

Sete Lagoas, MG / Dezembro, 2024

## AvaPivo Programa computacional para avaliação da irrigação por pivô central



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 1518-4277 / e-ISSN 0000-0000

# **Documentos 281**

Dezembro, 2024

## **AvaPivo** Programa computacional para avaliação da irrigação por pivô central

*João Carlos Ferreira Borges Júnior  
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Sete Lagoas, MG  
2024

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rodovia MG 424, KM 65  
Caixa Postal 151  
35701-098 Sete Lagoas, MG  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>  
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Maria Marta Pastina*

Secretário-executivo

*Antônio Carlos de Oliveira*

Membros

*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica  
Matoso Campanha, Roberto dos Santos  
Trindade e Maria Cristina Dias Paes*

Edição executiva

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Revisão de texto

*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB-  
6/2749)*

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Foto da capa

*Adriane Duarte Coelho*

Publicação digital: PDF

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Nome-síntese da Unidade catalogadora

---

Borges Júnior, João Carlos Ferreira.

AvaPivo – programa computacional para avaliação da irrigação por pivô central / João Carlos Ferreira Borges Júnior, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2024.

PDF (27 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 281).

1. Irrigação. 2. Método de irrigação. 3. Programa de computador. I. Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de. II. Título. III. Série.

---

CDD (21. ed.) 631.587

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)*

©2024 Embrapa

## **Autores**

---

**João Carlos Ferreira Borges Júnior**

DSc em Engenharia Agrícola, Recursos Hídricos e Ambientais, professor da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus de Sete Lagoas, MG.

**Camilo de Lelis Teixeira de Andrade**

Engenheiro Agrícola, PhD em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

# Apresentação

---

A agricultura irrigada é a atividade econômica que amplia o manejo e performance de culturas comerciais – agrícolas, florestais, ornamentais e pastagens, com práticas de aplicação, retirada e uso consuntivo de água – consumida pelos organismos, constituição de tecidos e incorporada em produtos - transpiração e evaporação, e percolada para os solos e drenada para os corpos de água. A agricultura irrigada é a técnica de complementar a água disponível às plantas, absorvida especialmente pelas raízes, durante a falta de chuvas e baixas reservas de água armazenada no solo. Os sistemas irrigados associados ao planejamento de manejo quanto à quantidade, forma e frequência de água que a planta realmente precisa, contribuem para uma equação importante que denominamos de “água na agricultura” e “agricultura irrigada”, focando a dinâmica da água no continuum solo-água-planta-atmosfera.

A agricultura irrigada abarca um conjunto de técnicas que possibilitam expressivos incrementos da produção agrícola, seja pela otimização de uso das áreas já empregadas em sistemas produtivos, seja pela expansão da fronteira agrícola. Possibilita a incorporação de novas áreas e o desenvolvimento de ciclos agrícolas em situações de déficit do balanço hídrico climatológico. Entretanto, a elevada demanda por recursos hídricos indica a necessidade de que a irrigação seja feita de forma eficiente, quanto ao uso da água e da energia. A tendência de redução da relação entre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em diversas unidades hidrográficas brasileiras constitui um fator para que ações técnicas relativas a projetos de irrigação sejam cada vez mais requeridas por parte da sociedade.

O método de irrigação por pivô central é uma das alternativas na busca de elevadas eficiências de irrigação. Ele foi desenvolvido a partir da década de 1950, nos Estados Unidos, e observa-se um aumento da área irrigada por este método em vários países, inclusive no Brasil. Esse aumento da área irrigada por pivô central decorre das vantagens do método, que é adaptável a amplo conjunto de culturas, e apresenta baixo requerimento de mão de

obra e potencial de obtenção de elevada eficiência de uso da água, além da baixa demanda energética, comparativamente a alguns outros tipos de sistemas pressurizados para irrigação. Contudo, é necessário que seja feito o correto acompanhamento de campo quanto ao monitoramento de perdas de qualidade de irrigação, em especial pela redução da uniformidade, o que pode resultar em áreas com déficit hídrico e/ou elevadas perdas por percolação.

Na norma ABNT NBR ISO 11545, são especificados os procedimentos para a determinação da uniformidade de distribuição da água por sistemas de irrigação por pivô central, os quais são objeto deste Documento, além do sistema linear móvel (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016). O programa computacional AvaPivo foi desenvolvido como uma ferramenta de apoio ao cálculo do coeficiente de uniformidade radial, previsto na norma, além do coeficiente de distribuição, da porcentagem de área adequadamente irrigada, dos parâmetros de eficiência de irrigação, da lâmina média ponderada e da geração de gráfico de distribuição de lâmina de irrigação em porcentagens de área irrigada e de gráficos de distribuição em diferentes alinhamentos de coletores. A aplicação do programa AvaPivo se adequa à norma técnica, mas ele pode também ser executado a partir de configurações alternativas da avaliação de campo.

Além do uso como ferramenta computacional, o programa AvaPivo pode também contribuir para a difusão dos procedimentos técnicos de avaliação da irrigação por pivô central, tendo como público-alvo irrigantes, profissionais e estudantes de graduação e pós-graduação, de cursos relacionados à agricultura irrigada. A demanda por recursos hídricos indica a necessidade de que a irrigação seja feita de forma eficiente, quanto ao uso da água e da energia. A tendência de redução da relação entre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em diversas unidades hidrográficas brasileiras constitui um fator para que ações técnicas relativas a projetos de irrigação sejam cada vez mais requeridas por parte da sociedade.

# Sumário

---

<b>Introdução</b>	6
<b>Considerações iniciais</b>	6
<b>Interface</b>	6
Guia 'Inicial'	8
Guia 'Dados complementares'	10
Guia 'Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)'	12
Guia 'Gráfico para porcentagem de área'	14
Guia 'Resultados'	15
<b>Guia rápido de utilização</b>	16
Baixando e descompactando o programa	16
Utilizando arquivos gerais de exemplo	17
Utilizando arquivos de tabelas como parte dos dados de entrada	18
Preenchimento com novos dados de entrada	20
<b>Guia técnico</b>	20
Aspectos gerais do procedimento de avaliação	20
Coeficiente de uniformidade radial	22
Coeficiente de distribuição	23
Área irrigada verificada no teste	23
Eficiência de distribuição	25
Volume aplicado na área	25
Lâmina aplicada na área	25
Eficiência de aplicação em potencial e eficiência de aplicação	25
Porcentagem de área adequadamente irrigada	26
<b>Considerações finais</b>	26
<b>Referências</b>	26

## Introdução

AvaPivo é um programa computacional ou aplicativo para computador (app) proposto como ferramenta para auxiliar no processamento de informações coletadas em testes de campo de avaliação da uniformidade de distribuição de água por pivô central. É um software desenvolvido no ambiente de desenvolvimento integrado Netbeans, o qual utiliza a linguagem de programação interpretada orientada a objetos Java.

O programa é distribuído gratuitamente juntamente com tutorial, arquivos de exemplo e arquivos de biblioteca. Como foi desenvolvido em Java, não é necessário instalar o programa. Basta descompactar o arquivo que contém a pasta de distribuição e, na pasta descompactada, clicar no arquivo AvaPivo\_2024\_001.jar.

A pasta com o programa e os demais arquivos podem, opcionalmente, ser armazenados em um pen drive, executando-se o programa a partir desse dispositivo. O programa será executado independentemente do sistema operacional, requerendo-se, contudo, que o usuário tenha a máquina virtual Java (Java Runtime Environment, JRE) instalada em seu computador. A JRE pode ser obtida gratuitamente no site da desenvolvedora Java (2024).

Além de servir como ferramenta computacional no processamento de dados obtidos em campo, de testes de avaliação de uniformidade de irrigação por pivô central, o material distribuído visa a auxiliar nos estudos de disciplinas de graduação na área de Irrigação.

Testes preliminares têm sido desenvolvidos, buscando-se detectar possíveis inconsistências nos resultados. Esforços são feitos no sentido de produzir um software consistente, de baixo requerimento computacional e que contribua para os estudos na área em que se aplica. Contudo, frisa-se que cabe ao usuário a responsabilidade na interpretação, identificação de inconsistências e utilização dos dados gerados. Críticas e sugestões auxiliarão no aprimoramento do produto, podendo ser encaminhadas por meio do site [www.jcborges.eng.br](http://www.jcborges.eng.br) (Borges Júnior, 2024), no qual o programa computacional pode ser obtido.

## Considerações iniciais

Na versão AvaPivo 2024-v01, o formato da tabela com dados de campo de lâminas ou volumes obtidos nos coletores adequa-se à possibilidade prevista na norma ABNT NBR ISO 11545:2016, que prevê diferentes posicionamentos dos coletores no campo em diferentes alinhamentos radiais (no programa e neste Documento, os termos “alinhamentos radiais” e “raios” são utilizados de forma intercambiável) (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016).

Em cada análise, podem ser considerados dados de um a quatro alinhamentos radiais (raios) de coletores. Para cada alinhamento, haverá duas colunas para entrada de dados, sendo a primeira para a distância do coletor ao ponto pivô (centro da área irrigada) e a segunda para a leitura feita no coletor, ou seja, volume coletado (mL) ou lâmina coletada (mm). Adicionalmente, a quantidade de dados pode ser diferente nos alinhamentos.

Neste tutorial, será utilizado como convenção escrever componentes do programa computacional entre aspas simples. Diferenças em relação às figuras neste tutorial e a interface do programa podem ocorrer por causa de atualizações do software e configurações ou sistema operacional específicos de cada máquina.

Utilizou-se o sistema operacional Windows 10 para desenvolvimento e teste do software. O programa foi desenvolvido para que se possa trabalhar tanto com vírgula quanto com ponto como separador decimal. O desenvolvimento foi realizado utilizando-se monitor com resolução de 1920 x 1080. Resoluções diferentes podem acarretar inadequações na visualização da interface.

## Interface

Na apresentação da interface, figuras de versões anteriores poderão ser utilizadas, desde que não haja comprometimento da informação.

A interface do programa é apresentada na (Figura 1). Os componentes principais são o ‘Menu’ e o ‘painel com guias de acesso’. Os arquivos gerais salvos pelo programa têm extensão “\*.ava”, sendo, essencialmente, arquivos texto, que podem ser abertos por qualquer programa para edição de texto, como o Bloco de Notas ou o Word (Microsoft Corporation). Caso os arquivos sejam abertos por outro programa, é importante não alterar a disposição dos dados, o que poderia impossibilitar a abertura desse arquivo no AvaPivo.

O botão 'Executar' será disponibilizado quando um arquivo de dados de entrada for aberto ou salvo.

Os componentes do 'Menu' são apresentados na (Figura 2). O menu 'Arquivo' apresenta um conjunto de opções para abertura e salvamento

de arquivos gerais, opção para limpar a interface e preparar um novo arquivo de entrada e opção para finalizar o programa.

O menu 'Desenvolvimento' apresenta a opção para acesso (hyperlinks) a informações sobre o desenvolvimento do programa (Figura 3).

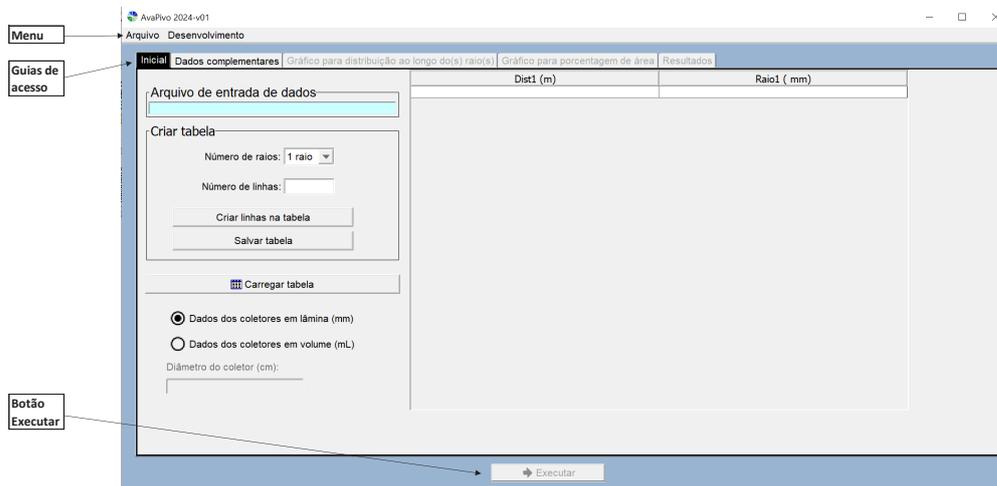


Figura 1. Interface de abertura do programa AvaPivo.

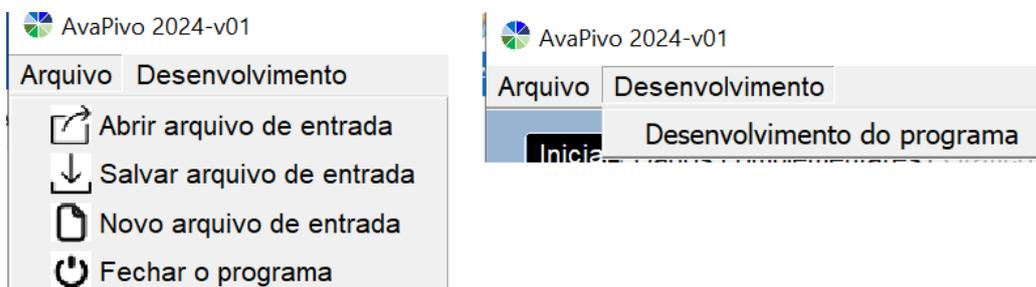


Figura 2. Componentes do Menu do programa AvaPivo.

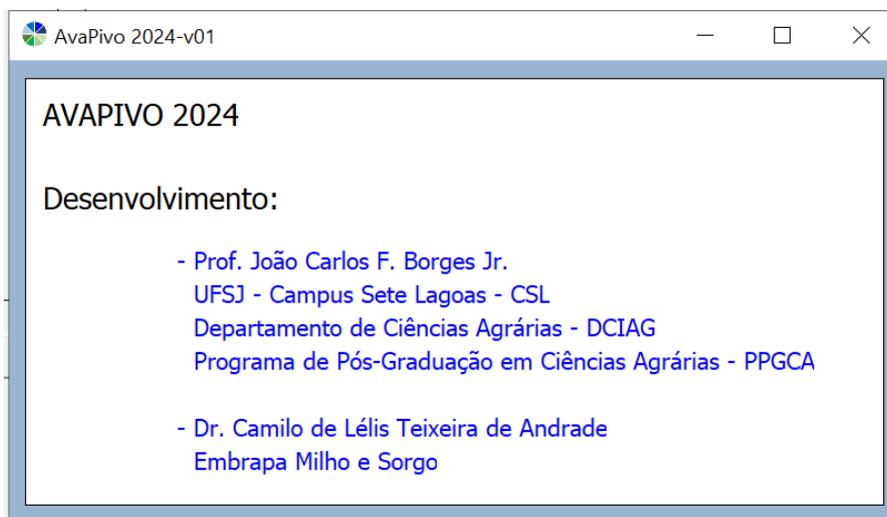


Figura 3. Formulário com informações sobre o desenvolvimento do programa AvaPivo.

O painel com guias de acesso (Figura 1) traz as seguintes guias:

- 1) Inicial.
- 2) Dados complementares.
- 3) Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s).
- 4) Gráfico para porcentagem de área.
- 5) Resultados.

As duas primeiras guias são disponibilizadas logo na abertura do programa, para entrada de dados. A terceira guia será disponibilizada com a entrada de

dados na tabela da primeira guia, e as duas últimas serão disponibilizadas após a execução do programa. A execução do programa é acionada clicando-se no botão 'Executar' (Figura 1).

## Guia 'Inicial'

A guia 'Inicial' é apresentada na Figura 4 (antes da entrada de dados) e na (Figura 5) (após a entrada de dados).

Figura 4. Guia 'Inicial' com planilha vazia.

Dist1 (m)	Raio1 (mL)	Dist2 (m)	Raio2 (mL)	Dist3 (m)	Raio3 (mL)
15	14	20	14	25	7
25	11	30	7	35	9
35	14	40	23	45	8
45	18	50	12	55	13
55	17	60	13	65	17
65	14	72	14	75	13
75	15	80	10	85	24
85	20	90	12	95	17
95	21	100	8	105	17
105	16	110	10	115	18
117	18	120	10	125	20
125	16	130	11	135	20
135	19	143	11	145	18
145	18	150	9	155	13
155	20	160	13	165	21
165	19	170	15	175	22
175	23	180	16	185	18
185	25	190	15	195	19
195	24	200	27	205	17
205	48	210	40	212	33
215	27			220	33

Figura 5. Guia 'Inicial' com entrada de dados realizada.

No canto superior esquerdo, há o campo em que se registra o caminho e o nome do arquivo geral aberto ou salvo, que também aparecerá

na barra de títulos (faixa superior do formulário), após o nome e a versão do programa (Figura 6).

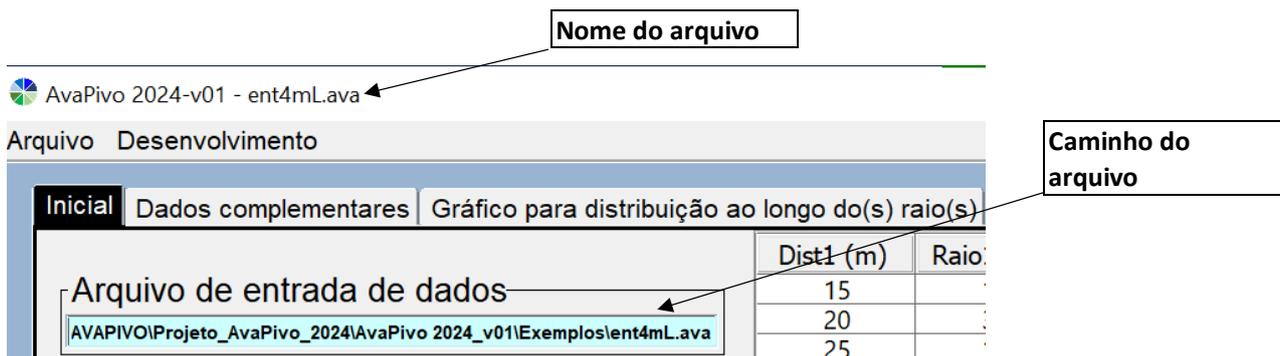


Figura 6. Detalhe da guia ‘Inicial’ indicando-se os campos, o nome e o caminho do arquivo de dados aberto ou salvo.

Na guia “Inicial” se faz a entrada de dados de distância ao ponto pivô e de volumes ou lâminas, obtidos no ensaio de campo em coletores posicionados em diferentes alinhamentos. Para entrada de dados, é necessário, “inicialmente”, dimensionar a tabela conforme o número de alinhamentos radiais (raios) e o número máximo de coletores (número de

linhas na tabela) entre os diferentes alinhamentos radiais (Figura 7). Observa-se que pode haver números diferentes de coletores em cada alinhamento. No exemplo ilustrado na (Figura 5), há três pares de alinhamentos radiais, sendo que o segundo alinhamento radial tem um coletor a menos do que os demais.

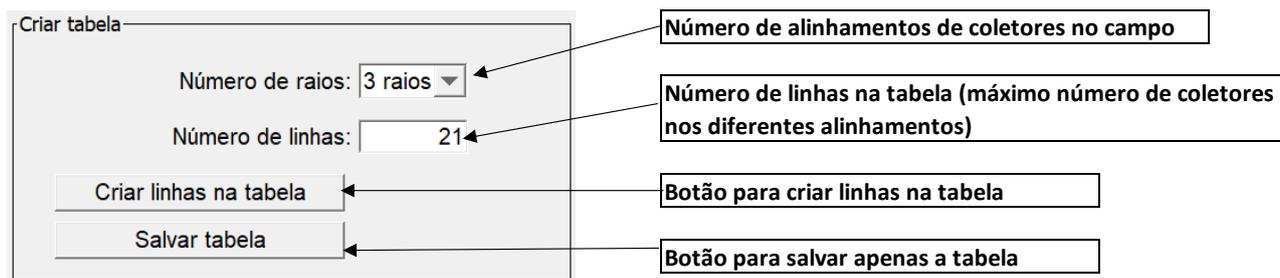


Figura 7. Detalhe da guia ‘Inicial’ indicando-se os campos e botões para criação de tabela, para entrada de dados e para salvamento da tabela (salva apenas os dados da tabela).

Tendo como base os dados ilustrados na (Figura 7), é criada uma tabela com seis colunas, sendo duas colunas para cada alinhamento radial de coletores. Na primeira coluna, são informadas as distâncias de coletores no primeiro alinhamento. Na segunda coluna, são registradas as leituras de volume ou lâmina referentes a cada distância do primeiro alinhamento. Esse padrão se repete para o segundo e o terceiro alinhamentos. Os dados podem, então, ser preenchidos, conforme ilustrado na (Figura 5). Após preenchimento da tabela, pode-se salvar a tabela como arquivo texto, por meio do botão ‘Salvar tabela’ (Figura 7).

Opcionalmente, para evitar a entrada de dados na tabela diretamente no programa, eles podem ser criados em um software de

planilha eletrônica, como o Excel ou o Calc, e o arquivo pode ser salvo como arquivo texto separado por tabulações (.txt). De acordo com o exemplo, esse arquivo deve ter três colunas. Na primeira coluna, indica-se qual o alinhamento radial. Recomenda-se utilizar uma identificação para o alinhamento radial (sem espaço entre caracteres), como R1 para o alinhamento radial 1, R2 para o alinhamento radial 2, e assim sucessivamente. A segunda coluna refere-se aos dados de distância, e a terceira, aos dados de leitura de volumes (mL) ou lâminas (mm). Um exemplo da configuração desse tipo de arquivo é apresentado na (Figura 8), com dados utilizados na tabela da (Figura 5). Juntamente com o programa, são disponibilizados arquivos exemplos de tabela.

R1	15	14
R1	25	11
R1	35	14
R1	45	18
R1	55	17
R1	65	14
R1	75	15
R1	85	20
R1	95	21
R1	105	16
R1	117	18
R1	125	16
R1	135	19
R1	145	18
R1	155	20
R1	165	19
R1	175	23
R1	185	25
R1	195	24
R1	205	48
R1	215	27
R2	20	14
R2	30	7
R2	40	23
R2	50	12
R2	60	13
R2	72	14
R2	80	10
R2	90	12
R2	100	8
R2	110	10
R2	120	10
R2	130	11
R2	143	11
R2	150	9
R2	160	13
R2	170	15
R2	180	16
R2	190	15
R2	200	27
R2	210	40
R3	25	7
R3	35	9
R3	45	8
R3	55	13
R3	65	17
R3	75	13
R3	85	24
R3	95	17
R3	105	17
R3	115	18
R3	125	20
R3	135	20
R3	145	18
R3	155	13
R3	165	21
R3	175	22
R3	185	18
R3	195	19
R3	205	17
R3	212	33
R3	220	33

**Figura 8.** Configuração de arquivo texto para entrada de dados na tabela.

Também na guia 'Inicial', deve-se informar se os dados obtidos nos coletores, registrados na tabela, referem-se a lâminas (mm) ou volumes (mL). Caso os dados sejam fornecidos em volume, é necessário informar o diâmetro (cm) da seção transversal do coletor. Nos exemplos ilustrados na (Figura 5) (canto inferior esquerdo) e Figura 9, indica-se um diâmetro de 8,0 cm.

Dados dos coletores em lâmina (mm)  
 Dados dos coletores em volume (mL)  
 Diâmetro do coletor (cm):

**Figura 9.** Detalhe da guia 'Inicial' apontando-se os campos para indicar a unidade dos registros nos coletores (mm ou mL). Caso os dados estejam em mL, ou seja, volume, indicar diâmetro da seção transversal do coletor para cálculo da área transversal.

Se, após os dados terem sido inseridos na tabela, a opção de unidade de lâmina for alterada para volume, a tabela será apagada, gerando transtorno para preenchê-la novamente. Assim, após o preenchimento da tabela, ela deve ser salva. É recomendável também que o arquivo da tabela seja preparado em planilha eletrônica e salvo como arquivo texto (Figura 8).

## Guia 'Dados complementares'

Essa é a segunda guia para entrada de dados (Figura 10). O separador decimal pode ser vírgula ou ponto, mas deve ser consistente em cada arquivo. Os dados são organizados em três conjuntos:

- 6) Dados do equipamento.
- 7) Informações sobre o teste.
- 8) Dados do teste.

Figura 10. Guia ‘Dados complementares’ com entrada de dados.

No conjunto ‘Dados do equipamento’ (Figura 11), deve-se considerar como comprimento da linha lateral toda a extensão desde o ponto pivô até a extremidade oposta, compreendendo o vão entre a torre central e a primeira torre móvel, os vãos entre as torres móveis e o balanço final (informar o comprimento deste). É solicitada a informação se há ou não canhão hidráulico na extremidade final. Em caso positivo, deve-se informar o alcance do jato do canhão hidráulico final. Deve também

ser informada a existência de reguladores de pressão.

O campo ‘Informações adicionais sobre o teste’ (Figura 12) não tem limitação de caracteres. Sugere-se que se registrem informações que venham a ser relevantes para interpretação dos resultados obtidos, como se há lavoura na área, que tipo de lavoura, se havia obstruções na área, quais eram as condições de vento, se choveu durante o teste ou parte do teste, etc.

Figura 11. Detalhe na guia ‘Dados complementares’ com dados do equipamento.

Figura 12. Detalhe na guia ‘Dados complementares’ com descrição de informações sobre o teste.

Na parte inferior da guia ‘Dados complementares’, existe um conjunto de campos referentes aos ‘Dados do teste’ (Figura 13). A formatação é livre para data ou hora. A irrigação real necessária (IRN) antes do teste deve ser informada, com base em balanço hídrico na zona radicular e em dados meteorológicos. Possivelmente, a metodologia do balanço hídrico é a mais difundida e prática como base para o manejo de irrigação. Nesse contexto, a IRN é a depleção de água na zona radicular, isto é, a lâmina necessária para elevar o teor de água atual para o teor de água na capacidade de campo. Juntamente com esses campos, dados de carga de pressão no início e término da linha lateral, regulagem de velocidade e desnível do terreno são registrados na avaliação, não interferindo

no processamento dos cálculos. Deve-se ter atenção especial em relação aos campos ‘Vazão de entrada na linha lateral ( $m^3 h^{-1}$ )’ e ‘Tempo para completar a volta (h)’, que serão considerados nos cálculos.

O usuário pode também indicar se serão considerados limites para área irrigada. Esses são limites superior e inferior para cálculo da área irrigada. O limite inferior demarca o início da área irrigada a partir do ponto pivô, ou seja, exclui possível trecho inicial sob a linha lateral no qual não haja irrigação. Portanto, o limite inferior é a distância entre o ponto pivô e o início da área irrigada. O limite superior é definido pela distância entre o último ponto na área irrigada que recebe irrigação e o ponto pivô. Outras informações sobre o limite superior e inferior são abordadas no item 5.4.

Dados do teste	
Data do teste:	02/12/2023
IRN (mm):	3
Carga de pressão no início da linha lateral (m.c.a.):	40
Vazão de entrada na linha lateral ( $m^3/h$ ):	80
Regulagem da velocidade (%):	50
Horário de início do teste:	15h
Carga de pressão no final da linha lateral (m.c.a.):	33
Desnível do terreno ao longo do raio avaliado (m):	3
Tempo para completar a volta (h):	8,99
<input type="checkbox"/> Indicar limites para área irrigada Limite inferior (m): <input type="text"/> Limite superior (m): <input type="text"/>	

Figura 13. Detalhe na guia ‘Dados complementares’ com dados do teste.

## Guia ‘Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)’

Esta guia é disponibilizada assim que a tabela com os dados de campo (guia ‘Inicial’) é aberta ou salva ou quando um arquivo geral é aberto ou salvo por meio do menu principal (Figura 2). Ela apresenta o gráfico de distribuição de volumes ou de lâminas coletadas no teste de campo ao longo do(s) raio(s) avaliado(s). Um a quatro raios (alinhamentos radiais) de coletores por análise podem ser considerados. Na Figura 14, apresenta-se o

resultado com distribuição de valores de lâmina (mm) para uma avaliação com três alinhamentos de coletores. Os campos presentes nesta guia possibilitam apresentação de rótulos, mudança de lâmina para volume e retirada da visualização de um ou mais raios. A lâmina média ponderada (LMP) ou o volume médio ponderado também são apresentados no gráfico, sendo o valor informado na parte central superior da guia. O valor de LMP apresentado refere-se ao cálculo para o conjunto de alinhamentos radiais de coletores avaliados (item 5.2).

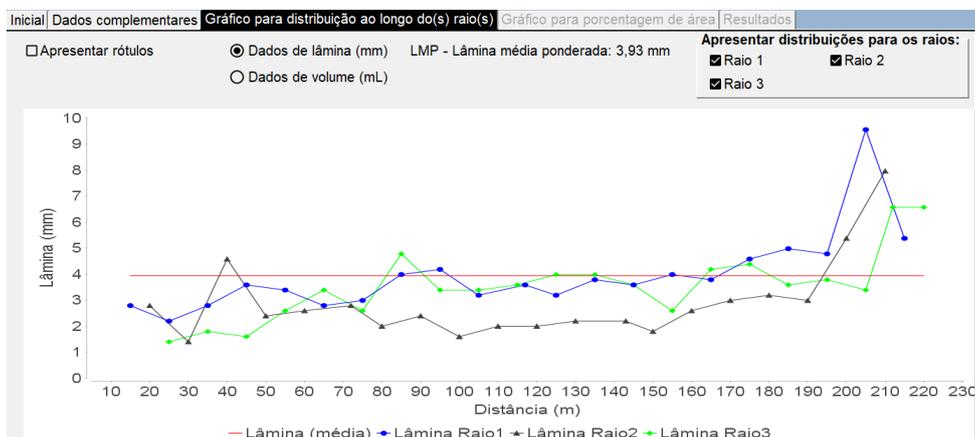


Figura 14. Guia ‘Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)’ com gráfico de distribuição para três raios avaliados.

Um exemplo de gráficos de distribuição de volumes coletados, para três raios avaliados, com

indicação de valores (rótulos), é apresentado na Figura 15.

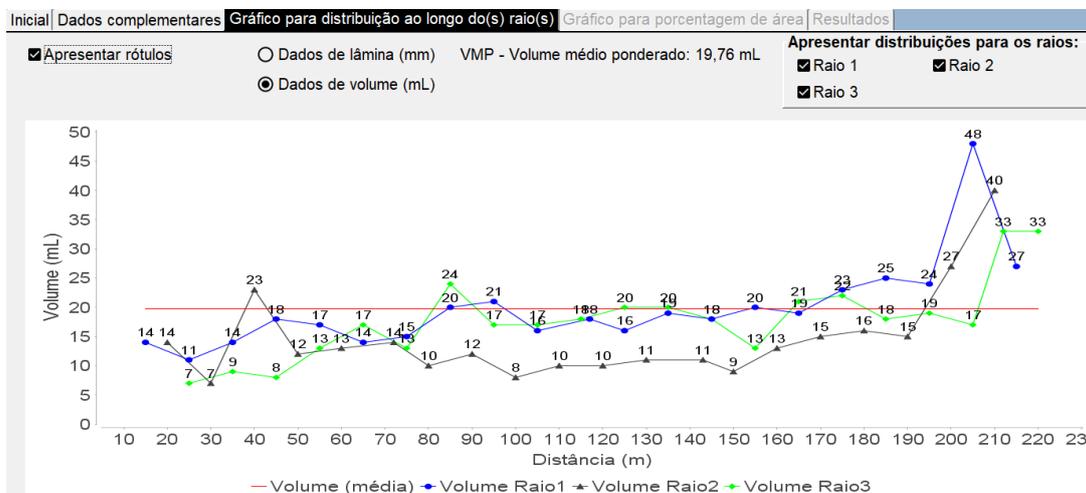


Figura 15. Guia 'Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)' com gráfico de distribuição de volumes coletados para três raios, com apresentação de rótulos.

Clicando-se com o botão direito sobre o gráfico, aciona-se um menu tipo pop up que possibilita salvá-lo ou copiá-lo para colar em outros arquivos, como de edição de texto ou planilhas. Também se podem ajustar propriedades do gráfico. Esses

recursos são ilustrados na (Figura 16). Clicando-se com o botão esquerdo do mouse sobre o gráfico, mantendo-se pressionado e arrastando-se, gera-se uma visualização em zoom da área de interesse (Figura 17).

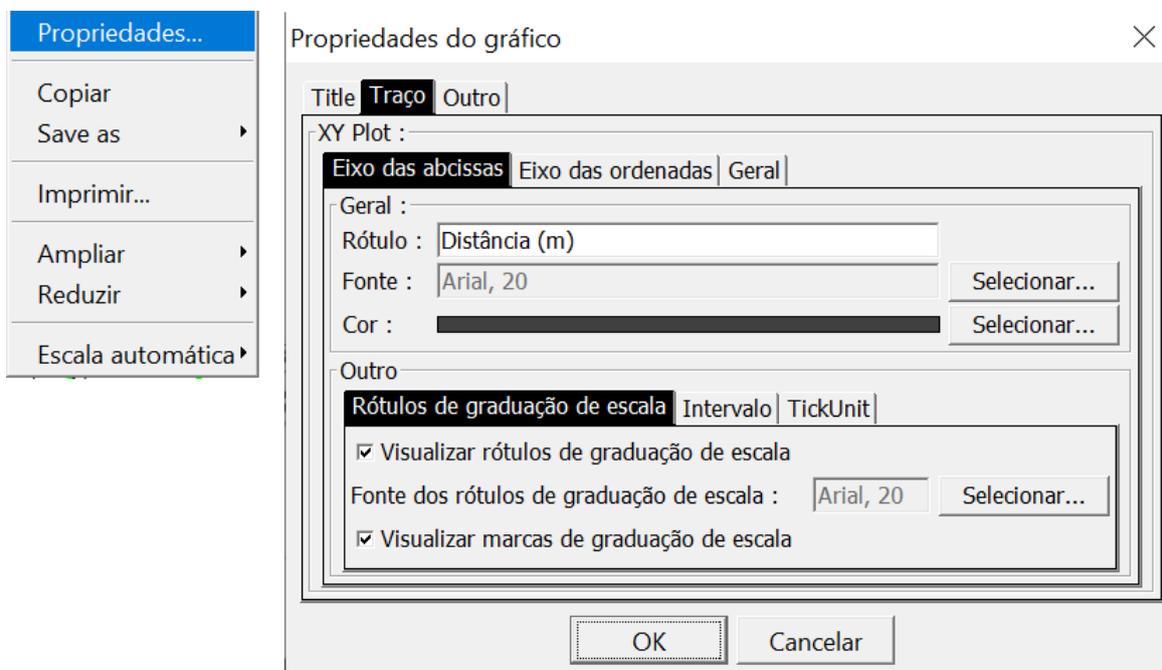


Figura 16. Menu pop up e formulário para configuração do gráfico, acessado clicando-se com o botão direito do mouse sobre o gráfico.

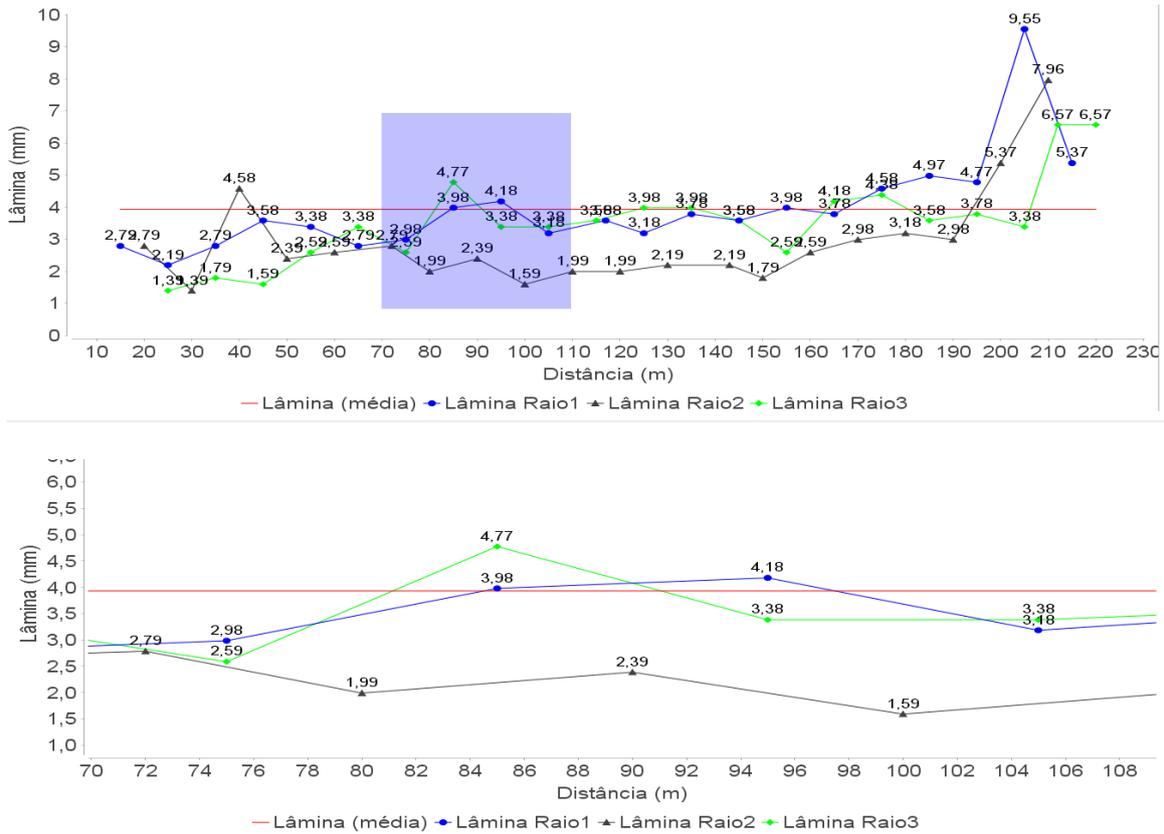


Figura 17. Exemplo de utilização do recurso zoom no gráfico.

### Guia ‘Gráfico para porcentagem de área’

Após ter sido feita a entrada de dados, por abertura de arquivo ou salvando um arquivo após preenchimento dos campos nas duas primeiras guias, o botão ‘Executar’ (Figura 1) será disponibilizado para acionar a

realização dos cálculos. Após a execução, as duas últimas guias serão disponibilizadas. A guia ‘Gráfico para porcentagem de área’ é apresentada na Figura 18, com gráfico e tabela de lâmina versus porcentagem da área irrigada. No gráfico, também se apresentam a IRN e a lâmina média ponderada. Acima do gráfico, informa-se a porcentagem da área adequadamente irrigada.

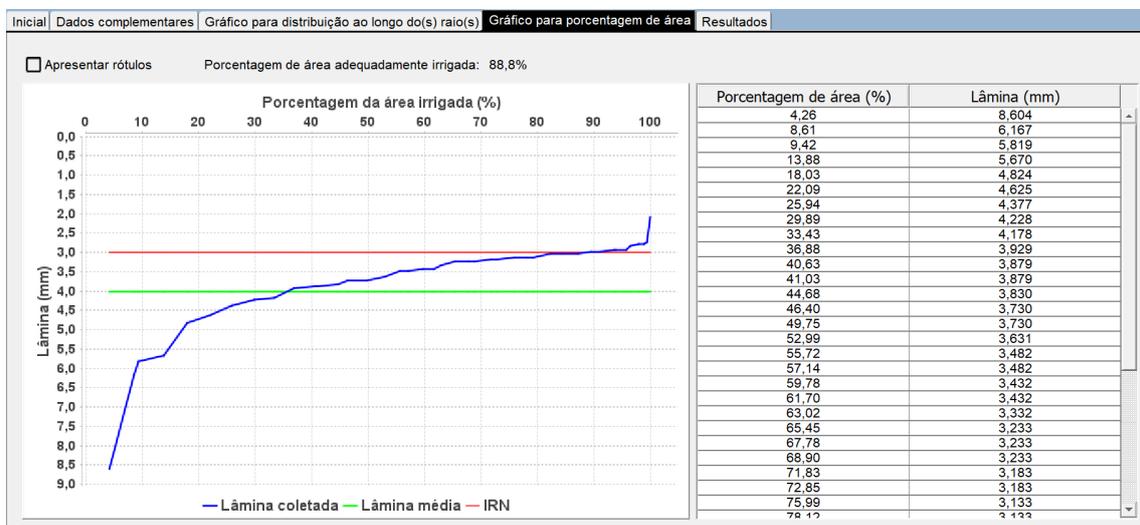
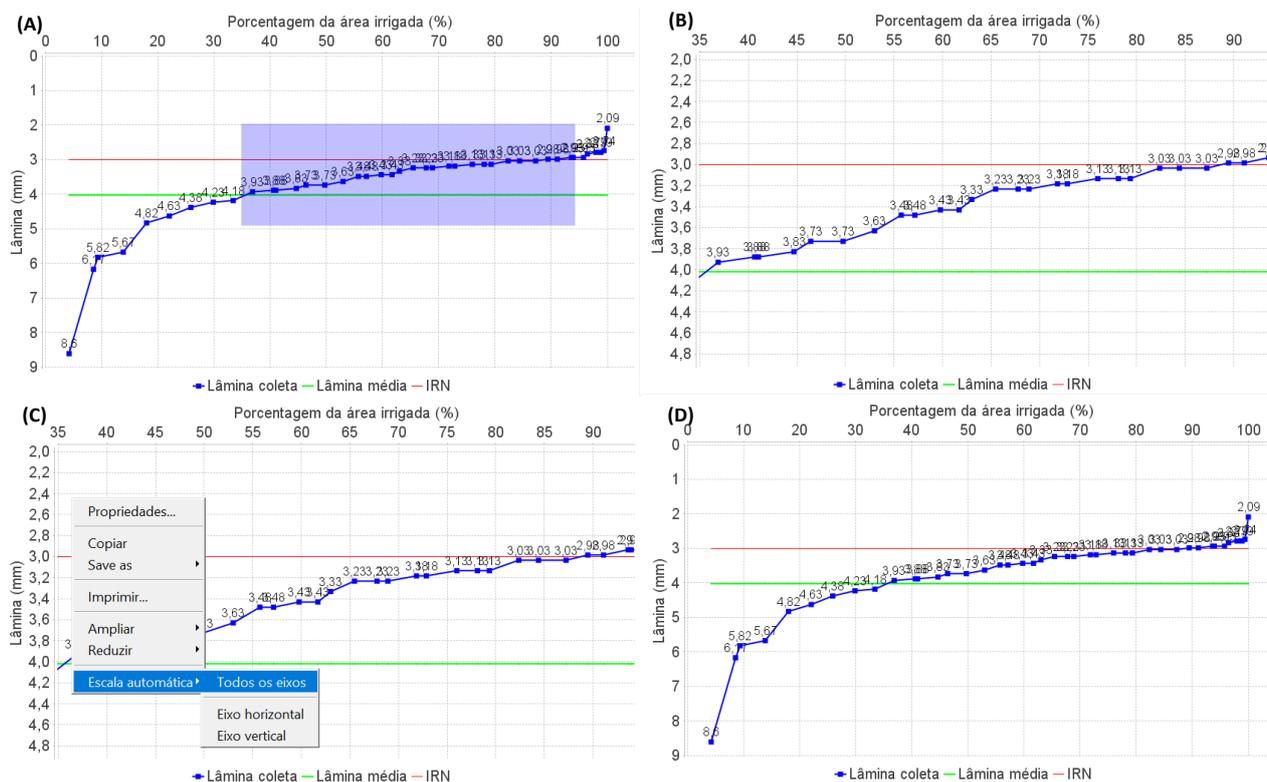


Figura 18. Guia ‘Gráfico para porcentagem de área’, apresentando gráfico e tabela de lâmina versus porcentagem de área irrigada.

O usuário pode optar por apresentar os rótulos para lâminas coletadas. Os recursos de cópia e configuração (acessados com o botão direito do mouse) também são disponibilizados para esse gráfico, assim como o zoom. Clicando-se com o botão esquerdo do mouse sobre o gráfico, mantendo-o

pressionado e arrastando o ponteiro delimita-se a região do zoom. Clicando-se novamente com o botão direito do mouse, acessando o menu pop up ‘Escala automática’\‘Todos os eixos’, será restabelecido o visual original do gráfico. Este procedimento é ilustrado na Figura 19.



**Figura 19.** Uso da ferramenta de zoom (A e B) e restabelecimento da escala original (C e D) do gráfico apresentado na guia ‘Gráfico para porcentagem de área’.

A tabela apresentada à direita da guia ‘Gráfico para porcentagem de área’ (Figura 18), pertinente ao gráfico apresentado, pode ser copiada (deve-se marcar as células a copiar e digitar CTRL+C) e colada em planilhas eletrônicas como o Microsoft Excel.

### Guia ‘Resultados’

Esta quinta guia apresenta o conjunto de resultados da execução da análise. Um conjunto de resultados para um exemplo em que a análise envolveu apenas um alinhamento radial de coletores é apresentado na (Figura 20).

- São gerados resultados para:
- CUR (geral): Coeficiente de uniformidade radial (%).
- LMP (geral): Lâmina média ponderada (mm).
- CD: Coeficiente de distribuição (%).

- Área total irrigada verificada no teste (ha).
- ED: Eficiência de distribuição (%).
- Vapl: Volume aplicado na área (L).
- Lapl: Lâmina aplicada na área (mm).
- EAp: Eficiência de aplicação em potencial (%).
- EA: Eficiência de aplicação (%).
- Padeq: Porcentagem de área adequadamente irrigada (%).
- IRN: Irrigação real necessária (%).

Quando mais de um alinhamento radial de coletores (até quatro) é avaliado, variáveis de saída adicionais específicas por alinhamento radial são também geradas (Figura 21). O detalhamento em relação ao processamento dos cálculos é apresentado adiante. A tabela com resultados pode ser copiada para planilhas eletrônicas ou programas de edição de texto.

Variável de saída		Valor
CUR (geral) - Coeficiente de uniformidade radial (%):		73,347
LMP (geral) - Lâmina média ponderada (mm):		4,569
CD - Coeficiente de distribuição (%):		67,270
Área total irrigada verificada no teste (ha):		15,5038
ED - Eficiência de distribuição (%):		65,656
Vapl - Volume aplicado na área (L):		719200
Lapl - Lâmina aplicada na área (mm):		4,639
EAp - Eficiência de aplicação em potencial (%):		98,499
EA - Eficiência de aplicação (%):		64,671
Padeq - Porcentagem de área adequadamente irrigada (%):		92,597
IRN - irrigação real necessária (%):		3,000

Figura 20: Aba 'resultados'.

Variável de saída		Valor
CUR (geral) - Coeficiente de uniformidade radial (%):		71,269
LMP (geral) - Lâmina média ponderada (mm):		4,019
CD - Coeficiente de distribuição (%):		61,463
Área total irrigada verificada no teste (ha):		15,5038
ED - Eficiência de distribuição (%):		74,648
Vapl - Volume aplicado na área (L):		719200
Lapl - Lâmina aplicada na área (mm):		4,639
EAp - Eficiência de aplicação em potencial (%):		86,635
EA - Eficiência de aplicação (%):		64,671
Padeq - Porcentagem de área adequadamente irrigada (%):		88,753
IRN - irrigação real necessária (%):		3,000
Resultados específicos para cada raio:		
CUR (raio 1) - Coeficiente de uniformidade radial para o raio 1 (%):		73,347
LMP (raio 1) - Lâmina média ponderada para o raio 1 (mm):		4,569
CUR (raio 2) - Coeficiente de uniformidade radial para o raio 2 (%):		61,217
LMP (raio 2) - Lâmina média ponderada para o raio 2 (mm):		3,951
CUR (raio 3) - Coeficiente de uniformidade radial para o raio 3 (%):		73,980
LMP (raio 3) - Lâmina média ponderada para o raio 3 (mm):		4,131
CUR (raio 4) - Coeficiente de uniformidade radial para o raio 4 (%):		79,925
LMP (raio 4) - Lâmina média ponderada para o raio 4 (mm):		4,024
CUR - média dos valores por raio:		72,117

(\*) As células da tabela podem ser marcadas, copiadas (CTRL+C) e coladas em uma planilha eletrônica (ex.: Calc, Excel)

Figura 21. Guia 'Resultados' para uma análise com quatro raios (alinhamento radial de coletores no campo) avaliados.

## Guia rápido de utilização

Neste item, são descritos procedimentos para orientar na utilização rápida do programa, desde a aquisição, o acesso até a utilização de arquivos de exemplo.

## Baixando e descompactando o programa

O programa pode ser obtido no site [www.jcborges.eng.br](http://www.jcborges.eng.br) (Borges Júnior, 2024). Será

baixado um arquivo com uma pasta compactada (.zip), denominado AvaPivo 2024\_v01.zip, ou versão mais atualizada disponibilizada.

É necessário descompactar esse arquivo, (Figura 22) gerando uma pasta no computador ou pen drive.

Para executar o programa, no computador ou pen drive, deve-se abrir o arquivo AvaPivo\_2024-v01.jar (Figura 23), após a descompactação da pasta. Variações na numeração da versão ocorrerão conforme a atualização.

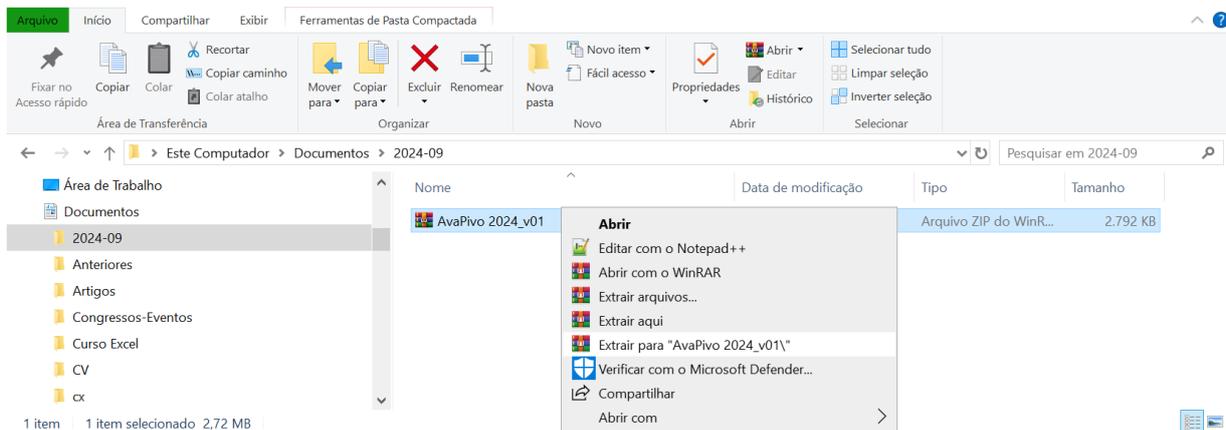


Figura 22. Descompactando arquivo AvaPivo 2024\_v01.zip para criar uma pasta.

É necessário que a máquina virtual Java (Java Runtime Environment - JRE) atualizada esteja instalada no computador utilizado. A JRE pode ser obtida no site da desenvolvedora (Java, 2024).

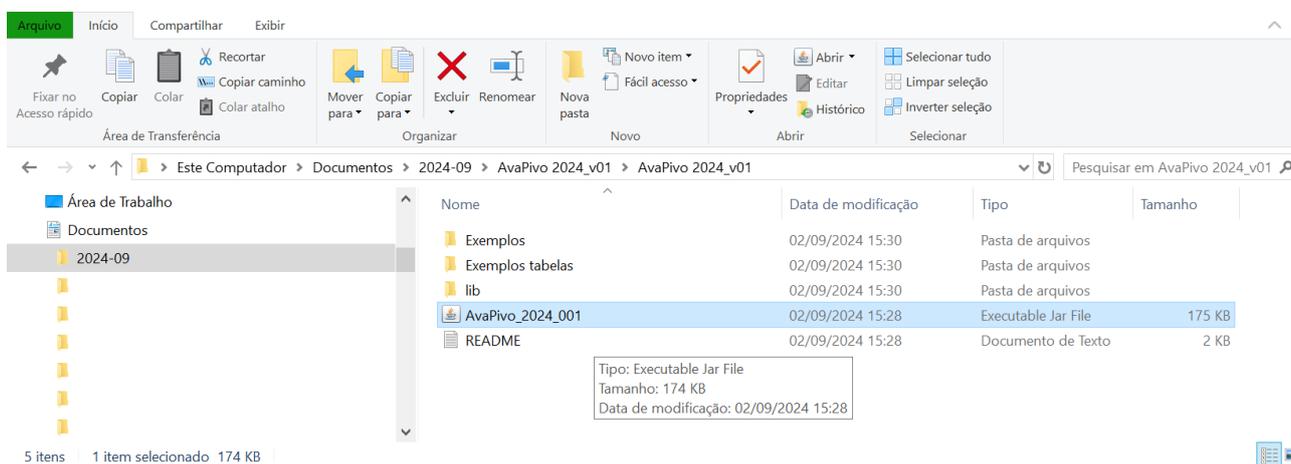
## Utilizando arquivos gerais de exemplo

Após descompactar o arquivo AvaPivo 2024\_v01.zip, deve-se abrir o arquivo AvaPivo\_2024-v01.jar (Figura 23). Variações na numeração da versão ocorrerão conforme a atualização.

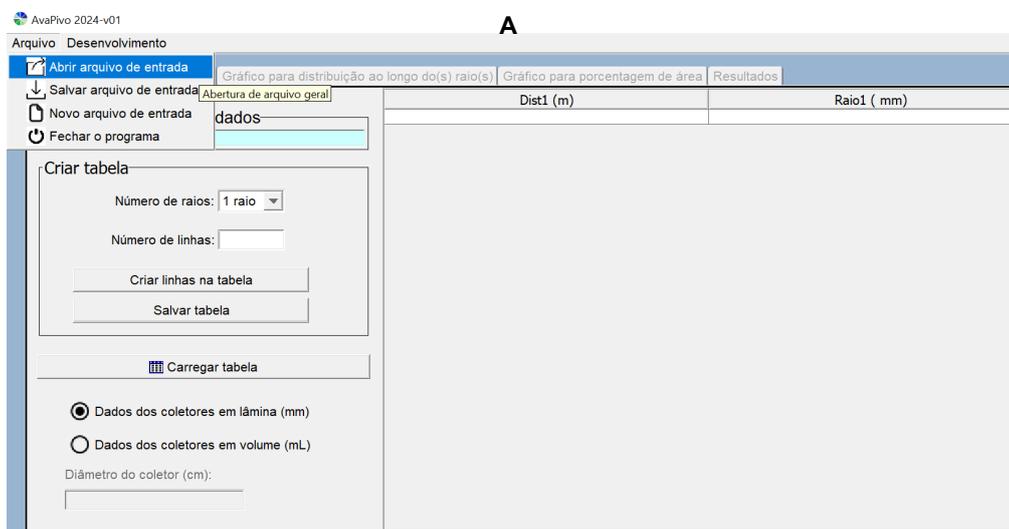
Com o programa em execução, utilizar o menu 'Arquivo' e Abrir arquivo de entrada', abrir o formulário de abertura de arquivos, navegar até a pasta 'Exemplos' distribuída juntamente com o programa (não confundir com a pasta 'Exemplos tabelas') e abrir um dos arquivos disponibilizados, conforme ilustrado na Figura 24.

As duas primeiras guias serão preenchidas com dados de entrada e a terceira guia disponibilizará o gráfico com distribuição de lâminas ao longo do(s) raio(s) avaliado(s). Clicar no botão 'Executar' e acessar os resultados na quarta e na quinta guias.

Quando o arquivo geral de dados de entrada é aberto, os dados da tabela e todos os demais dados de entrada são acessados, não sendo necessário abrir o arquivo de dados da tabela apenas.

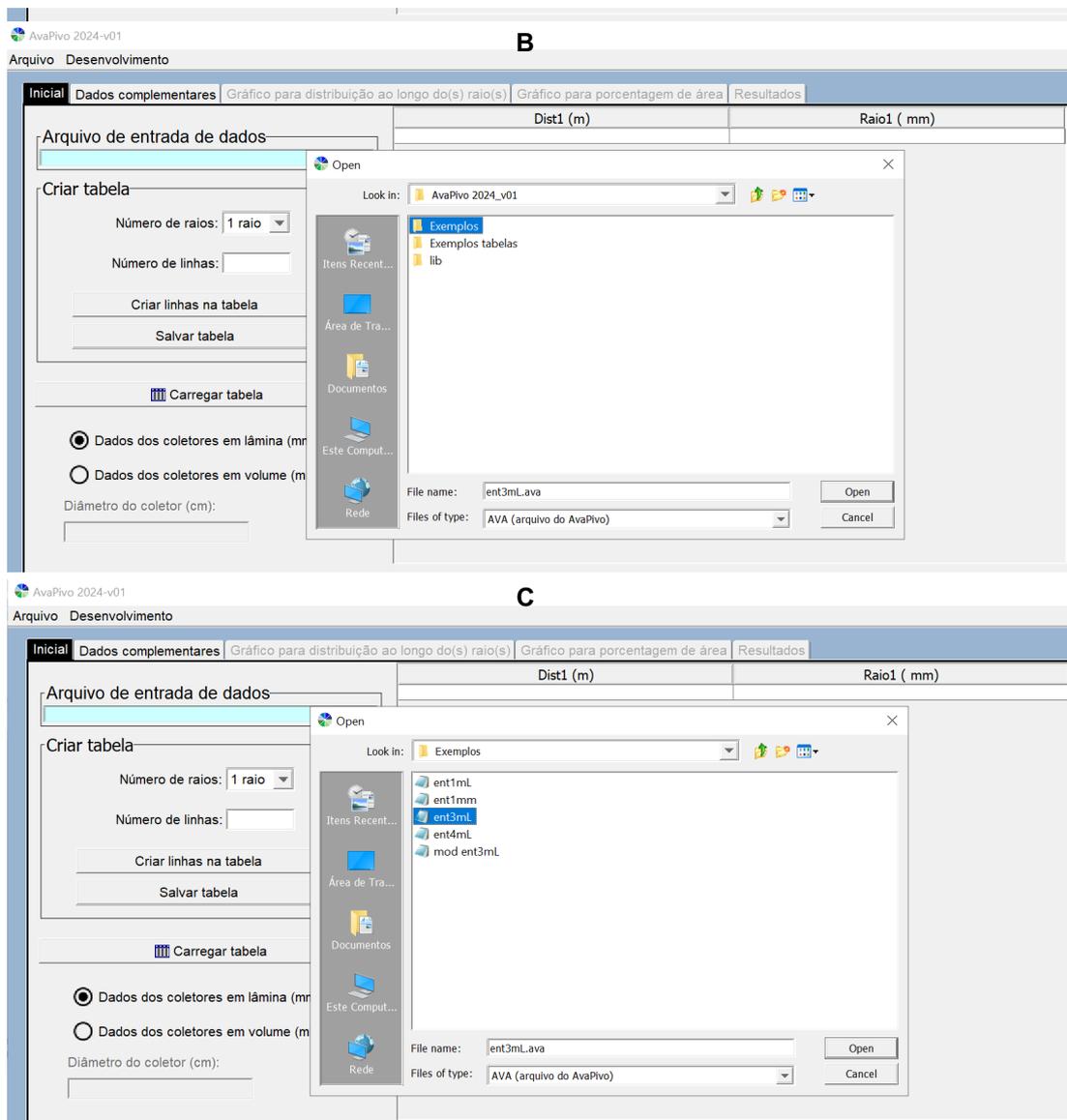


**Figura 23.** Acessando o executável AvaPivo\_2024-v01.jar a partir do Explorador de Arquivos do Windows, na pasta gerada após a descompactação do arquivo AvaPivo 2024\_v01.zip.



Continua..

Continuação...



**Figura 24.** Abertura de exemplo de arquivo geral. (A) acesso ao menu para abertura de arquivo; (B) Acesso à pasta com arquivos de exemplo; (C) Acesso a um dos arquivos de exemplo.

## Utilizando arquivos de tabelas como parte dos dados de entrada

Abrir o arquivo AvaPivo\_2024-v01.jar (Figura 23) já baixado no computador, após ter sido realizada a descompactação da pasta baixada, para acessar o AvaPivo. Variações na numeração da versão ocorrerão conforme a atualização.

Observa-se que, quando o arquivo geral é aberto, já há o preenchimento da tabela juntamente com os demais dados do arquivo geral de

entrada, dispensando a abertura de dados apenas para a tabela.

Clicar no botão 'Carregar tabela' (Figura 25), presente na primeira guia 'Inicial'. Com o formulário de abertura aberto, navegar até a pasta 'Exemplos tabelas', também distribuída com o programa. Um conjunto de arquivos .txt (feitos a partir do Excel) e que podem ser abertos numa planilha eletrônica é disponibilizado. Abrindo o arquivo 3 raios.txt, por exemplo, será obtido o preenchimento ilustrado na (Figura 26).

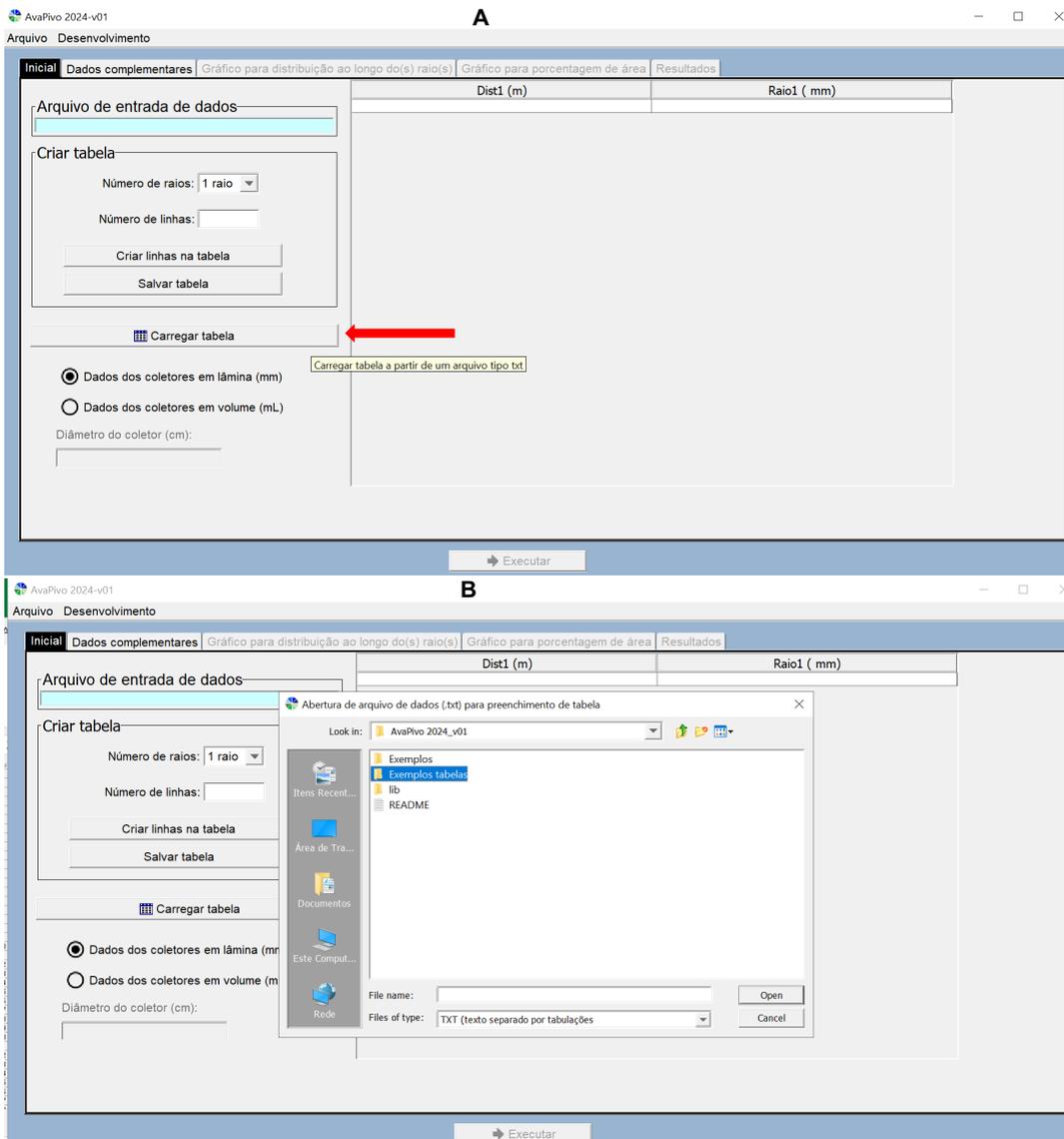


Figura 25. Abertura de arquivo de dados para preenchimento da tabela. (A) Acesso ao botão para abertura do arquivo de tabela; (B) Acesso à pasta com exemplos de arquivos de tabela.

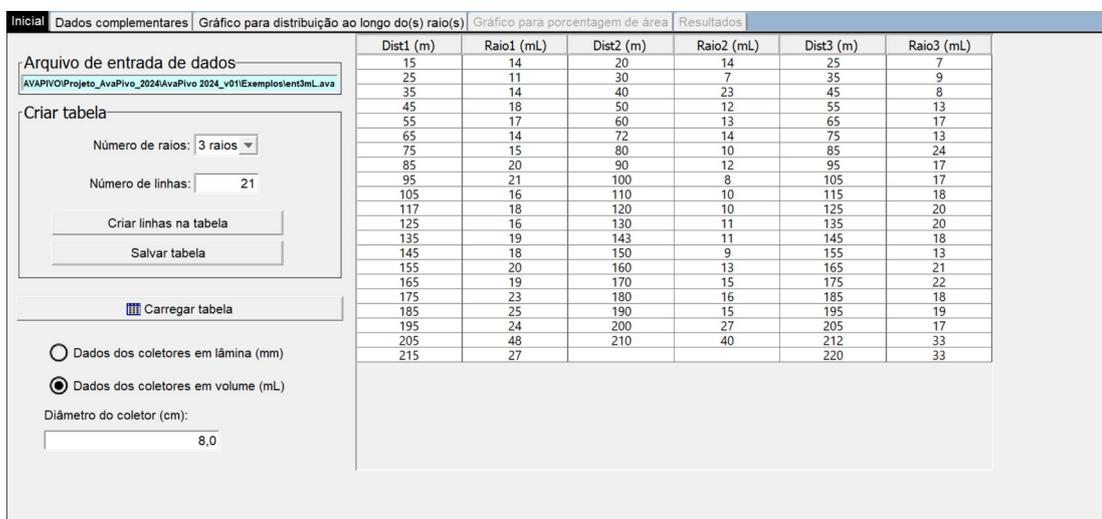
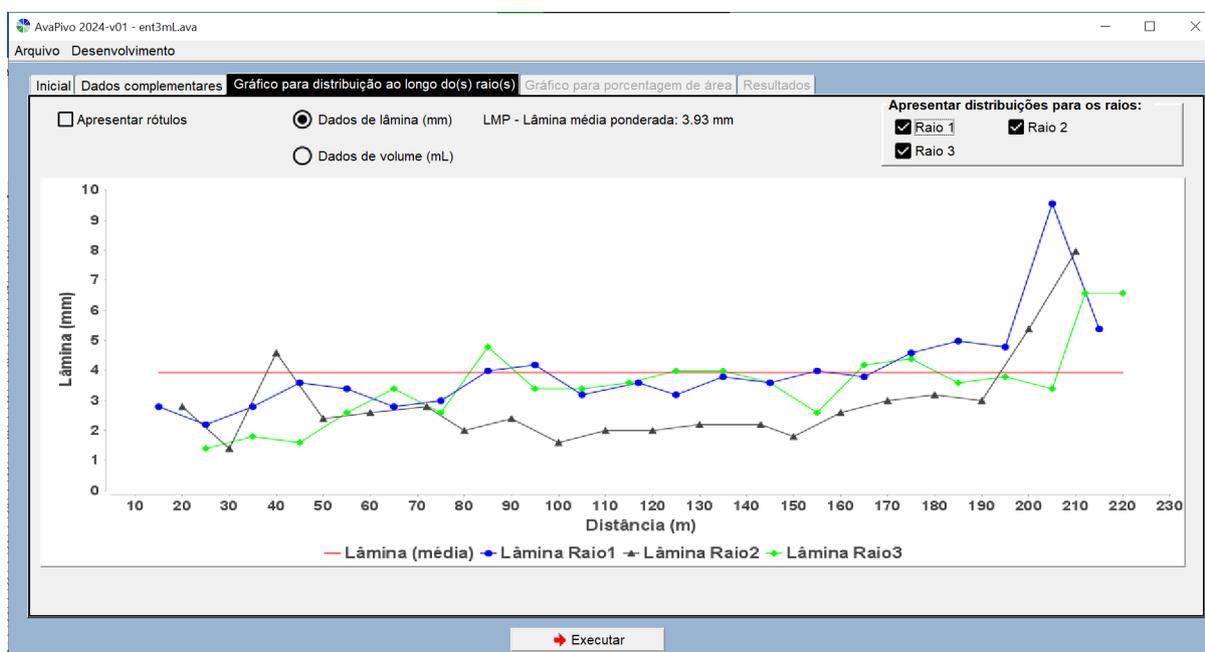


Figura 26. Guia 'Inicial' após abertura de arquivo de dados para a tabela.

Assim que a tabela for carregada, a terceira guia 'Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)' será disponibilizada com o gráfico (Figura 27). Entretanto, a guia 'Dados complementares'

ainda estará vazia. Após o preenchimento dos dados nesta guia, deve-se salvar o arquivo geral por meio do menu 'Salvar arquivo de entrada'(Figura 2).



**Figura 27.** Guia 'Gráfico para distribuição ao longo do(s) raio(s)' disponibilizada após o carregamento de tabela com arquivo de exemplo \*.txt (o termo raio se refere ao alinhamento radial de coletores no campo).

## Preenchimento com novos dados de entrada

Ao acessar iniciar o programa, na guia 'Inicial', seguir os procedimentos:

Indicar o número de alinhamentos radiais de coletores avaliados no campo e o número de linhas para a tabela.

Informar se os dados são de lâmina ou volume. Caso seja volume, informar o diâmetro da seção transversal.

Clicar então no botão 'Criar linhas na tabela'.

Preencher os dados na tabela, não se esquecendo de clicar Enter após a última entrada. Sugere-se que os dados da tabela sejam preparados à parte, na planilha eletrônica Excel ou similar, criando um arquivo texto separado por tabulações e acessado via o botão 'Carregar tabela' (Figura 8).

Preencher a guia 'Dados complementares'.

Salvar o arquivo por meio do menu 'Arquivo/ Salvar arquivo de entrada'.

Executar cálculos clicando no botão 'Executar'.

## Guia técnico

Procedimentos relativos aos cálculos implementados serão descritos neste item.

### Aspectos gerais do procedimento de avaliação

Os procedimentos de determinação da uniformidade de distribuição de água por equipamento pivô central (e linear móvel) são normatizados no Brasil pela ABNT NBR ISO 11545:2016 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016). O conteúdo é equivalente à norma ISO 11545:2009 (International Organization For Standardization, 2009). Anteriormente, a norma brasileira relativa aos procedimentos era a NBR 14244:1998 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998), que tem como base a ASAE S436:1995 e ISO 11545:1995.

A norma ABNT NBR ISO 11545:2016 aplica-se a irrigações executadas por sistemas de pivô

central e linear móvel, em que os dispositivos de aplicação de água são posicionados a mais de 1,5 m sobre a superfície do solo, havendo sobreposição da distribuição de água por emissores sucessivos.

Na norma, preconiza-se que coletores devem ser dispostos no campo em duas ou mais linhas perpendiculares à direção de movimentação das laterais, isto é, no sentido radial no caso do pivô central. O espaçamento entre coletores no campo não deve ser superior a 3 m, no caso de emissores que tenham raio de alcance inferior a 10 m, e não mais que 5 m, caso o raio de alcance dos emissores seja igual ou superior a 10 m.

Uma variação relevante da norma ABNT NBR ISO 11545:2016 em relação à NBR 14244:1998 é a recomendação de que coletores em alinhamentos radiais adjacentes sejam descentralizados. O programa AvaPivo\_2024-v01 pode ser aplicado também nessa situação, isto é, quanto há variações nas distâncias entre coletores para diferentes alinhamentos de coletores. Outras informações sobre o posicionamento de coletores e formas de tratamento de vento e evaporação durante o teste, registro da altimetria do terreno, etc. são apresentadas na norma.

Ensaio de campo podem ser aplicados com variações quanto aos procedimentos estabelecidos nas normas. Por exemplo, a determinação empregando apenas um alinhamento radial de avaliação, visando

à redução no tempo e recursos empregados no teste. Outra questão a considerar é que na norma preconiza-se que, quando dois alinhamentos radiais de coletores forem considerados, a distância linear máxima entre os últimos coletores (colocados próximo à extremidade final da linha lateral) não pode exceder 50 m. Na ASAE S436.1 consta que, se as linhas de coletores estiverem muito distantes, a duração do teste torna-se excessiva e condições ambientais ou de topografia podem ser alteradas durante o teste. (American Society of Agricultural Engineers, 2001). Contudo, a execução da avaliação de forma diferente da preconizada nas normas poderia ter como objetivo tentar captar o efeito de distintas configurações da topografia, por exemplo, sobre a uniformidade de distribuição, colocando-se alinhamentos radiais de coletores mais distantes e executando-se o teste por etapas. Outra recomendação que consta na ABNT NBR ISO 11545:2016 é que a máquina de irrigação deve ser operada a uma velocidade que entregará uma lâmina de aplicação média não inferior a 15 mm, salvo se especificado pelo cliente. Nos exemplos disponibilizados com o AvaPivo, as lâminas médias ponderadas são inferiores a 15 mm.

Assim, observa-se que o aplicativo AvaPivo foi desenvolvido para execução de procedimentos conforme a norma ABNT NBR ISO 11545:2016, mas também pode ser aplicado a dados obtidos com variações nos procedimentos do ensaio de campo.



Foto: João Carlos Ferreira Borges Júnior

**Figura 28.** Disposição de coletores no campo para determinação da uniformidade de distribuição de água em pivô central.



Foto: Adriane Duarte Coelho

**Figura 29.** Disposição de coletores no campo para determinação da uniformidade de distribuição de água em pivô central.



Foto: João Carlos Ferreira Borges Júnior

**Figura 30.** Disposição de coletores no campo para determinação da uniformidade de distribuição de água em pivô central.

Ilustrações da disposição de coletores em testes de campo são apresentadas nas Figuras 28 a 30.

### Coeficiente de uniformidade radial

A uniformidade de aplicação de água é avaliada por meio de um coeficiente de uniformidade radial

(CUR) ou coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein (Equação 1):

$$CUR = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - VMP| S_i}{\sum_{i=1}^n V_i S_i} \right] \quad (1)$$

em que:

$CUR$  = coeficiente de uniformidade radial ou coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein, %.

$n$  = número de coletores utilizados na análise de dados.

$i$  = número para identificação de um coletor em particular, normalmente começando com o coletor localizado mais próximo do ponto pivô.

$V_i$  = volume coletado no  $i$ -ésimo coletor, mL.

$S_i$  = distância do  $i$ -ésimo coletor ao ponto do pivô, m.

$VMP$  = volume médio ponderado de água coletada, mL.

Calcula-se o  $VMP$  com a Equação 2:

$$VMP = \frac{\sum_{i=1}^n V_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (2)$$

Os volumes  $V_i$  e  $VMP$  podem ser convertidos para lâminas  $L_i$  e  $LMP$  (mm), respectivamente, multiplicando-se por 10 a divisão do volume em mL ( $\text{cm}^3$ ) pela área da seção de entrada do coletor em  $\text{cm}^2$ .

Nas Equações 1 e 2, pode-se optar por trabalhar com as lâminas diretamente, o que é conveniente quando se utilizam kits de campo em que se faz diretamente a leitura de lâmina para cada coletor. A lâmina relativa ao  $VMP$  é a lâmina média ponderada na área ( $LMP$ ), informação fundamental no ensaio de campo e para o irrigante.

Informa-se nas normas técnicas que o  $CUR$  deve ser calculado para cada linha de coletores e que um coeficiente de uniformidade combinado deve ser calculado, utilizando os dados das linhas de coletores. No programa AvaPivo, para os casos em que mais de um alinhamento radial de coletores são utilizados, além do valor de  $CUR$  obtido com a Equação 1 aplicada a todos os valores, se faz também a determinação por alinhamento radial e a média dos coeficientes obtidos nos diferentes alinhamentos radiais. Nesses casos, observa-se tendência de que o valor do coeficiente de uniformidade radial obtido pela Equação 1, aplicada diretamente a todos os valores de todos os alinhamentos radiais, seja ligeiramente inferior ao da média dos valores de  $CUR$  obtidos para cada alinhamento radial de coletores.

Na norma ABNT NBR ISO 11545:2016 não se apresentam critérios para classificação de valores de  $CUR$ . Nessa norma, há uma recomendação de que se investiguem lâminas aplicadas ao longo dos alinhamentos de coletores em que a diferença em relação à lâmina média ponderada ( $LMP$ ) seja superior a 10% ou inferior a -10% da  $LMP$ .

Tem-se a seguinte classificação da uniformidade de distribuição de água, dada pela NBR 14244:1998 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998):

Menor que 80%: ruim.

80 a 84%: regular.

85 a 89%: boa.

Acima de 90%: muito boa.

## Coeficiente de distribuição

O coeficiente de uniformidade de distribuição ( $CD$ ) não é previsto nas normas, mas também tem sido empregado para avaliação da uniformidade de distribuição de água em trabalhos técnico-científicos. Na norma ABNT NBR ISO 11545:2016, comenta-se que outros parâmetros de desempenho (além do  $CUR$ , Equação 1) podem ser empregados para caracterização da uniformidade de irrigação, devendo-se explicitar a equação utilizada. No AvaPivo, o  $CD$  é calculado aplicando-se o seguinte procedimento (Keller; Bliesner; 1990):

a) Ranqueiam-se os valores de  $L_i$  (lâminas obtidas em cada coletor, mm) em ordem crescente. Quando há mais de um raio, para mesmos valores de  $L_i$ , utiliza-se o segundo critério de classificação, também em ordem crescente, para a distância  $S_i$  (distâncias ao centro da área).

b) Seleciona-se o conjunto de valores de  $L_i$ , de forma que a soma dos correspondentes valores de  $S_i$  seja igual a um quarto da soma de todos os valores de  $S_i$ . Somam-se os correspondentes valores do produto de  $S_i L_i$  ( $\sum S_i L_i$  no menor quartil).

c) Aplica-se a Equação 3:

$$CD = 100 \frac{\sum S_i L_i \text{ no menor quartil}}{LMP \sum S_i \text{ no menor quartil}} \quad (3)$$

No passo b, observa-se que é provável que não se consiga uma soma de valores de  $S_i$  igual a um quarto da soma de todos os valores de  $S_i$ . Neste caso, no aplicativo AvaPivo, considera-se o conjunto cuja soma de valores de  $S_i$  seja o mais próximo, porém inferior, a um quarto da soma de todos os valores de  $S_i$ .

## Área irrigada verificada no teste

Na guia 'Resultados', a área irrigada total verificada no teste ( $Ati$ ) é apresentada em hectares. A  $Ati$  é calculada pela somatória das áreas de influência de cada coletor. Há a possibilidade de que o espaçamento entre coletores não seja constante, por exemplo, para evitar o caminho de deslocamento



Foto: João Carlos Ferreira Borges Júnior

**Figura 31.** Coletor deslocado do caminho de torre de deslocamento de pivô central.

de alguma torre do pivô, conforme ilustrado na (Figura 31).

A área de influência para o coletor de ordem  $i$  é calculada pela Equação 4:

$$A_i = \pi(d_{post}^2 - d_{ant}^2) \quad (4)$$

em que

$A_i$  = área de influência do coletor de ordem  $i$ ,  $m^2$ .

$d_{post}$  = distância do coletor  $i$  ao ponto pivô mais a metade do espaçamento entre o coletor  $i$  e o coletor posterior, em direção ao final da linha lateral, m.

$d_{ant}$  = distância do coletor  $i$  ao ponto pivô menos a metade do espaçamento entre o coletor  $i$  e o coletor anterior, em direção ao ponto pivô, m.

Para o primeiro coletor, considera-se o parâmetro  $d_{ant}$  igual à distância do primeiro coletor ao ponto pivô menos a metade do espaçamento entre o primeiro coletor e o segundo coletor, m.

Para o último coletor, considera-se o parâmetro  $d_{post}$  igual à distância do último coletor ao ponto pivô mais a metade do espaçamento entre o penúltimo coletor e o último coletor, m.

Na guia 'Dados complementares' (Figura 10), no canto inferior direito, há campos em que o usuário pode estabelecer o mínimo  $d_{ant}$  (limite de influência para o primeiro coletor em sentido ao ponto pivô) e o máximo  $d_{post}$  (limite de influência para o último coletor em sentido à borda da área irrigada).

O limite inferior só será aplicado se for superior ao valor padrão de  $d_{ant}$  para o primeiro coletor e menor que a distância do primeiro coletor ao ponto pivô. O limite superior só será aplicado se for inferior ao

Indicar limites para área irrigada

Limite inferior (m):

Limite superior (m):

**Figura 32.** Detalhe da guia ‘Dados complementares’ para entrada de dados (opcional) de mínimo  $d_{ant}$  e máximo  $d_{post}$ .

valor padrão de  $d_{post}$  para o último coletor e maior que a distância do último coletor até o ponto pivô.

Caso o limite inferior seja superior à distância do coletor mais próximo ao ponto pivô, este limite será negligenciado nos cálculos. Caso o limite superior seja inferior à distância do coletor mais distante ao ponto pivô, este limite será negligenciado nos cálculos.

## Eficiência de distribuição

A eficiência de distribuição,  $ED$  (%), é a relação entre a lâmina mínima aplicada na área adequadamente irrigada e a lâmina média total aplicada (Bernardo et al., 2008), isto é, a lâmina média ponderada ( $LMP$ ) para irrigação por pivô central. Considerando que a área adequadamente irrigada é aquela que recebe lâmina igual ou maior que a irrigação real necessária ( $IRN$ ), a  $ED$  é obtida pela Equação 5:

$$ED = \frac{IRN}{LMP} 100 \quad (5)$$

A  $ED$  indica, indiretamente, as perdas por percolação (quantidade de água deslocada para baixo da zona radicular). Caso a  $IRN$  venha a ser superior à  $LMP$ , considera-se a  $ED$  igual a 100%. Quanto maior a  $ED$ , menor será a perda de água por percolação.

## Volume aplicado na área

O volume de água aplicado na área irrigada ( $Vapl$ ) é calculado multiplicando-se os dados de vazão de entrada na linha lateral ( $m^3 h^{-1}$ ) pelo tempo para completar a volta (h), informados na guia ‘Dados complementares’. O produto desses dois dados é multiplicado por 1.000 para fornecer o valor de  $Vapl$  em litros (L).

A obtenção da vazão de entrada na linha lateral requer a utilização de medidores de vazão, o que pode não estar disponível para os ensaios de campo. Sugere-se a utilização de, pelo menos, valores aproximados, com base no conhecimento do

equipamento de bombeamento, para se registrar na avaliação. É relevante que a forma de medição ou estimativa da vazão conste no relatório de avaliação da irrigação.

## Lâmina aplicada na área

Calcula-se a lâmina aplicada na área ( $Lapl$ , mm) pela Equação 6:

$$Lapl = \frac{Vapl}{Ati} \quad (6)$$

em que

$Vapl$  = volume aplicado na área, L.

$Ati$  = área total irrigada,  $m^2$ .

A  $Lapl$  é a lâmina bruta, obtida dividindo-se o volume de água utilizado na irrigação pela área total irrigada, não devendo ser confundida com a lâmina média ponderada ( $LMP$ ), que se refere à lâmina que atinge a superfície vegetada, descontadas perdas por evaporação e arraste pelo vento.

## Eficiência de aplicação em potencial e eficiência de aplicação

A eficiência de aplicação em potencial ( $EAp$ ), verificada no teste, é calculada pela Equação 7:

$$EAp = \frac{LMP}{Lapl} 100 \quad (7)$$

A  $EAp$  refere-se indiretamente às perdas por evaporação e arraste pelo vento. Quanto maior a  $EAp$ , menores serão as perdas por evaporação e arraste pelo vento.

Para calcular a eficiência de aplicação ( $EA$ , %), que é a eficiência de irrigação observada no teste, consideram-se as perdas por percolação e evaporação, respectivamente, tratadas na  $ED$  e  $EAp$ . Assim, a  $EA$  é obtida pela Equação 8:

$$EA = \frac{ED}{100} \frac{EAp}{100} 100 \quad (8)$$

Os valores de  $ED$ ,  $EAp$  e  $EA$  são apresentados no guia 'Resultados' (Figura 20).

## Porcentagem de área adequadamente irrigada

A rotina 'pAirrigrada2()' foi escrita para obtenção da porcentagem de área adequadamente irrigada (Padeq, %) observada no teste, que se refere à porcentagem da área que recebe uma lâmina igual ou superior à irrigação real necessária (Bernardo et al., 2008).

Os resultados desse processamento são apresentados nas guias 'Gráfico para porcentagem da área' (Figura 18) e 'Resultados' (Figura 20). Na primeira dessas guias, além do valor de Padeq, apresenta-se o gráfico de distribuições de lâminas em percentagens da área irrigada (Figura 19).

O procedimento escrito na rotina 'pAirrigrada()' envolve as seguintes etapas:

Organizar em ordem decrescente os valores das lâminas  $L_i$  coletadas, com correspondentes valores das distâncias dos coletores ao centro ( $S_i$ );

Para cada coletor, calcula-se a área de influência e a porcentagem em relação à área irrigada total verificada no teste ( $At_i$ );

Calcula-se a porcentagem de área acumulada para as lâminas  $L_i$  organizadas em ordem decrescente;

Caso haja empates em valores de  $L_i$ , o segundo critério é o valor da área de influência de cada coletor, em ordem decrescente.

Identifica-se na lista em ordem decrescente os valores de  $L_i$  imediatamente superior e inferior à irrigação real necessária (IRN); e

Obtém-se a Padeq por interpolação linear a partir destes valores.

## Considerações finais

Neste Documento, é apresentado o programa computacional AvaPivo, uma ferramenta de apoio a cálculos da avaliação de irrigação por pivô central.

O trabalho é também uma forma de difusão de metodologia da avaliação da irrigação por pivô central, podendo ser aplicado conforme os procedimentos preconizados na norma ABNT NBR ISO 11545, incluindo a consideração de mais de um alinhamento radial de coletores, se necessário. Com o desenvolvimento e a disponibilização do AvaPivo, pretende-se contribuir para o atendimento da demanda de modelos computacionais com os recursos integrados ao software, para cálculos e visualização de gráficos.

O programa computacional aplica-se para cálculos de coeficiente de uniformidade radial, coeficiente de distribuição, porcentagem de área adequadamente irrigada, parâmetros de eficiência de irrigação, lâmina média ponderada, geração de gráfico de distribuição em diferentes alinhamentos de coletores e gráfico de distribuição de lâmina de irrigação em porcentagens de área irrigada.

O AvaPivo foi desenvolvido na linguagem Java, sendo requerida a máquina virtual Java (Java Runtime Environment, JRE) instalada no computador do usuário<sup>1</sup>. Assim, o programa pode ser executado em diferentes sistemas operacionais.

No documento também são apresentados exemplos disponibilizados junto com o programa computacional, que podem auxiliar novos usuários quanto ao preparo dos arquivos de entrada.

Sugestões e observações quanto ao uso e desenvolvimento do programa são bem-vindas, podendo ser feitas diretamente aos autores.

## Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards S436.1**: test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. St. Joseph, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244**: equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11545**: equipamentos de irrigação agrícola: máquinas de irrigação pivô central e linear móvel,

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.java.com/pt-BR/>.

equipadas com sprayers ou aspersores: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 2016.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2008. 625 p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F. **Site para intercâmbio acadêmico e profissional**. Disponível em: <https://www.jcborges.eng.br/>. Acesso em: 13 maio 2024.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11545: 2009**: agricultural irrigation equipment - Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles - Determination of uniformity of water distribution. Geneva, 2009.

JAVA. **Obter Java para aplicativos de desktop**. Disponível em: [https://www.java.com/pt\\_BR](https://www.java.com/pt_BR) . Acesso em: 13 maio 2024.

