	00,013	00,014	00,013	00,012	00,011	00,010
00,015	00,014	00,013	00,013	00,013	00,013	00,013	00,014	00,015
00,017	00,016	00,014	00,013	00,013	00,013	00,014	00,016	00,017
00,015	00,014	00,013	00,013	00,013	00,013	00,013	00,014	00,015
00,010	00,011	00,012	00,013	00,014	00,013	00,012	00,011	00,010
00,008	00,008	00,011	00,014	00,016	00,014	00,011	00,008	00,008
00,007	00,008	00,010	00,015	00,017	00,015	00,010	00,008	00,007

Tabela 16 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 6,0 m

00,007	00,008	00,010	00,015	00,017	00,015	00,010	00,008	00,007
00,008	00,008	00,010	00,014	00,016	00,014	00,010	00,008	00,008
00,007	00,008	00,011	00,013	00,013	00,013	00,011	00,008	00,007
00,009	00,009	00,009	00,010	00,010	00,010	00,009	00,009	00,009
00,009	00,008	00,007	00,007	00,006	00,007	00,007	00,008	00,009
00,008	00,008	00,006	00,004	00,003	00,004	00,006	00,008	00,008
00,008	00,008	00,006	00,004	00,003	00,004	00,006	00,008	00,008
00,009	00,008	00,007	00,007	00,006	00,007	00,007	00,008	00,009
00,009	00,009	00,009	00,010	00,010	00,010	00,009	00,009	00,009
00,007	00,008	00,011	00,013	00,013	00,013	00,011	00,008	00,007
00,008	00,008	00,010	00,014	00,016	00,014	00,010	00,008	00,008
00,007	00,008	00,010	00,015	00,017	00,015	00,010	00,008	00,007

Tabela 17 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 6,0 m

00,007	00,008	00,007	00,009	00,009	00,008	00,008	00,009	00,009	00,007	00,008	00,007
00,008	00,007	00,008	00,009	00,008	00,008	00,008	00,008	00,009	00,008	00,007	00,008
00,007	00,008	00,009	00,009	00,007	00,006	00,006	00,007	00,009	00,009	00,008	00,007
00,009	00,009	00,009	00,007	00,005	00,003	00,003	00,005	00,007	00,009	00,009	00,009
00,009	00,008	00,007	00,005	00,003	00,002	00,002	00,003	00,005	00,007	00,008	00,009
00,008	00,008	00,006	00,003	00,002	00,000	00,000	00,002	00,003	00,006	00,008	00,008
00,008	00,008	00,006	00,003	00,002	00,000	00,000	00,002	00,003	00,006	00,008	00,008
00,009	00,008	00,007	00,005	00,003	00,002	00,002	00,003	00,005	00,007	00,008	00,009
00,009	00,009	00,009	00,007	00,005	00,003	00,003	00,005	00,007	00,009	00,009	00,009
00,007	00,008	00,009	00,009	00,007	00,006	00,006	00,007	00,009	00,009	00,008	00,007
00,008	00,007	00,008	00,009	00,008	00,008	00,008	00,008	00,009	00,008	00,007	00,008
00,007	00,008	00,007	00,009	00,009	00,008	00,008	00,009	00,009	00,007	00,008	00,007

Tabela 18 - Lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 7,5 m

00,007 00,008 00,007 00,009 00,009 00,008 00,008 00,009 00,009 00,007 00,008 00,007
00,008 00,007 00,008 00,009 00,008 00,008 00,008 00,008 00,009 00,008 00,007 00,008
00,007 00,008 00,009 00,009 00,007 00,006 00,006 00,007 00,009 00,009 00,008 00,007
00,009 00,009 00,009 00,007 00,005 00,003 00,003 00,005 00,007 00,009 00,009 00,009
00,008 00,008 00,007 00,005 00,003 00,002 00,002 00,003 00,005 00,007 00,008 00,008
00,006 00,005 00,004 00,003 00,001 00,000 00,000 00,001 00,003 00,004 00,005 00,006
00,003 00,002 00,002 00,001 00,000 00,000 00,000 00,000 00,001 00,002 00,002 00,003
00,001 00,001 00,000 00,000 00,000 00,000 00,000 00,000 00,000 00,000 00,001 00,001
00,003 00,002 00,002 00,001 00,000 00,000 00,000 00,000 00,001 00,002 00,002 00,003
00,006 00,005 00,004 00,003 00,001 00,000 00,000 00,001 00,003 00,004 00,005 00,006
00,008 00,008 00,007 00,005 00,003 00,002 00,002 00,003 00,005 00,007 00,008 00,008
00,009 00,009 00,009 00,007 00,005 00,003 00,003 00,005 00,007 00,009 00,009 00,009
00,007 00,008 00,009 00,009 00,007 00,006 00,006 00,007 00,009 00,009 00,008 00,007
00,008 00,007 00,008 00,009 00,008 00,008 00,008 00,008 00,009 00,008 00,007 00,008
00,007 00,008 00,007 00,009 00,009 00,008 00,008 00,009 00,009 00,007 00,008 00,007

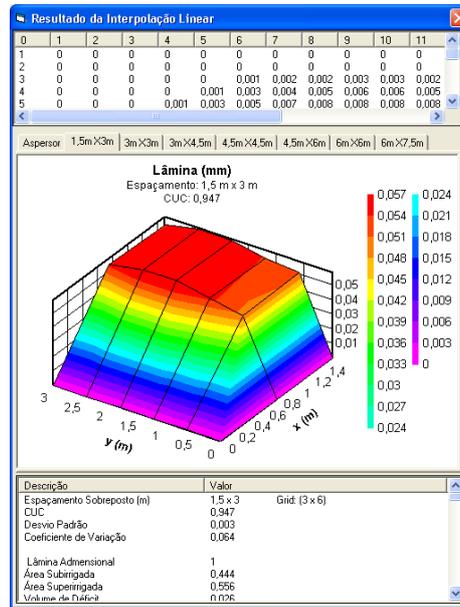


Figura 20 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 1,5 x 3,0 m

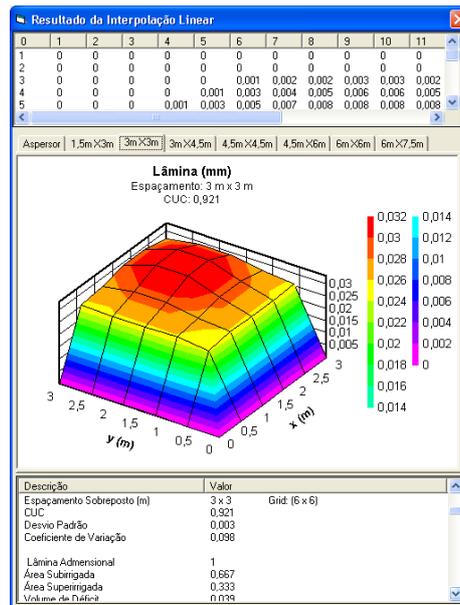


Figura 21 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 3,0 m

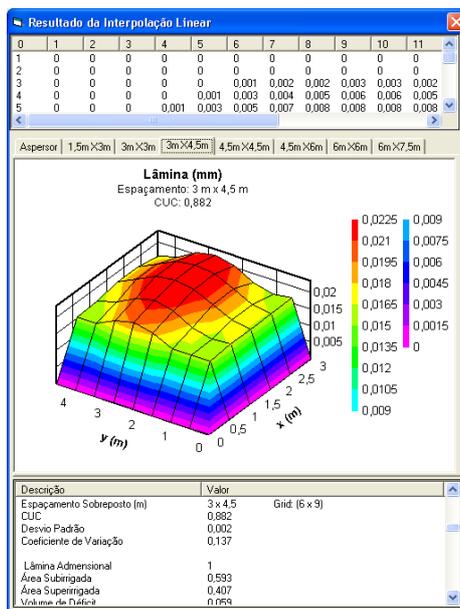


Figura 22 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 3,0 x 4,5 m

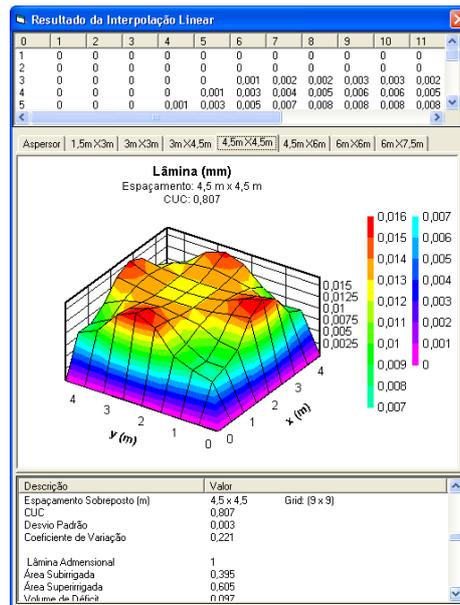


Figura 23 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 4,5 m

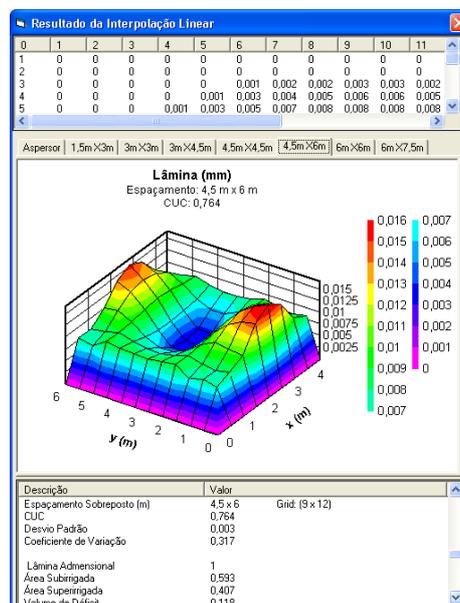


Figura 24 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 4,5 x 6,0 m

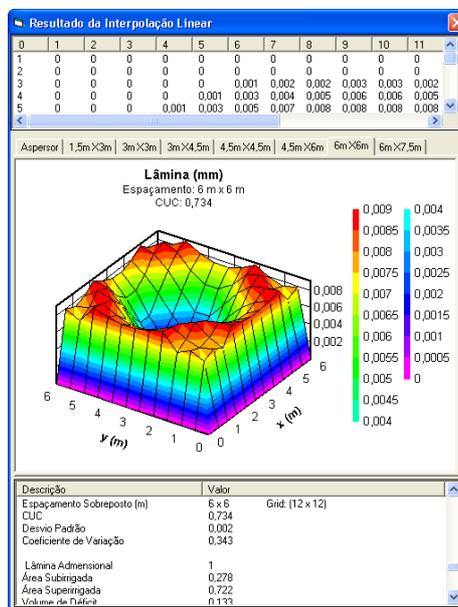


Figura 25 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm) para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 6,0 m

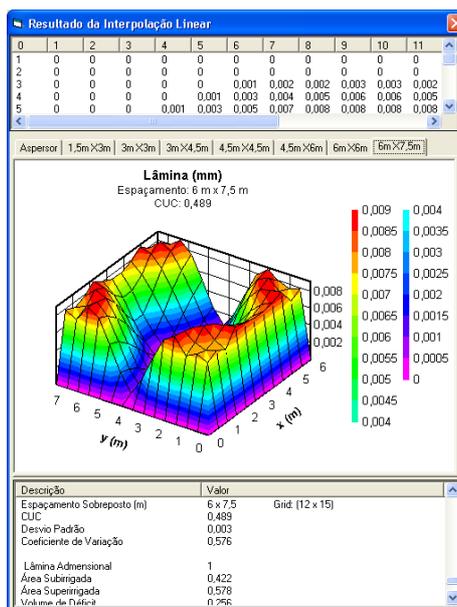


Figura 26 - Gráfico tridimensional da lâmina sobreposta, projetada (em mm), para o microaspersor Dan Sprinklers com bocal de 1,16 mm, a uma pressão de 350 kPa e espaçamento de 6,0 x 7,5 m

Cada gráfico de sobreposição de lâminas exibido na tela vem acompanhado de seus valores de CUC, desvio padrão, coeficiente de variação, área subirrigada e superirrigada, volume de déficit e excesso, além da eficiência de aplicação e armazenamento, de forma que os dados podem ser consultados na própria tela, pela lista imediatamente abaixo do gráfico, ou impressos em papel, no modelo de relatório abaixo, no qual se verifica que o maior valor para o Coeficiente Uniformidade de Christiansen (CUC) foi observado no espaçamento de 1,5 x 3,0 m, informação que pode ser confirmada observando-se que o respectivo gráfico (Figura 20) é o que revelou maior uniformidade.

RELATÓRIO DO PROGRAMA

Espaçamento Sobreposto (m) : 1,5 x 3 *Grid: (3 x 6)*
 CUC: 0,948
 Desvio Padrão: 0,003
 Coeficiente de Variação: 0,063
 Área Subirrigada: 0,444
 Área Superirrigada: 0,556
 Volume de Déficit: 0,026
 Volume de Excesso: 0,026
 Eficiência de Aplicação: 0,974
 Eficiência de Armazenamento ...: 0,974

Espaçamento Sobreposto (m) : 3 x 3 *Grid: (6 x 6)*
 CUC: 0,922
 Desvio Padrão: 0,003
 Coeficiente de Variação: 0,098
 Área Subirrigada: 0,667
 Área Superirrigada: 0,333
 Volume de Déficit: 0,039
 Volume de Excesso: 0,039
 Eficiência de Aplicação: 0,961
 Eficiência de Armazenamento....: 0,961

Espaçamento Sobreposto (m) : 3 x 4,5 *Grid: (6 x 9)*
 CUC: 0,882
 Desvio Padrão: 0,002
 Coeficiente de Variação: 0,137
 Área Subirrigada: 0,593
 Área Superirrigada: 0,407
 Volume de Déficit: 0,059
 Volume de Excesso: 0,059
 Eficiência de Aplicação: 0,941
 Eficiência de Armazenamento ..: 0,941

Espaçamento Sobreposto (m) : 4,5 x 4,5 *Grid: (9 x 9)*
 CUC: 0,807
 Desvio Padrão: 0,003
 Coeficiente de Variação: 0,221
 Área Subirrigada: 0,395
 Área Superirrigada: 0,605
 Volume de Déficit: 0,096
 Volume de Excesso: 0,096
 Eficiência de Aplicação: 0,904
 Eficiência de Armazenamento ...: 0,904

Espaçamento Sobreposto (m) ..	4,5 x 6	<i>Grid: (9 x 12)</i>
CUC	0,765	
Desvio Padrão	0,003	
Coefficiente de Variação	0,316	
Área Subirrigada	0,593	
Área Superirrigada	0,407	
Volume de Déficit	0,118	
Volume de Excesso	0,118	
Eficiência de Aplicação	0,882	
Eficiência de Armazenamento ...:	0,882	

Espaçamento Sobreposto (m) ..	6 x 6	<i>Grid: (12 x 12)</i>
CUC	0,734	
Desvio Padrão	0,002	
Coefficiente de Variação	0,342	
Área Subirrigada	0,278	
Área Superirrigada	0,722	
Volume de Déficit	0,133	
Volume de Excesso	0,133	
Eficiência de Aplicação	0,867	
Eficiência de Armazenamento ..:	0,867	

Espaçamento Sobreposto (m) ..	6 x 7,5	<i>Grid: (12 x 15)</i>
CUC	0,489	
Desvio Padrão	0,003	
Coefficiente de Variação	0,575	
Área Subirrigada	0,422	
Área Superirrigada	0,578	
Volume de Déficit	0,255	
Volume de Excesso	0,255	
Eficiência de Aplicação	0,745	
Eficiência de Armazenamento.....:	0,7	

4.2.3 Comparação entre o CATCH-3D e o Programa Desenvolvido

Quando comparados os programas CATCH-3D e RADGRID-3D, uma diferença que pode ser observada é o fato de que no programa CATCH-3D os volumes medidos nos coletores são registrados em ml e no programa

RADGRID-3D elas são registradas em cm^3 , como pode ser verificado na Figura 27 na qual é mostrada a entrada de dados referentes ao ensaio descrito na Tabela 7.

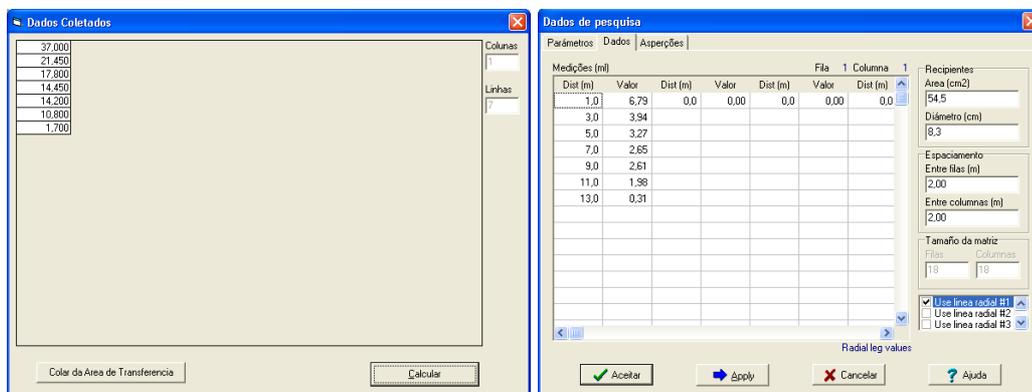


Figura 27 - Telas de entrada de dados de ensaio radial no programa RADMALHA-3D, em cm^3 e CATCH-3D, em ml

Tanto o CATCH-3D quanto o RADGRID-3D transformam as entradas de volumes coletados para mm para realizarem seus cálculos, de forma que o resultado final se mostra sempre semelhante. As Tabelas 19 e 20 mostram o resultado da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, realizada pelos dois programas em que se nota que os resultados de interpolação são rigorosamente os mesmos, levando à geração de valores de CUC iguais para os dois programas.

Tabela 19 - Resultado da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no CATCH-3D

			1,08	1,65	1,94	1,94	1,65	1,08			
	0,54	1,65	2,20	2,45	2,59	2,59	2,45	2,20	1,65	0,54	
		1,65	2,33	2,61	2,64	2,65	2,65	2,64	2,61	2,33	1,65
1,08	2,20	2,61	2,65	3,01	3,24	3,24	3,01	2,65	2,61	2,20	1,08
	1,65	2,45	2,64	3,01	3,52	3,88	3,88	3,52	3,01	2,64	2,45

1,94	2,59	2,65	3,24	3,88	6,20	6,20	3,88	3,24	2,65	2,59	1,94
1,94	2,59	2,65	3,24	3,88	6,20	6,20	3,88	3,24	2,65	2,59	1,94
1,65	2,45	2,64	3,01	3,52	3,88	3,88	3,52	3,01	2,64	2,45	1,65
1,08	2,20	2,61	2,65	3,01	3,24	3,24	3,01	2,65	2,61	2,20	1,08
	1,65	2,33	2,61	2,64	2,65	2,65	2,64	2,61	2,33	1,65	
	0,54	1,65	2,20	2,45	2,59	2,59	2,45	2,20	1,65	0,54	
			1,08	1,65	1,94	1,94	1,65	1,08			

Tabela 20 - Resultado da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no RADGRID-3D

00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
00,00	00,00	00,00	00,00	01,08	01,65	01,94	01,94	01,65	01,08	00,00	00,00	00,00	00,00
00,00	00,00	00,54	01,65	02,20	02,45	02,59	02,59	02,45	02,20	01,65	00,54	00,00	00,00
00,00	00,00	01,65	02,33	02,61	02,64	02,65	02,65	02,64	02,61	02,33	01,65	00,00	00,00
00,00	01,08	02,20	02,61	02,65	03,01	03,24	03,24	03,01	02,65	02,61	02,20	01,08	00,00
00,00	01,65	02,45	02,64	03,01	03,52	03,88	03,88	03,52	03,01	02,64	02,45	01,65	00,00
00,00	01,94	02,59	02,65	03,24	03,88	06,20	06,20	03,88	03,24	02,65	02,59	01,94	00,00
00,00	01,94	02,59	02,65	03,24	03,88	06,20	06,20	03,88	03,24	02,65	02,59	01,94	00,00
00,00	01,65	02,45	02,64	03,01	03,52	03,88	03,88	03,52	03,01	02,64	02,45	01,65	00,00
00,00	01,08	02,20	02,61	02,65	03,01	03,24	03,24	03,01	02,65	02,61	02,20	01,08	00,00
00,00	00,00	01,65	02,33	02,61	02,64	02,65	02,65	02,64	02,61	02,33	01,65	00,00	00,00
00,00	00,00	00,54	01,65	02,20	02,45	02,59	02,59	02,45	02,20	01,65	00,54	00,00	00,00
00,00	00,00	00,00	00,00	01,08	01,65	01,94	01,94	01,65	01,08	00,00	00,00	00,00	00,00
00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00

As Figuras 28 e 29 mostram o gráfico tridimensional com os dados das Tabelas 19 e 20, gerados pelos dois programas em que se nota que os gráficos são os mesmos, porém no RADGRID-3D as escalas e legenda que acompanham o gráfico facilitam o seu entendimento.

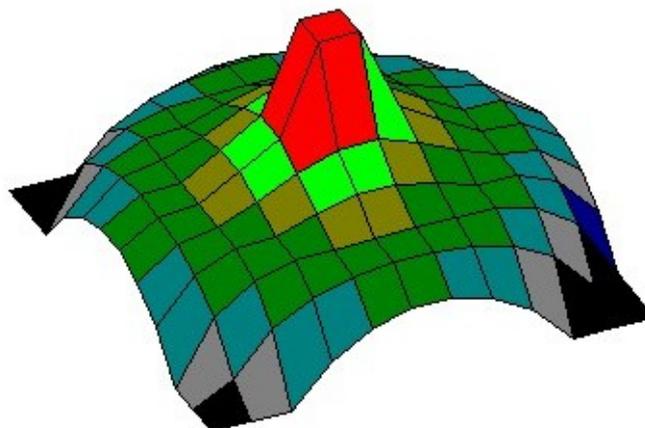


Figura 28 - Gráfico da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no CATCH-3D

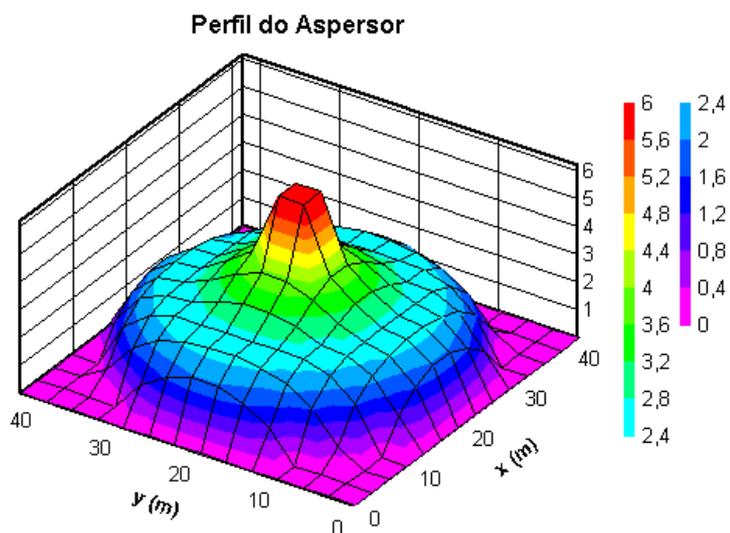


Figura 29 - Gráfico da interpolação linear dos dados do ensaio radial de precipitação, em mm, para um aspersor no RADGRID-3D

5 CONCLUSÃO

A comparação dos resultados obtidos pelo programa desenvolvido com os resultados obtidos no programa CATCH-3D, para uma série de dados de ensaios reais de laboratório para aspersor e microaspersor, em distribuições radial e malha dos coletores, mostrou os mesmos valores para o perfil de distribuição de água, uniformidade e eficiência de distribuição dos aspersores e microaspersores, indicando que os procedimentos matemáticos de ambos os programas são equivalentes.

Tanto para o ensaio radial, quanto para o ensaio de malha e para a sobreposição de lâminas, os gráficos gerados pelo programa se mostraram bastante precisos e mais facilmente interpretáveis que os do CATCH-3D, pelo fato da escala e legenda facilitarem a leitura.

Os dados podem ser facilmente localizados na interface do programa e juntamente com o relatório impresso trazem bastante conforto na entrada dos dados e análise dos resultados, tornando o programa bastante útil didaticamente.

A partir das observações realizadas nas simulações, conclui-se que ensaios radiais e em malha dão resultados semelhantes, mostrando que o ensaio radial é uma alternativa viável, equivalente e mais facilmente aplicável em laboratório e no campo.

De acordo com os resultados encontrados e a metodologia utilizada foi possível concluir que o programa se mostrou como uma boa ferramenta na análise de uniformidade e eficiência de distribuição de água, apresentando os resultados esperados.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; MERKLEY, G. P. **CATCH-3D Sprinkler irrigation data analysis e software**. Biological & Irrigation Engineering Department, Utah State University, and the Research & Extension Center of the University of Idaho. Disponível em: <http://www.engineering.usu.edu/bie/software/CATCH-3D.php>. Acesso em: 08 jun.2005.

BALTRA, A. O. C. Utilização da informática na irrigação. **Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 28, p.13-15, 1987.

BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995.

BRUNHEROTO, E. Csei/Abimaq: Indústria de equipamentos também busca a conservação da água. **Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 61/62, p. 65-67. 2004

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: CDS; UnB, 1999.

HYDESOFT COMPUTING. **DPLOT Jr** - Graph software for scientists e engineers. 2002. Disponível em: http://www.dplot.com/dplotjr_setup.exe. Acesso em: 18 de abril de 2005.

GUIMARAES, J. A. J. **Projeto otimizado de sistemas de irrigação localizada: nova concepção**. São Carlos, 1998. f. 177, Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrig. Drain**. Div. ASCE 104 (IR) p. 35-41, 1978.

MAZZER, H. R. **Comparação de dois métodos radiais de ensaios para microaspersores**. Cascavel, 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Oeste do Paraná.

MEDEIROS, P. C.; GOMES, H. P. Metodologia de otimização integrada para o dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB. v. 3, n. 3, p. 331-335, 1999.

NETAFIM. **Netafim Drip Irrigation**. Hydro Calc. Disponível em: <http://www.netafim.com>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2004.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 2, p.678-684, july/aug. 1974.

LIMA, A. F. **Alternância de posição de aspersores em sistema portátil de irrigação por aspersão**. Botucatu, 1995. 73 f. Dissertação (Mestrado) -Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP

LOPEZ, J. R. **Riego localizado II**. Madrid – ES: Ediciones Mundi-Prensa, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación., 1996.

MATOS, J. A.;NETO, J. D; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 3, p. 168-174, 1999.

CARDOSO NETO, A. **A irrigação e drenagem de áreas rurais**: Uma visão geral. ANA - Superintendência de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas,1999.

TECHTOOLS INC. **Rain Bird** - Agriculture: products: design software. Disponível em: http://www.rainbird.com/ag/products/accessories/design_software.htm. Acesso em: 2 de fevereiro de 2004.

VILAS BOAS, M. A. **Análise de métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores rotativos**. Lavras, 1994, 121 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP.