

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESENVOLVIMENTO DE UM ASPERSOR AGRÍCOLA ROTATIVO
COM DEFLETOR CÔNICO

ARMANDO REZENDE NETO

URUTAÍ – GO
Fevereiro, 2024

ARMANDO REZENDE NETO

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof. Dr^a Raiane Ferreira de Miranda

URUTAÍ – GO

Fevereiro, 2024

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R467d Rezende Neto, Armando
DESENVOLVIMENTO DE UM ASPERSOR AGRÍCOLA
ROTATIVO COM DEFLETOR CÔNICO / Armando Rezende
Neto. Urutaí 2025.
16f. il.
Orientadora: Prof^ª. Dra. Raiane Ferreira de Miranda.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120064 -
Bacharelado em Engenharia Agrícola - Urutaí (Campus Urutaí).
I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Armando Rezende Neto

Matrícula:

2018101200640060

Título do trabalho:

Desenvolvimento

de um aspersor agrícola rotativo com defletor cônico

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: **30** / **06** / **2025**

O documento está sujeito a registro de patente? ☒ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br **ARMANDO REZENDE NETO**
Data: 24/06/2025 19:54:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Senador Canedo - GO

Local

24 / **06** / **2025**

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo: **RAIANE**

FERREIRA DE

MIRANDA:04

099563170

Assinado de forma
digital por RAIANE

FERREIRA DE

MIRANDA:0409956

3170

Dados: 2025.06.25

20:55:53 -03'00'

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 5/2025 - CCBEA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos cinco dias do mês de junho de 2025, às 10 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: **Raiane Ferreira de Miranda** (orientadora), **Manoel Teixeira de Faria** (membro), **Juliana Carla Carvalho dos Santos** (membra) para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Desenvolvimento de um aspersor agrícola rotativo com defletor cônico” do estudante **Armando Rezende Neto**, Matrícula nº 2018101200640060 do Curso de Engenharia Agrícola do IF Goiano – Campus Urutaí. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante, com nota média **9,2**. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Raiane Ferreira de Miranda
Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Manoel Teixeira de Faria
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Juliana Carla Carvalho dos Santos
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Raiane Ferreira de Miranda**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 25/06/2025 20:48:06.
- **Juliana Carla Carvalho dos Santos**, 036.439.911-26 - Usuário Externo, em 25/06/2025 22:48:00.
- **Manoel Teixeira de Faria**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/06/2025 08:17:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/06/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 720208

Código de Autenticação: ecc8967f98



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria de Lourdes, pelo apoio e por não deixar o sonho da graduação perecer, sempre acreditando que a educação muda a vida de uma pessoa para melhor.

Aos meus irmãos Joviano Jr. e Suelen, que compreenderam a minha situação durante o curso.

Ao meu pai Joviano Resende (in memoriam), que no meu pouco tempo de convivência me ensinou muito.

E a todos meus professores pela paciência e por compartilhar seus conhecimentos.

"Se tens de lidar com água, consulta primeiro a experiência, e depois a razão."

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

Em irrigação a grande preocupação é o uso consciente dos recursos hídricos, produzir mais com menos. Os avanços tecnológicos na agricultura visam buscar, dia após dia novos estudos e equipamentos para aperfeiçoar sistemas de irrigação com novos tipos de acessórios, materiais e aspersores. como forma de minimizar o consumo de energia. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o raio de alcance e a uniformidade do aspersor agrícola rotativo com defletor cônico, criado a partir do software de modelagem 3D Inventor, da Autodesk. O aspersor desenvolvido possui um defletor cônico com oito cavidades espirais, que iniciam estreitas no topo e se alargam na base formando uma curva em suas paredes. Para a medição do raio de alcance foi utilizado uma trena, iniciando sua medida na base do tubo de subida até o alcance máximo do jato. No teste de uniformidade utilizou-se 4 bocais de diferentes diâmetros, nº 4 Azul-claro (1,59 mm), nº 5 bege (1,98 mm), nº 6 Dourado (2,38 mm) e nº 7 Lima (2,78 mm), a uma pressão de 1,7 bar e uma altura de 0,5 m. Com espaçamento de um metro e dispostos em 4 quadrantes, os 100 copos coletores estavam a 0,25 m do solo. Os resultados obtidos do raio de alcance e de uniformidade para os bocais de número 4, 5, 6 e 7, foram, 2,3 m; 48,63%, 2,6 m; 54,26%, 4 m; 48,71%, 5,5 m; 46,05%, respectivamente. O raio de alcance variou conforme o aumento do diâmetro do bocal e, os coeficientes de uniformidade ficaram abaixo de 60%. O baixo coeficiente de uniformidade pode ser relacionado com a área das cavidades do defletor, podendo ter produzido uma perda de carga excessiva no momento da distribuição.

Palavras-chave: Modelagem 3D. Raio de alcance. Uniformidade.

ABSTRACT

The main concern in irrigation is the conscious use of water resources, producing more with less. Technological advances in agriculture seek, day after day, new studies and equipment to improve irrigation systems with new types of accessories, materials, sprinklers, etc. as a way of minimizing energy consumption. the aim of this study was to evaluate the range and uniformity of a rotating agricultural sprinkler with a conical deflector, created using autodesk's 3d inventor modeling software. The sprinkler developed has a conical deflector with eight spiral cavities, which start narrow at the top and widen at the bottom, forming a curve in their walls. A tape measure was used to measure the radius of reach, starting at the base of the riser pipe up to the maximum reach of the jet. The uniformity test used 4 nozzles of different diameters, No. 4 light blue (1.59 mm), No. 5 beige (1.98 mm), No. 6 dourado (2.38 mm) and No. 7 lima (2.78 mm), at a pressure of 1.7 bar and a height of 0.5 m. With a spacing of 1 m and arranged in 4 quadrants, the 100 collection cups were 0.25 m from the ground. the results obtained for the radius of reach and uniformity for nozzles 4, 5, 6 and 7 were 2.3 m; 48.63%, 2.6 m; 54.26%, 4 m; 48.71%, 5.5 m; 46.05%, respectively. The radius of reach varied as the nozzle diameter increased and the uniformity coefficients were below 60%. The low uniformity coefficient may be related to the area of the deflector cavities, which may have produced an excessive pressure drop at the time of distribution.

Keywords: 3D Modeling. Reach radius. Uniformity.

LISTAS

Figura 1. Aspersor completo	15
Figura 2. Defletor	15
Figura 3. Imagem plana da metade do defletor com medidas em milímetros	16
Figura 4. Sólido de revolução do plano	16
Figura 5. Medidas das canaletas	16
Figura 6. Elipse no topo do cone	17
Figura 7. Espiral de união entre esboços	17
Figura 8. Formação de um canal	17
Figura 9. Furo de encaixe do rolamento	17
Figura 10. Área do experimento	18
Figura 11. Aspersor no centro da área	18
Figura 12. Distância entre coletores	18
Figura 13. Manômetro em 1,7 bar	18
Figura 14. Proveta graduada de 250 ml	19
Figura 15. Gride, bocal 1,59 mm	20
Figura 16. Gride, bocal 1,98 mm	20
Figura 17. Gride, bocal 2,38 mm	21
Figura 18. Gride, bocal 2,78 mm	21
Tabela 1. Classificação dos aspersores com relação à pressão de serviço	13
Tabela 2. Classificação dos valores de CUC e CUD para sistemas de aspersão	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Irrigação por aspersão	11
2.1.1. Convencional	11
2.1.2. Mecanizada	11
2.2. Fatores que afetam a distribuição de água do aspersor	12
2.2.1. Vento	12
2.2.2. Aspersor	13
2.2.3. Evaporação	13
2.3. Importância da uniformidade de aplicação da água na irrigação	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Construção do defletor	15
3.2. Teste de uniformidade	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, dentre os métodos de irrigação existentes, identifica-se a aspersão com maior predominância, seja por meio de sistema de aspersão convencional, pivôs centrais ou autopropelidos, equipados com aspersores dos mais variados tipos. A facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia (ANDRADE e BRITO, 2006), são algumas das características de maior relevância para sua instalação.

Em irrigação a uniformidade de distribuição do sistema, parte de uma escolha correta dos aspersores e um dimensionamento hidráulico criterioso. Quando o sistema apresenta condições de funcionamento próximo ao ideal, é possível garantir o desenvolvimento saudável da cultura e retorno financeiro positivo. ÁLVAREZ et al. (2004) mostra que altos valores de uniformidade de aplicação de água são fundamentais para a obtenção da maior produtividade de uma cultura com menor consumo de água, energia e fertilizantes, outro estudo realizado por Coelho et al. (2005) citaram que a simples melhoria de 1% na eficiência do uso da água de irrigação nos países em desenvolvimento de clima árido e semiárido, significaria economia de cerca de 200 mil L de água por agricultor $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Os problemas mais comuns que podem reduzir a uniformidade de distribuição incluem pressão de operação do sistema incorreta, tamanho de bocais inadequados, obstrução ou desgastes dos bocais ou dos reguladores de pressão, mecanismos de rotação desgastados não permitindo uniformidade de rotação do aspersor, juntas e válvulas com vazamentos, aspersores posicionados em espaçamentos inadequados (FRIZZONE et al., 2018, p. 35).

Em termos de coeficiente de uniformidade de distribuição, é impossível alcançar toda área irrigada de maneira exatamente igual (CUC 100%) e, de fato a sobreposição dos aspersores se faz necessário, de modo que, a necessidade hídrica da cultura não seja prejudicada em alguns pontos. O defletor existente nos aspersores contribui para o fracionamento do jato que sai através do bocal, com o intuito de melhorar a uniformidade de distribuição de água. O conhecimento de sua atuação permite, ao projetista e ao usuário do sistema de irrigação, a utilização do aspersor em maior amplitude de situações, tais como: necessidade de alterações do raio de molhamento, em função da fase da cultura, do formato da parcela irrigada e do espaçamento entre aspersores MARTINS et al. (2012).

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um aspersor rotativo com defletor cônico, desenvolvido a partir do software de modelagem 3D Inventor, da Autodesk, e avaliar seu raio de alcance e a uniformidade de distribuição de água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Irrigação por aspersão

Irrigação por aspersão é o método em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato de água em gotas, devido a sua passagem sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. Para tal efeito, a água é conduzida e aplicada às áreas por meio de equipamentos, como motobombas, tubulações e aspersores das mais diversas capacidades e características de fabricação. Quando a fonte de água estiver em um plano muito mais elevado que a área a ser irrigada, não haverá necessidade de motobomba (BERNARDO et al., 2019, p. 311).

Para FRIZZONE et al. (2018, p. 13) a irrigação por aspersão começou a se desenvolver no início do século XX, quando começou a surgir os primeiros aspersores rotativos entre 1914 nos EUA e 1922 na Europa. De acordo com PAOLINELLI et al. (2022, p. 30) a irrigação com utilização de equipamentos, no Brasil, teve início por volta de 1950 como forma de estimular o cultivo do café irrigado para fins de exportação, mas somente em 1952, por meio de importação, que o território brasileiro abriu as portas para o comércio de implementos como, aspersores metálicos e tubos de aço galvanizado de engate rápido, intermediada por uma empresa nacional denominada Theodor Wille Trading (DTW), de propriedade de um imigrante alemão chamado Jurgen Liesler Kiep.

Atualmente a irrigação por aspersão apresenta diversos tipos de sistemas, cada um com características peculiares, mas com o mesmo propósito, suprir a necessidade hídrica da cultura em questão, promover o uso racional da água, aumentar a produtividade e minimizar os custos. Segundo Testezlaf (2017, p. 12 - 13) o método aspersão possui dois tipos de sistemas:

2.1.1. Convencional

Possuem componentes convencionais de aspersão (motobomba, tubulações e aspersores), podem ser movimentados ao longo do campo (móveis), cobrindo cada em cada posição de um setor da área irrigada ou permanecer parados (fixos) na mesma posição ao longo do período de produção e cobrindo toda a área irrigada ou setores específicos.

2.1.2. Mecanizada

São sistemas onde os aspersores, difusores ou sprays são montados em estruturas metálicas que se movem ao longo da área para efetuar a irrigação. Estes sistemas podem se movimentar com o

auxílio de um trator, ou de sistemas automatizados com movimentos linear ou circular, com a operação elétrica ou com a utilização da pressão existente na tubulação. Enquadram-se no sistema mecanizado, o pivô central, um dos mais conhecidos mundialmente, e o carretel enrolador.

2.2. Fatores que afetam a distribuição de água do aspersor

Podem ser considerados fatores de interferência na distribuição de água pelo aspersor, todos aqueles fenômenos que ocorrem no momento da irrigação, em resumo, é considerada a água que chega à planta em quantidades desiguais, por ação do vento e/ou evaporação motivando, também, a perda por excesso, seja por escoamento superficial ou por percolação, causado por anomalias em bocais, modelos incompatíveis de aspersores, superposição incorreta.

FRIZZONE et al. (2018, p. 349) afirma que, no caso do pivô central existem dois efeitos que afetam a regularidade na irrigação, aleatório ou cumulativo. O vento é um fator variável que parece produzir um efeito aleatório da uniformidade de irrigação, e pode ser previsto. Efeitos cumulativos, os mais importantes, são os que resultam diferenças de aplicação de água que aumentam durante a temporada de irrigação e está ligada a parte estrutural do sistema. Em sistemas autopropelidos, Keller & Bliesner (1990) destacam: velocidade e direção do vento, trajetória do jato, tipo do bocal (cônico ou anel), regulagem do mecanismo setorial (ângulo de giro), características do perfil radial de aplicação de água do aspersor e variações da pressão de operação e da velocidade de deslocamento do aspersor ao longo do carreador.

2.2.1. Vento

Quando um projeto de irrigação apresenta conformidade entre seus componentes, o vento é um dos principais fatores de interferência na uniformidade de aplicação e sua velocidade definirá uma aspersão homogênea ou não.

Para Scaloppi (1986), a uniformidade de distribuição é mais influenciada pelo vento nos sistemas de irrigação por aspersão cujos emissores operam estacionados (sistemas estacionários), ou então operam em faixas (sistemas autopropelidos). A uniformidade de aplicação de água por um sistema de irrigação por aspersão é influenciada não apenas pelas características do sistema (altura do aspersor, tamanho da gota, etc.), mas também pelas condições climáticas e, principalmente, pela ação do vento, deriva MANTOVANI et al. (2007). Para DECHMI et al. (2003), os irrigantes devem observar quando os ventos estiverem acima de $2,1\text{ms}^{-1}$ seus estudos resultaram em aplicações de água irregular, levando a um desequilíbrio na uniformidade de aplicação de água. SOARES (1986) salienta que, em regiões de ventos fortes, deve-se selecionar os aspersores com menores ângulos de trajetória

(22° a 25°) e menores espaçamentos, para minimizar as perdas por arrastamento e evaporação e melhorar a uniformidade de distribuição da água.

2.2.2. Aspensor

A Tabela 1 apresenta a classificação dos aspersores com relação à pressão de serviço.

Tabela 1. Classificação dos aspersores com relação à pressão de serviço*.

Classificação Pressão	Tipo de Aspensor	Pressão de Serviço (m.c.a.)	Regulador (PSI)
Alta	Canhões	> 34	≥ 50
Média	Aspensor Impacto	25 - 34	30 - 40
Baixa	Spray, Rotativos, etc.	15 - 20	15 - 20
Muito Baixa	Spray, Rotativos e Borbulhantes	8 - 13	6 - 10

(*) adaptado de Bernardo, 1985.

Cada aspensor apresenta características fundamentais como, o tipo, pressão de serviço e reguladores de pressão, essas especificações visa garantir o bom funcionamento do aspensor, assegurando um alto coeficiente de uniformidade.

Com o passar do tempo o sistema de irrigação por aspersão, apresenta algumas anomalias que ocorrem naturalmente por desgastes não só em bocais, mas na tensão das molas de controle, desgastes em defletores e que devem ser sanadas com manutenções periódicas corretivas, a fim de evitar problemas e comprometer a produção em momentos decisivos da safra. BERNARDO et al. (2019, p. 334), pontua mais algumas observações sobre as razões que afetam o desempenho do aspensor como, bocal, pressão, superposição e o vento. Para Coelho & Folegatti (1998), o sistema de irrigação por aspersão convencional também pode ter uma boa uniformidade de aplicação da água, desde que se enquadre em alguns fatores, dentre os quais se destacam: as regulagens mecânicas disponíveis nos emissores (diâmetro do bocal, tensão da mola do defletor-martelo, ajuste do mancal, dispositivo para ajuste setorial, parafuso quebra-jato), o perfil de distribuição do emissor, o espaçamento entre emissores, a incidência de ventos e a pressão de operação.

2.2.3. Evaporação

Atualmente, a tecnologia disponível permite encontrar a evaporação da área a ser irrigada através de estações meteorológicas, permitindo estimar a evapotranspiração da cultura em questão por meio de modelos matemáticos e, assim aplicar uma lâmina de água adequada para suprir a necessidade hídrica da planta no momento.

A evaporação, também, é um determinante na uniformidade de aplicação de água, em casos de pressão de serviço elevada, as gotas ficam menores e em decorrência de temperaturas elevadas aumentam as perdas MANTOVANI et al. (2006). As perdas dos sistemas de aspersão são denominadas perdas por evaporação e arraste (PEA) SARWAR et al. (2019). Christiansen (1942) estimou as perdas por evaporação na irrigação por aspersão por meio da coleta de água em pluviômetros e, concluiu que elas estiveram entre 10 e 42% para os testes realizados à tarde e próximo de 4% para aqueles conduzidos pela manhã. As perdas por evaporação direta apresentam efeitos de menor potencial e, segundo MANTOVANI et al. (2007), atingem valores máximos na ordem de 5% nos sistemas de aspersão, em regiões com alta evaporação e presença de ventos que trocam o ar úmido da área irrigada pelo ar seco das áreas externas a irrigação.

2.3. Importância da uniformidade de aplicação da água na irrigação

A uniformidade desenvolve um papel fundamental na otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão, influenciando diretamente na eficiência de aplicação e na produção CARRIÓN et al. (2001).

Segundo BERNARDO et al. (2019, p. 336) existem diferentes coeficientes para expressar a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação por aspersão, sendo o coeficiente de Christiansen, proposto por J.E. Christiansen, o coeficiente de uniformidade de distribuição recomendado pelo serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e o coeficiente estático de uniformidade, proposto por Wilcox e Swailes.

Um sistema bem dimensionado, respeitando os critérios de pressão de serviço, bocais e espaçamento entre aspersores e linhas, promove um maior aproveitamento da água no instante da irrigação, especialmente se o sistema estiver em funcionamento em momentos de pouco vento, evitando aplicações desiguais e, também, reduzindo vazamentos excessivos nas conexões dos tubos. Com o sistema de aspersão distribuindo água uniformemente em toda a área impede que o solo exceda sua capacidade de campo causando escoamento superficial ou perda por percolação, lixiviando nutrientes essenciais para planta ou aplicando mais em uma parcela da área e menos em outra, afetando diretamente a produção e consequentemente os custos. REZENDE et al. (2002), relata que a necessidade de conservação dos recursos hídricos e redução nos custos de produção, principalmente de energia e de insumos, devem, por meio dos sistemas de irrigação e manejo, proporcionar aplicação de água uniforme e eficiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Construção do defletor

O aspersor idealizado foi modelado a partir do software Inventor, fornecido pela Autodesk e impresso em 3D. O aspersor é constituído por um corpo, um defletor rolamentado de formato cônico e bocais (Figura 1). O defletor cônico possui oito cavidades espirais que iniciam estreitas no topo e se alargam na base, formando pequenos canais com paredes curvadas por onde a água escoa, provocando a rotação e a aspersão da água (Figura 2). O defletor foi construído baseado no modelo mini-Wobbler da Senninger.

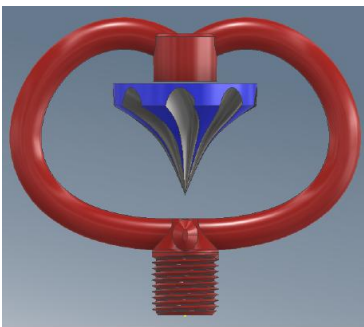


Figura 1: Aspersor completo

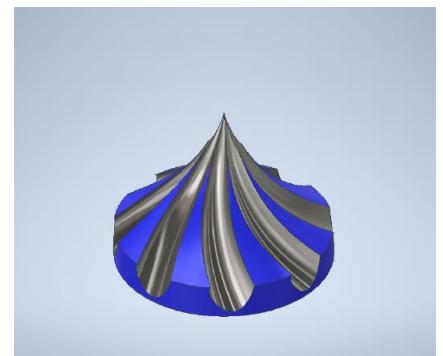


Figura 2: Defletor

A Figura 3 apresenta o plano com as medidas da metade do defletor, a base maior representa a altura do cone (eixo), 35 mm, e a largura representa o raio, 22,5 mm, partindo do centro para a extremidade a distância reduz a cada 5 mm para 24,27, 17,33 e 12,49 milímetros e, de 8,65 para 7 mm com intervalo de 2,5 mm. Ao revolucionar o plano em torno do eixo maior o esboço se transforma em um sólido (Figura 4). Para a construção das canaletas, foi utilizado um esquema representado na Figura 5, empregando uma largura de 10,024 mm e uma altura de 5,835 mm.

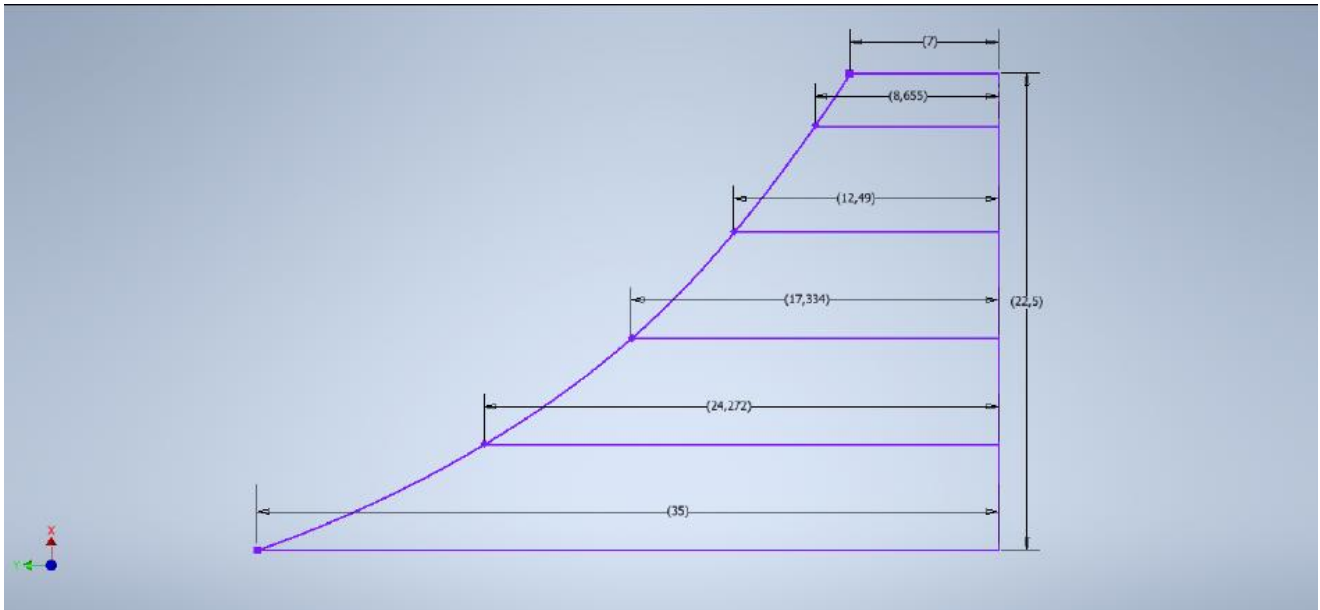


Figura 3: Imagem em plana da metade do defletor com medidas em milímetros

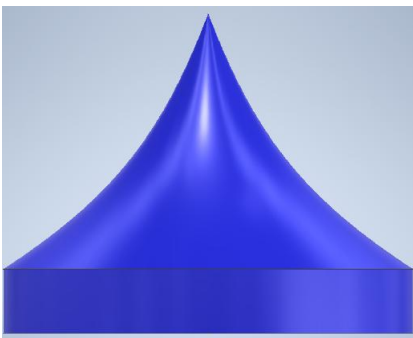


Figura 4: Sólido de revolução do plano

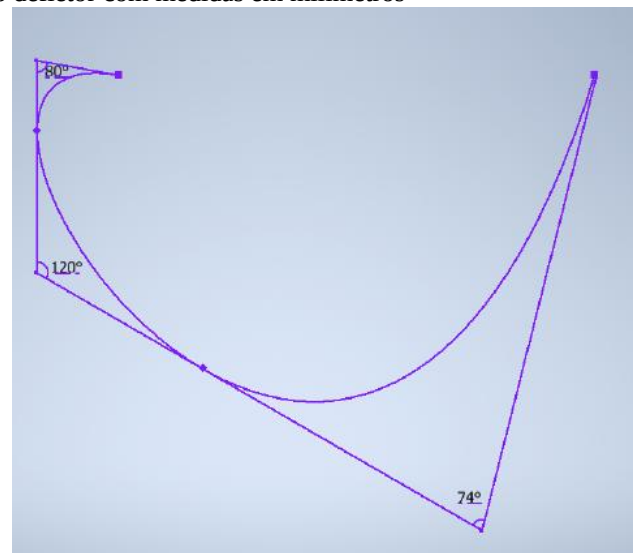


Figura 5: Medidas das canaletas

A parede curvada desenvolvida para reter a água e aumentar a rotação do defletor possui um ângulo de 80° , a curva de ângulo obtuso, 120° , propicia menor perda de velocidade da mesma e o ângulo mais agudo de 74° evita o vazamento do lado oposto ao da parede curvada. No topo do cone (defletor) foi desenhado uma elipse de diâmetro maior 1,0 mm e diâmetro menor 0,2 mm (Figura 6). Por meio de um espiral de 2,5 mm de raio projetado na superfície do cone (Figura 7), interligou-se os dois esboços, Figuras 5 e 6, formando o canal (Figura 8) e posteriormente criando um padrão circular, completando as 8 cavidades. O diâmetro do furo na base do defletor de 10,008 mm com profundidade de 6 mm (Figura 9), aloca um rolamento de 10 mm de diâmetro por 4 mm de espessura e diâmetro do eixo, para fixação no corpo.



Figura 6: Elipse no topo do cone

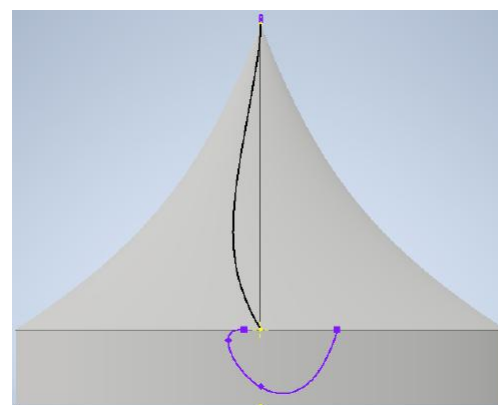


Figura 7: Espiral de união entre esboços

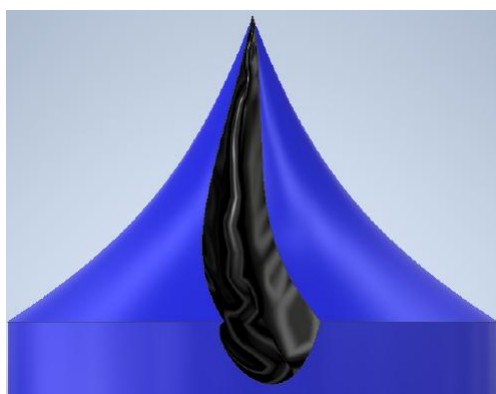


Figura 8: Formação de um canal

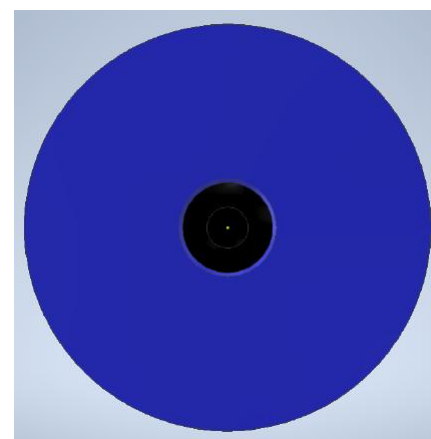


Figura 9: Furo de encaixe do rolamento

3.2. Teste de uniformidade

Conduziu-se o teste utilizando 4 bocais de diferentes diâmetros sendo, n° 4 Azul-claro (1,59 mm), n° 5 Bege (1,98 mm), n° 6 Dourado (2,38 m) e n° 7 Lima (2,78 mm), (Os números e as medidas dos diâmetros utilizadas nos bocais, foram retiradas do modelo mini-Wobbler da Senninger para um comparativo).

Inicialmente foi delimitado uma área de 100 m² (10 m x 10 m) em um campo society, compreendendo 100 copos coletores (copos descartáveis) de 500 cm³ com hastes e divididos em 4 quadrantes (Figura 10), cada quadrante instalou-se 25 copos coletores a 0,25 m de altura do solo, espaçados em 1 m (Figura 12), um tubo de polietileno, DN 25, conectado em uma subida de PVC, DN 25, a 0,5 m, com aspersor, instalado no centro da área (Figura 11). Com o auxílio de um manômetro,

graduado em bar, instalado em um conjunto motobomba de $\frac{1}{2}$ cv, foi estipulada uma pressão constante de 1,7 bar (Figura 13) e um tempo de 3 minutos para todos os bocais, com a finalidade de coletar e medir o volume para cálculo da vazão em l/h, de cada bocal.



Figura 10: Área do experimento



Figura 11: Aspersor no centro da área



Figura 12: Distância entre coletores



Figura 13: Manômetro em 1,7 bar

Determinado a vazão, eq. (1), o teste de uniformidade de distribuição foi conduzido ao final da tarde, com velocidade do vento praticamente nula, a fim de reduzir a deriva e aumentar a precisão dos resultados, o período foi de 30 minutos por bocal, tempo suficiente para observar o comportamento da água aspergida.

$$Q = \frac{60 \cdot l}{3} \quad (1)$$

em que,

Q - Vazão, l/h;

l - Volume coletado em 3 minutos, litros.

Sendo o primeiro teste do aspersor, era prudente o registro de algumas especificações como, a verificação do raio máximo de alcance, utilizando uma trena, e a quantidade de recipientes que recebiam água para delimitação de coletores de cada quadrante com a finalidade de encontrar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), dado pela eq. (2):

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum |xi - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right) \quad (2)$$

em que,

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

xi - Precipitação coletada, cm³;

$\bar{x}$ - Média aritmética das precipitações, cm³, e

n - Número de coletores.

Após o desligamento do conjunto, ao final de cada simulação, os volumes dos recipientes foram coletados e medidos um a um com uma proveta graduada de 250 ml (Figura 14), e posteriormente inseridos em uma planilha eletrônica para fins de cálculo.



Figura 14: Proveta graduada de 250 ml

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando gride, pressão, altura e tempo iguais para todas as simulações, o bocal n° 4 Azul-claro (1,59 mm) apresentou resultados poucos satisfatórios durante e após seu funcionamento. Correspondendo uma vazão de 80 l/h, seu raio de alcance permaneceu por aproximadamente 2,3 metros, abrangendo 2 coletores no 3° quadrante, esse valor foi transformado em um quadrado a fim de totalizar 16 recipientes, e posteriormente sobrepô-los como demonstrado na Figura 15. O coeficiente de uniformidade de 48,63% é classificado, segundo a Tabela 2, adaptado por Mantovani 2001, como inaceitável.

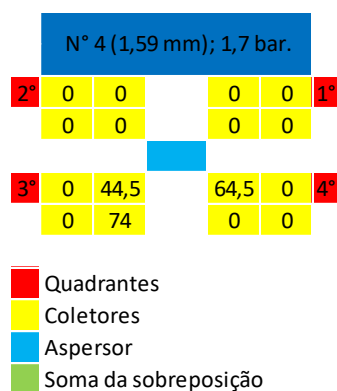


Figura 15: Gride, bocal 1,59 mm

Sobreposição (q)	
64,5	44,5
0	74
CUC %	
48,63	

Tabela 2. Classificação dos valores de CUC e CUD para sistemas de aspersão

Classificação	CUC	CUD
%		
Excelente	> 90	> 84
Bom	80 - 90	68 - 84
Razoável	70 - 80	52 - 68
Ruim	60 - 70	36 - 52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001)

O bocal n° 5 Bege (1,98 mm), apresentou um CUC mais elevado, mas pouco eficiente. Sua vazão permaneceu em aproximadamente 144,52 l/h (vazão 32% a menos, comparado ao bocal do aspersor modelo mini-Wobbler da Senninger, considerando que o modelo e o material de construção são outros), semelhante ao raio máximo de alcance do teste anteriormente descrito, o jato do bocal n° 5 atingiu 2,6 m, aspergindo sobre 11 coletores de 16 (Figura 16), a melhor atuação do defletor durante os testes. Calculado o coeficiente de uniformidade, dado pela eq. (2), o resultado apresentado de 54,26% permaneceu inaceitável de acordo com a Tabela 2.

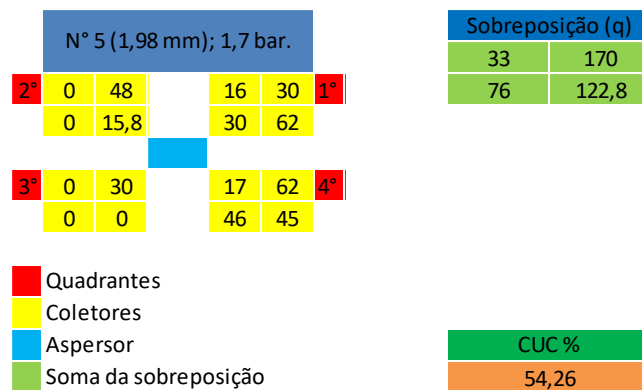


Figura 16: Gride, bocal 1,98 mm

Sobreposição (q)	
33	170
76	122,8
CUC %	
54,26	

A simulação com o bocal nº 6 Dourado (2,38 mm), indicou um coeficiente de uniformidade próximo aos anteriores, e um gride com coletores vazios superando os que coletaram alguma quantidade de água, 42 e 22 respectivamente (Figura 17). A vazão de 252,6 l/h mostrou que a estrutura do bocal influenciou em 12,5%, para menos, em relação ao modelo da Senninger (284 l/h), a uma pressão de 1,7 bar, o raio de alcance obteve a marca de 4 m apontando a influência da pressão sob defletor no aumento do alcance do jato. O CUC (coeficiente de uniformidade de Christiansen) fixou em 48,71%, ainda baixo e inaceitável, conforme a Tabela 2.

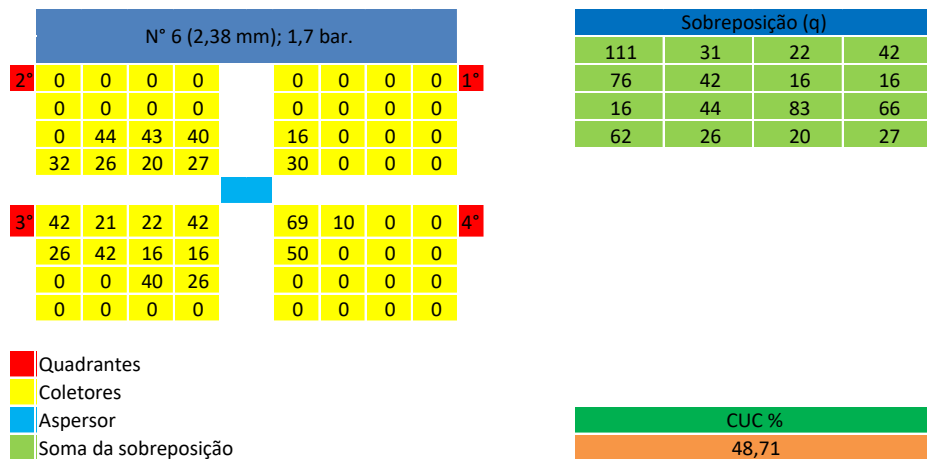


Figura 17: Gride, bocal 2,38 mm

De um total de 100 copos coletores apenas 35 acumulou água proveniente da aspersão e, o comportamento do defletor permaneceu bastante característico durante as simulações (Figuras 15, 16 e 17). O bocal nº 7 Lima (2,78 mm) revelou uma aspersão distribuída no formato semelhante ao de uma elipse (Figura 18), porém, com 5 coletas no 2º quadrante e 3 no 3º quadrante, indicando desproporção. Calculada a vazão pela eq. (1), resultou em 358,6 l/h, diferença de 7% na vazão correspondente ao modelo mini-Wobbler, 384 l/h, o raio máximo de alcance do jato aproximou-se de 5,5 m. A baixa aspersão em dois quadrantes e uma distribuição em formato de elipse resultou em um baixo coeficiente de uniformidade, 46,05%, indicando inaceitável (Tabela 2).

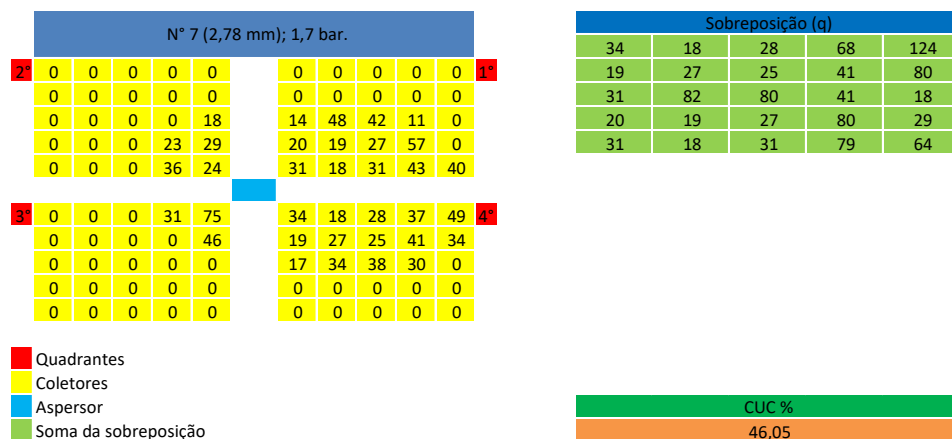


Figura 18: Gride, bocal 2,78 mm

A simulações feitas com o aspersor e os referidos bocais, equipado com defletor modificado provou que faltam alguns ajustes, quanto a quantidade de cavidades (total de 8 canais de escoamento d'água), e a modificação de suas paredes curvadas, a diminuição na altura do defletor, adotado 35 mm no projeto original, e até mesmo o próprio material de fabricação (resina de impressão 3D). Utilizando as premissas da hidráulica básica, mais especificamente o estudo da perda de carga em tubulações, acessórios, orifícios e rugosidade, são fatores que interferem na dinâmica do trabalho e da aspersão do próprio modelo. Para estudos futuros, manuseando o mesmo modelo é possível levar em consideração o ajuste do diâmetro do bocal, da vazão e da pressão para que o conjunto opere como um aspersor LEPA (Low Energy Precision Application), Aplicação Precisa com Baixa Energia, aspersores muito utilizados em sistemas de irrigação autopropelidos.

5. CONCLUSÃO

A partir das simulações realizadas com o aspersor e defletor modificado pode-se inferir que:

- a)** O bocal n° 5 bege (1,98 mm) resultou em um coeficiente de uniformidade mais alto comparado aos outros testes, 54,26%, porém, 0,3 m a mais que o raio de alcance do bocal n° 4 Azul-claro (1,59 mm).
- b)** A distância obtida pelo jato do bocal n° 7 Lima (2,78 mm) foi a maior, 5,5 m, já o CUC, permaneceu o menor 46,05%. O baixo coeficiente de uniformidade (classificados como inaceitáveis) pode ser relacionado com a área das cavidades do defletor, que proporcionou uma perda de carga considerável. Suas paredes curvadas talvez influenciaram no desempenho do aspersor aumentando o atrito nos canais de escoamento d'água, provavelmente a causa da distribuição da água permanecer praticamente em dois quadrantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. F. O. ; Martin-Bento, J. M. T. ; Varelo, J. A. J. ; Pérez, P. C. **Uniformity distribution and its economic effects on irrigation management in semiarid zones**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.130, p.257-268, 2004.
- ANDRADE, C. L. T. ; BRITO, R. A. L. **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 86).
- BERNARDO, Salassier; Mantovani, Everardo Chartuni; SILVA, D. D. ; SOARES, Antônio Alves. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.
- CARRIÓN, P.; TARJUELO, J.M.; MONTERO, J. SIRIAS: **A simulation model for sprinkler irrigation: I. A description of model**. Irrigation Science, Heidelberg, v.20, n.2, p.73-84, 2001.
- COELHO, R. D. ; FOLEGATTI, M. V. **Influência do nível de tensão da mola na percentagem de água desviada e de energia absorvida em um aspersor de impacto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v. 2, nº. 2, p.170-174, 1998.
- Coelho, E. F. ; Coelho Filho, M. A. ; Oliveira, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. Revista Bahia Agrícola, v.7, p.57-60, 2005.
- CRISTIANSSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).
- DECHMI, F. ; PLAYÁN, E. ; CAVERO, J. ; FACI, J. M. ; MARTÍNEZ-COB, A. ; **Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays)**. Irrigation science. v.22, p. 67 – 77, 2003.
- FRIZZONE, J. A. ; REZENDE, R. ; CAMARGO, A. P. ; COLOMBO, A. . **Irrigação por aspersão: Sistema pivô central**. 1. ed. Maringá: EDUEM, 2018. v. 1. 353p .
- KELLER, J. ; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AnaviBook, 1990. 652 p.
- MANTOVANI, E. C. ; BERNARDO, S. ; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F.; **Irrigação princípios e métodos**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 358 p.

MARTINS, P. E. S. ; ZANINI, J. R.; SILVA, E. R. ; LEMOS FILHO, M. A. F. . **Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulação do defletor**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 16, p. 3-9, 2012.

PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Agricultura irrigada no Brasil: história e economia** [recurso eletrônico]/ Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 155 p. 2022.

REZENDE, R. ; GONÇALVES, A. C. A. ; FREITAS, P. S. L. ; FRIZZONE, J. A. ; TORMENA, C. A. ; BERTONHA, A. **Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo**. Acta Scientiarum, Maringá, v.24, n.5, p. 1553-1559, 2002.

SCALOPPI, E. J. **Sistemas de irrigação por superfície**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 12-26, 1986.

SARWAR, Abid; PETERS, R. Troy; MOHAMED, Abdelmoneim Zakaria. **Linear mixed modeling and artificial neural network techniques for predicting wind drift and evaporation losses under moving sprinkler irrigation systems**. Irrigation Science, [s. l.], v. 182, p. 39–54, 2019.

SOARES, A.A. **A Computer model to study the influence of the sprinkler riser angle, nozzle angle and soil surface slope on the uniformity of distribution**. Logan: Utah State University, 1986. 126 p. Tese (Ph.D.) - Utah State University, 1986.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – FEAGRI, 209 p. 2017.