



PAULO AMARILDO DE SOUSA GONELI

**PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOS EMISSORES
NELSON ROTATOR, NELSON ORBITOR E SENNINGER I-
WOB UP3**

**LAVRAS - MG
2023**

PAULO AMARILDO DE SOUSA GONELI

**PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOS EMISSORES NELSON ROTATOR,
NELSON ORBITOR E SENNINGER I-WOB UP3**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista
Orientador

**LAVRAS- MG
2023**

PAULO AMARILDO DE SOUSA GONELI

**PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOS EMISSORES NELSON ROTATOR,
NELSON ORBITOR E SENNINGER I-WOB UP3**

**WATER DISTRIBUTION PROFILE OF NELSON ROTATOR, NELSON ORBITOR
AND SENNINGER I-WOB UP3 EMITTERS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 18 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista	DRH/UFLA
Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto	DRH/UFLA
Prof. Dr. Felipe Schwerz	DEA/UFLA

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista
Orientador

**LAVRAS- MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus pela vida e força de vontade de alcançar meus objetivos pessoais e profissionais ao concluir esta graduação;

Aos meus pais, Vicente (em memória) e Teresinha, por todo apoio, incentivo, carinho, amor que tiveram comigo, para que pudesse superar todas as dificuldades, dias ruins e por partilhar alegrias e felicidades na busca da realização do meu sonho.

A minha namorada, Amanda, que em grande parte desse tempo de graduação esteve comigo nos dias ruins e bons, que com tanta paciência foi meu apoio e minha segurança.

Ao meu orientador, Victor, pela paciência, disponibilidade e conhecimento passado.

Aos meus irmãos de outra família que a vida me deu oportunidade de conhecer e viver juntos em Lavras, na República Mato Dentro.

Aos meus amigos, Luísa e Lucas, que sempre souberam de todos meus problemas e alegrias nesta jornada.

E a todos os colegas, conhecidos e amigos, que independentemente de como ou quando, fizeram parte dessa trajetória.

Deixo aqui meu muito obrigado.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência de três emissores de água distintos usados em experimentos de irrigação. Os emissores analisados incluíram Nelson Orbitor e Rotator, cada um com bocais 20, 29 e 30, e o Senninger I-Wob Up3, com bocais 8, 10 e 14. Conduzido no laboratório de irrigação do DRH da UFLA, o estudo empregou 40 coletores numerados dispostos em linha reta, em distâncias específicas dos emissores, permitindo medições precisas da massa de água aplicada por emissores e bocal testados. A análise dos resultados, realizada por equações que determinaram o volume aplicado em cada coletor, possibilitou a comparação com os valores de catálogo de cada emissor e bocal. Foi observado que as vazões reais nos emissores de irrigação foram inferiores às indicadas nos catálogos. Na segunda etapa, foram comparados os perfis de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 20, Nelson Rotator 20 e Senninger I-Wob UP3 10; emissores Nelson Orbitor 29, Nelson Rotator 29 e Senninger I-Wob UP3 14; e emissores Nelson Orbitor 37, Nelson Rotator 37 e Senninger I-Wob UP3 18, por meio de gráficos de distância versus lâmina corrigida. Os resultados evidenciaram que os três perfis de emissores demonstraram um comportamento similar ao apresentar uma redução na lâmina corrigida conforme a distância aumentava, apontando uma limitação geral na distribuição uniforme em longos alcances para todos os emissores testados. Entretanto, a operação em faixas de pressão mais baixas, como nos emissores do I-Wob UP3 10, 14 e 18, revelou uma relativa estabilidade na distribuição, apesar de flutuações em pontos específicos. Além disso, emissores com bocais de menor diâmetro, como os do perfil 1, dispersaram a água de forma mais ampla, resultando em uma distribuição mais uniforme ao longo das distâncias.

Palavras-chave: Hidráulica. Irrigação. Eficiência. Uniformidade.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the efficiency of three distinct water emitters used in irrigation experiments. The assessed emitters included Nelson Orbitor and Rotator, each with nozzles 20, 29, and 30, and the Senninger I-Wob UP3, with nozzles 8, 10, and 14. Carried out at the DRH UFLA Irrigation Laboratory, the study employed 40 numbered collectors arranged in a straight line at specific distances from the emitters, enabling precise measurements of water mass applied by emitter and nozzle. The analysis of the results, performed by equations determining the volume applied in each collector, allowed comparison with the catalog values of each emitter and nozzle. It was observed that the actual water flows rate in the irrigation emitters were lower than indicated in the catalogs. In the second stage, the water application profiles of the Nelson Orbitor 20, Nelson Rotator 20 and Senninger I-Wob UP3 10 emitters were compared; emitters Nelson Orbitor 29, Nelson Rotator 29 and Senninger I-Wob UP3 14; and emitters Nelson Orbitor 37, Nelson Rotator 37 and Senninger I-Wob UP3 18, using graphs of distance versus corrected depth. The results highlighted that the three emitter profiles exhibited a similar behavior by showing a decrease in the corrected depth as the distance increased, indicating a general limitation in uniform distribution over long ranges for all tested emitters. However, operating at lower pressure ranges, such as in the I-Wob UP3 10, 14, and 18 emitters, revealed a relative stability in distribution, despite fluctuations at specific points. Additionally, emitters with nozzles of lower diameter, such as those in profile 1, dispersed water more widely, resulting in a more uniform distribution over distances.

Keywords: Hydraulics. Irrigation. Efficiency. Uniformity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição espacial da área adicional irrigável total (área adicional irrigável de intensificação – agrícola, e de expansão – pastagens).....	12
Figura 2 – Evolução da área irrigada ocupada por cada método de irrigação no Brasil de 2006 e 2017.....	14
Figura 3 – Sistema mecanizado de aspersão com deslocamento radial (pivô central).....	15
Figura 4 – Pivô com sistema de canto.	16
Figura 5 – Emissores (a) Nelson Rotator; (b) Nelson Orbitor; (c) Senninger I-Wob UP3.	21
Figura 6 – Distribuição dos coletores para realização dos experimentos.....	22
Figura 7 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 20, Nelson Rotator 20 e Senninger I-Wob UP3 10.....	25
Figura 8 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 29, Nelson Rotator 29 e Senninger I-Wob UP3 14.....	26
Figura 9 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 37, Nelson Rotator 37 e Senninger I-Wob UP3 18.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazão dos emissores catálogo x real.	24
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Potencial da Irrigação no Brasil.....	11
2.2	Métodos e sistemas de irrigação.....	13
2.2.1	Sistema de irrigação pivô central.....	15
2.3	Importância da uniformidade de distribuição de água.....	17
2.4	Fatores que afetam a distribuição de água.....	17
2.5	Tipos de emissores e seus princípios de funcionamento	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Descrição dos emissores utilizados	20
3.2	Procedimentos experimentais	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

A irrigação desempenha um papel essencial na agricultura, sendo crucial para suprir a deficiência hídrica das plantas e promover o desenvolvimento sustentável. No Brasil, essa prática adquire destaque devido à vasta extensão territorial e condições físico-climáticas favoráveis (MAULE et al., 2022). Os sistemas de irrigação variam de acordo com a maneira como a água é aplicada, e entre os métodos mais utilizados estão a superfície, aspersão, localizada e subirrigação (GU et al., 2020; SANTOS et al., 2022).

O pivô central, um sistema automatizado de irrigação por aspersão, compreende uma linha de emissores, a linha lateral, movendo-se em torno do ponto central chamado pivô. Suportado por uma ou mais torres móveis, esse sistema realiza a distribuição de água pela tubulação aérea para abastecer os emissores. A quantidade de água aplicada é controlada pela velocidade da última torre, apresentando um deslocamento radial devido aos intervalos de tempo entre as operações das torres consecutivas (FRIZZONE et al., 2018).

A uniformidade na distribuição de água é fundamental para o sucesso do sistema de pivô central, influenciando diretamente o crescimento das culturas. Problemas como estresse hídrico em algumas áreas e excesso de umidade em outras podem resultar em perdas de produtividade e qualidade das colheitas (FRIZZONE et al., 2018). Essa uniformidade pode ser afetada por fatores que geram efeitos aleatórios e cumulativos ao longo da temporada de irrigação (GOMES, 2013; WALLER; YITAYEW, 2016).

Os emissores de água, como aspersores de impacto e difusores (sprayers), são componentes fundamentais no sistema de pivô central. Cada tipo de emissor possui características específicas de aplicação, variando conforme a pressão de operação, vazão do bocal e comprimento da lateral. Os difusores, amplamente utilizados, operam com menor pressão, gerando gotas menores e taxas de aplicação mais altas, enquanto os aspersores de impacto possuem características diferentes (RODRIGUES et al., 2001; FRIZZONE et al., 2018).

Considerando a relevância dos emissores na irrigação por pivô central, este estudo propõe analisar o perfil de distribuição de água de três emissores distintos, de diferentes marcas e com diferentes bocais, visando compreender suas performances individuais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Potencial da Irrigação no Brasil

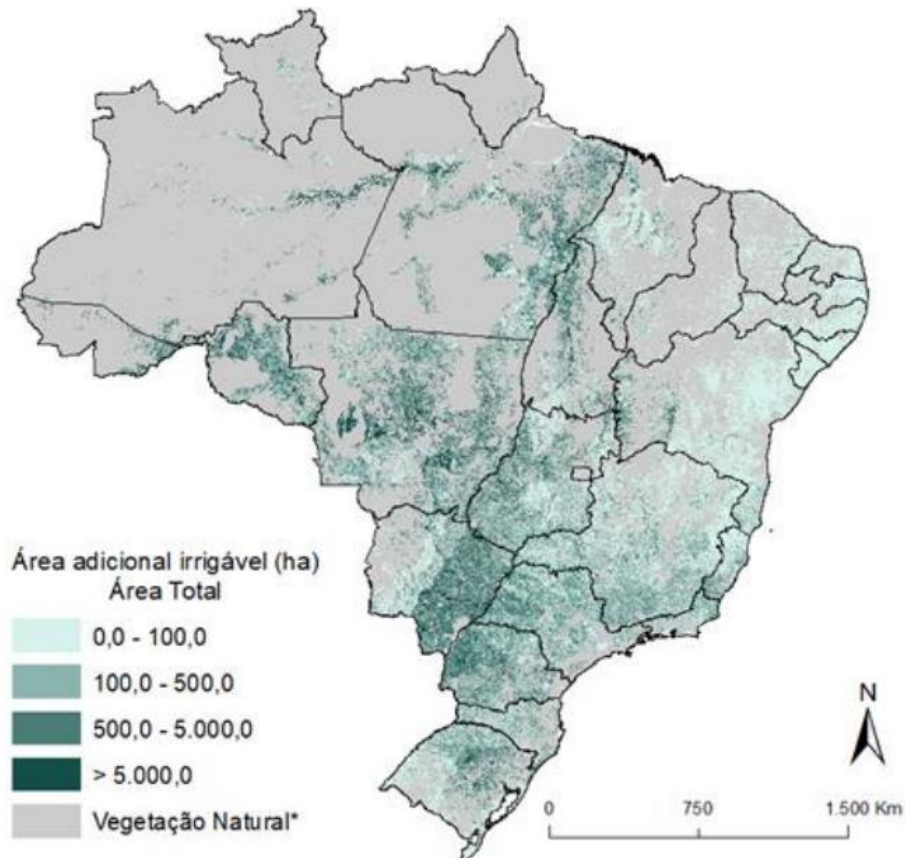
A prática agrícola da irrigação, essencial para suprir a deficiência hídrica das plantas, desempenha um papel crucial no desenvolvimento sustentável da agricultura. No Brasil, essa técnica adquire especial importância devido à sua vasta extensão territorial e condições físico-climáticas favoráveis. Desde o início do século, a agricultura irrigada no país tem evoluído, impulsionada pelo objetivo de aumentar a eficiência produtiva, reduzir riscos de quebras de safras e viabilizar a atividade agrícola em regiões afetadas pela escassez ou irregularidade das chuvas (MAULE et al., 2022).

O Brasil figura entre os principais países com extensas áreas irrigadas, ocupando a sexta posição mundial, com 8,2 milhões de hectares (FAO, 2020). Dentre essas áreas, 35,5% utilizam água de reuso na fertirrigação, evidenciando a busca por práticas mais sustentáveis (ANA, 2021). Contudo, o cenário nacional apresenta desafios, como limitações socioeconômicas e ambientais que requerem estratégias específicas para promover o desenvolvimento da agricultura irrigada (DOURADO NETO et al., 2022).

A agricultura irrigada brasileira mostra uma diversificação notável, com cultivos que incluem arroz, cana-de-açúcar, café e diversas culturas anuais em pivôs centrais. Essa diversidade contribui para a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico e social das populações rurais e urbanas (FAO, 2020).

O potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil é expressivo (Figura 1), com uma área adicional irrigável de 53,41 milhões de hectares, destacando-se entre áreas de intensificação e expansão (DOURADO NETO et al., 2022). Essa expansão se mostra crucial à luz da crescente demanda global por alimentos, considerando as projeções que indicam a necessidade de aumentar significativamente a produção até 2050 (ONU, 2018; FAO, 2019). No entanto, é imperativo que essa expansão seja guiada por políticas públicas sólidas, integrando aspectos produtivos, ambientais, sociais e econômicos, assegurando o desenvolvimento territorial sustentável e a geração de renda para todos os agricultores envolvidos (MAULE et al., 2022).

Figura 1 – Distribuição espacial da área adicional irrigável total (área adicional irrigável de intensificação – agrícola, e de expansão – pastagens).



Fonte: Dourado Neto, 2022.

O recente Mapeamento Atualizado da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil, lançado pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, revela avanços significativos. Em 2022, o Brasil superou os 30 mil pontos-pivôs, ocupando uma área de 1,92 milhão de hectares, indicando um aumento expressivo em relação a 2019. Esse crescimento reflete não apenas uma expansão quantitativa, mas também uma diversificação geográfica, com o Cerrado liderando com 70,4% da área total de pivôs centrais (ANA, 2023; MIDR, 2023).

A análise dos dados demonstra a contribuição da agricultura irrigada para a garantia da segurança hídrica da produção agrícola. Na safra 2021-2022, mais de 56% da área equipada com pivôs realizou safra dupla, evidenciando a capacidade dessa prática em viabilizar múltiplas safras durante o ano. Essa flexibilidade temporal aumenta a segurança alimentar e destaca a importância estratégica da irrigação diante das mudanças climáticas e da variabilidade sazonal (ANA, 2023).

2.2 Métodos e sistemas de irrigação

A irrigação é uma prática agrícola essencial que envolve a aplicação de água às culturas. O método de irrigação refere-se à maneira como a água é aplicada, enquanto o sistema de irrigação se refere à disposição dos elementos que possibilitam a irrigação. Existem quatro métodos principais de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. No entanto, a subirrigação é menos utilizada em produções de larga escala no campo (GU et al., 2020; SANTOS et al., 2022).

A irrigação por superfície envolve a distribuição de água por gravidade através da superfície do solo. Nesse método podemos elencar os sistemas de Inundação e Sulco, demandando uma situação topográfica plana para a região do plantio, pois utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para aplicação da água por ação da gravidade. Possuem várias vantagens, incluindo menor custo fixo e operacional, equipamentos simples, fácil operação, pouca interferência de ventos e a possibilidade de usar água com partículas sólidas em suspensão. No entanto, também apresenta desvantagens, como dependência das condições topográficas da região, inadequação para solos altamente permeáveis, dificuldade de dimensionamento, necessidade de monitoramento constante e baixa eficiência na distribuição de água se mal planejado ou manejado (ANDRADE; BRITO, 2006; SILVA; NEVES, 2020; SANTOS et al., 2022).

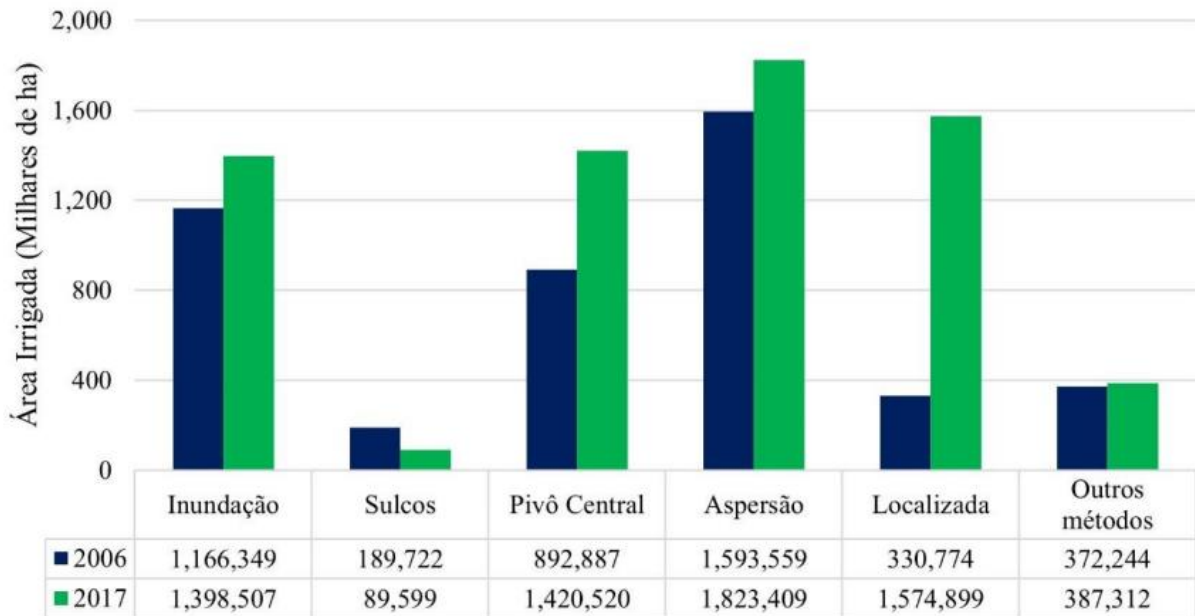
A técnica de aspersão envolve o lançamento de jatos d'água no ar, que caem sobre a cultura. Internacionalmente aplicado, esse método destaca-se por sua versatilidade em variados terrenos e contextos. Os principais sistemas que compõem a irrigação por aspersão incluem a aspersão convencional, o pivô central e o carretel autopropelido, cada um com atributos e usos específicos. Essa abordagem oferece múltiplos benefícios, como a habilidade de se adaptar a diversas topografias, solos e culturas, e uma eficiência de irrigação superior em comparação ao método de superfície, permitindo também total automação. Entretanto, existem desafios a serem considerados, como os custos elevados de instalação e operação, a influência dos ventos e a propensão ao surgimento de doenças em algumas culturas devido à constante umidade nas folhas (ANDRADE; BRITO, 2006; SANTOS et al., 2022).

Os avanços recentes na tecnologia de irrigação estão transformando a maneira como a água é gerenciada na agricultura. Por exemplo, a irrigação de precisão, que utiliza tecnologias como sensores de solo e clima, sistemas de informação geográfica (GIS) e sistemas de posicionamento global (GPS), permite que os agricultores apliquem a quantidade certa de água no momento certo, melhorando a eficiência da água e reduzindo o desperdício. Além disso, os

sistemas de irrigação inteligentes, que utilizam a Internet das Coisas (IoT) para monitorar e controlar remotamente os sistemas de irrigação, estão se tornando cada vez mais comuns, proporcionando aos agricultores um maior controle sobre seus sistemas de irrigação e ajudando a otimizar o uso da água (VALEJO-GÓMEZ et al., 2023).

Segundo Silva et al. (2021) há uma crescente preocupação com a gestão da água, especialmente ao considerar que a técnica de irrigação por sulcos, que utiliza significativa quantidade de água, apresentou uma eficiência em torno de 50%, marcando-se como a única técnica a registrar uma redução de 52%, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Evolução da área irrigada ocupada por cada método de irrigação no Brasil de 2006 e 2017.



Fonte: Silva et al., 2021.

Em contrapartida, o sistema localizado, caracterizado por uma eficiência de 95%, experimentou um notável aumento de 376%. Simultaneamente, o método de irrigação por pivô central registrou um incremento de 60% em sua utilização, indicando uma tendência de busca por métodos mais eficientes e sustentáveis no manejo dos recursos hídricos (SILVA et al., 2021). Destaca-se que a região Sudeste, com 38,6%, e os estados do Rio Grande do Sul (20,4%), Minas Gerais (16,6%), e São Paulo (16,0%) se sobressaem como as áreas de maior extensão irrigada no país, sendo que Minas Gerais, em particular, evidenciou o maior crescimento na área irrigada durante o período de 2006 a 2017, alcançando expressivos 116,1%, impulsionado pela expansão das áreas irrigadas utilizando o sistema de pivô central (CARVALHO et al., 2020).

2.2.1 Sistema de irrigação pivô central

O pivô central é um sistema de irrigação automatizado por aspersão, composto por uma linha de emissores, conhecida como linha lateral, que se move em torno do ponto central chamado pivô. Essa estrutura é suportada por uma ou mais torres que se deslocam por conta própria. A água é fornecida ao ponto pivô e, em seguida, distribuída pela tubulação aérea para abastecer os emissores. Esse sistema possui um deslocamento radial devido aos intervalos de tempo distintos entre as operações das torres consecutivas. A quantidade de água aplicada é determinada pela velocidade de deslocamento da última torre. Este sistema é ideal quando um poço artesiano está localizado no ponto central da área circular irrigada, pois a água pode ser fornecida diretamente à linha lateral que alimenta os aspersores. Caso contrário, é necessário conduzir a água sob pressão por uma tubulação adutora até o ponto do pivô. Os sistemas de pivô central podem ser fixos ou móveis (Figura 3), além de serem equipados com diferentes tipos de emissores, como emissores convencionais fixos ou oscilantes com placas estriadas simples, duplas ou triplas, além de emissores LEPA (Low Energy Precision Application) (FRIZZONE et al., 2018).

Figura 3 – Sistema mecanizado de aspersão com deslocamento radial (pivô central).



Pivô central fixo

Pivô central rebocável

Fonte: Frizzone et al., 2018.

Para alcançar os cantos de áreas quadradas na irrigação, certos equipamentos são projetados com uma extensão retrátil, semelhante a um braço articulado, instalada no final da linha principal (Figura 4). Os aspersores colocados nessa extensão são conectados a um conjunto de válvulas. Quando a lateral do pivô se move em direção ao canto do campo, a

extensão retrátil se desdobra e as válvulas dos aspersores são acionadas enquanto o braço está estendido. Além disso, é possível adicionar um canhão na extremidade da lateral de canto para fornecer água a distâncias maiores. Alguns sistemas de irrigação de canto usam um cabo subterrâneo combinado com uma antena na torre do canto para orientar o equipamento ao longo do trajeto desejado. Enquanto isso, outros sistemas são guiados por GPS para alcançar os cantos da área de maneira precisa e eficiente (FRIZZONE et al., 2018).

Figura 4 – Pivô com sistema de canto.



Fonte: Frizzone et al., 2018.

O sistema de irrigação pivô central se destaca pela operação simples e eficiente, facilitando a irrigação de grandes áreas de forma precisa e econômica. Além disso, possibilita economias significativas de água, energia e reduz consideravelmente a necessidade de mão de obra. Sua capacidade de irrigar a longas distâncias o torna ideal para propriedades agrícolas extensas, e sua adaptabilidade a diferentes tipos de solo amplia sua aplicabilidade. Ainda, a otimização na aplicação de água e fertilizantes, junto à redução dos custos com mão de obra devido à sua automatização, são fatores preponderantes (GOMES, 2013; WALLER; YITAYEW, 2016; FRIZZONE et al., 2018).

Entretanto, há algumas desvantagens a serem consideradas, pois o sistema de pivô central não se mostra eficiente em áreas menores ou de formatos irregulares, limitando sua aplicação. Além disso, o investimento inicial para sua instalação é substancial, podendo ser uma barreira para alguns produtores. Sua operação e manutenção também demandam conhecimento técnico específico. Outros pontos negativos incluem a alta intensidade de aplicação na

extremidade do pivô, potencial entupimento dos orifícios de saída de água e a possibilidade de diminuição da profundidade das raízes das plantas devido à constante disponibilidade de água (WALLER; YITAYEW, 2016; FRIZZONE et al., 2018).

2.3 Importância da uniformidade de distribuição de água

A uniformidade na distribuição de água é fundamental para o sistema de irrigação por pivô central, influenciando diretamente o crescimento das culturas. Problemas como estresse hídrico em algumas áreas e excesso de umidade em outras podem resultar em perdas de produtividade e qualidade das colheitas (FRIZZONE et al., 2018). Para medir essa uniformidade, são utilizados coeficientes adimensionais que expressam a variabilidade da lâmina de irrigação em relação ao valor médio. Desde Christiansen (1942), vários coeficientes de uniformidade têm sido propostos para sistemas de aspersão, utilizando medidas de dispersão.

A falta de uniformidade na distribuição de água afeta negativamente a eficiência do sistema de irrigação, podendo causar deficiências hídricas em certas partes do campo, o que reduz a produção e pode danificar as plantas. Manter o sistema de pivô central adequadamente, incluindo a verificação e correção de aspersores com baixa uniformidade, é crucial para garantir uma distribuição homogênea de água. A calibração periódica do sistema, como sugerido por Waller e Yitayew (2016), é essencial para assegurar a consistência na aplicação de água em toda a área irrigada.

A uniformidade na distribuição de água não apenas otimiza o uso eficiente dos recursos hídricos, mas também promove o crescimento saudável das plantas, contribuindo para maximizar os rendimentos agrícolas (FRIZZONE et al., 2018).

2.4 Fatores que afetam a distribuição de água

A uniformidade de distribuição de água é afetada por fatores que geram tanto efeitos aleatórios quanto cumulativos. Os efeitos aleatórios, como o vento, embora previsíveis, tendem a se equilibrar ao longo dos ciclos de irrigação. Em contraste, os efeitos cumulativos, como desgastes e falhas de equipamentos, projetos inadequados e mau funcionamento de acessórios, resultam em diferenças crescentes na aplicação de água ao longo da temporada de irrigação (GOMES, 2013; WALLER; YITAYEW, 2016; FRIZZONE et al., 2018).

A influência do vento na uniformidade de distribuição é mais significativa em sistemas estacionários ou autopropelidos, nos quais os emissores permanecem fixos ou operam em

faixas. No entanto, nos sistemas de pivô central, que possuem emissores próximos, o desempenho é menos afetado pelo vento. Para reduzir a deriva de água e evaporação causadas pelo vento, os sistemas de pivô central utilizam tubos de descida, diminuindo a altura dos emissores em relação ao solo. No entanto, emissores muito próximos ao solo podem aumentar a intensidade de aplicação de água, levando a problemas de escoamento superficial e redução da uniformidade de distribuição. A manutenção de alta uniformidade depende da escolha adequada do comprimento do tubo de descida e do tipo de placa difusora no emissor (RODRIGUES et al., 2001; FARIA et al., 2016; FRIZZONE et al., 2018).

A variação na velocidade das torres do sistema de pivô central, causada por variações na pressão, resulta na redução da uniformidade ao longo de seu movimento (FOLEGATTI et al., 1998). Hanson e Wallender (1986) observaram que essa redução é mais acentuada em sistemas de baixa pressão.

É crucial realizar avaliações contínuas da distribuição de água no sistema de irrigação. Isso inclui entender as condições atuais, melhorar as práticas de manejo da irrigação e identificar áreas onde a adoção de tecnologias e práticas pode aumentar a eficiência. Considerando limitações financeiras, é essencial buscar resultados práticos e aplicáveis, julgando o potencial das técnicas de manejo para reduzir o desperdício de água, aumentar a produtividade e elevar a renda do agricultor (GOMES, 2013; FRIZZONE et al., 2018).

Assim, para aprimorar a eficiência na irrigação requer a minimização das perdas de água, influenciadas por fatores como a deriva causada pelo vento e a evaporação da água aspergida sobre o solo e as plantas. Controlar o escoamento superficial é crucial para aprimorar essa eficiência. Um avanço significativo nesse sentido foi a criação de emissores operando em baixas pressões, produzindo gotas de tamanho médio e com maior padrão de umedecimento, mesmo quando próximos da superfície do solo. Essa ampliação do padrão de umedecimento reduz a taxa de aplicação instantânea e, conseqüentemente, o potencial de escoamento superficial. Gotas maiores, aplicadas em proximidade ao solo, são menos suscetíveis à deriva e à evaporação (FRIZZONE et al., 2018).

2.5 Tipos de emissores e seus princípios de funcionamento

Existem dois tipos principais de emissores de água em sistemas de pivô central: os aspersores de impacto, que são menos comuns atualmente, e os difusores ou *sprayers*, mais amplamente utilizados. As taxas de aplicação de água variam conforme o tipo de emissor, a pressão de operação, a vazão do bocal e o comprimento da lateral projetada. Sistemas equipados

com emissores do tipo *sprayers* e placas defletoras fixas tendem a operar em baixas pressões, proporcionando um padrão de distribuição com gotas pequenas, menor diâmetro de cobertura e taxas de aplicação mais altas. Em contraste, emissores com placas rotativas apresentam maior diâmetro de cobertura e taxas de aplicação menores (RODRIGUES et al., 2001; FRIZZONE et al., 2018).

A escolha do emissor adequado deve considerar algumas variáveis, incluindo o tipo de cultura, características do solo, topografia, clima, disponibilidade e custo de energia. A capacidade de infiltração da água no solo é influenciada pela textura, condições superficiais, umidade inicial, compactação e teor de matéria orgânica (FOLEGATTI et al., 1998; RODRIGUES et al., 2001; FRIZZONE et al., 2018).

Para assegurar uma distribuição uniforme ao longo da lateral, os emissores devem ser espaçados de forma que cada ponto no solo receba água de, pelo menos, três emissores. Portanto, o raio de alcance de cada emissor é uma informação crucial para o dimensionamento. Emissores próximos ao ponto central do pivô precisam aplicar menos água devido à área menor a ser irrigada. No entanto, essa necessidade de lâmina de irrigação menor pode não estar alinhada com os bocais comerciais disponíveis, o que geralmente resulta em excesso de irrigação no primeiro vão do pivô. A redução dessa lâmina aplicada pode ser alcançada aumentando o espaçamento entre os emissores neste vão, mas garantindo sempre uma uniformidade adequada na aplicação de água (SILVA et al., 2015; FRIZZONE et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição dos emissores utilizados

Foram adotados três diferentes tipos de emissores para aplicação nos experimentos, cada um apresentando características específicas que influenciaram diretamente nos resultados obtidos.

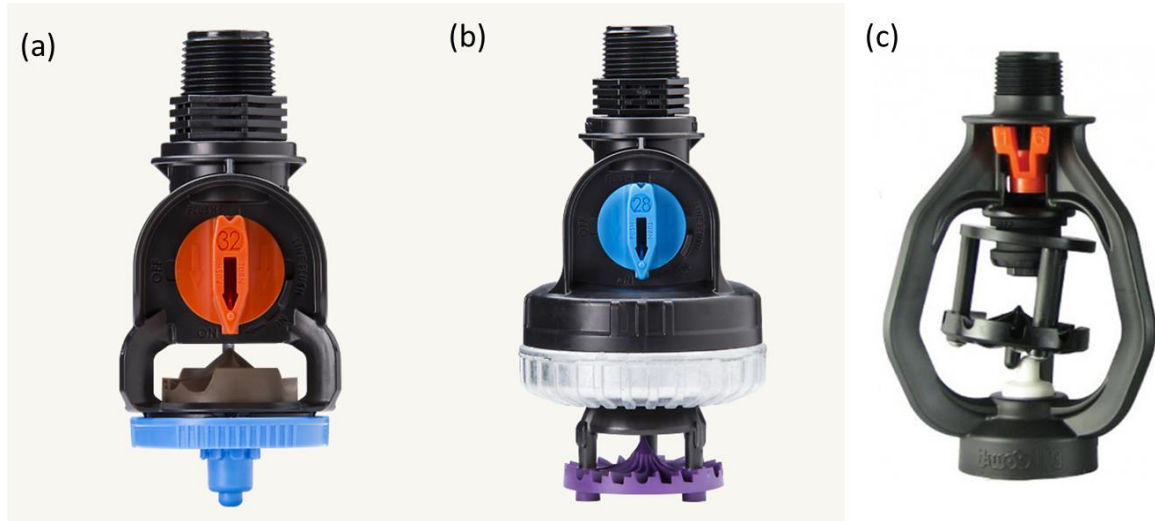
O primeiro emissor utilizado foi o Nelson Rotator (Figura 5 a), com bocais de 20, 29 e 37, que aplicam vazão em L/h de 498, 1030,8 e 1713, segundo catálogo do fabricante. De acordo com o fabricante, o emissor Rotator é um equipamento com desempenho consistente em uma faixa de pressão de 38 a 345 kPa e um diâmetro de projeção variando entre 15 e 23 metros. Sua característica marcante reside no maior raio de projeção, resultando em aspersores rotativos com padrões mais amplos. Isso se traduz em uma aplicação mais uniforme, menor escoamento e tempo prolongado de absorção. Além disso, o Rotator se destaca por reduzir significativamente a deriva por vento e a perda evaporativa, tornando-se uma escolha eficaz para locais expostos a esses desafios (NELSON IRRIGATION, 2023).

Em seguida, utilizou-se o emissor Nelson Orbitor (Figura 5 b), com bocais de 20, 29 e 37, que aplicam vazão em L/h de 498, 1030,8 e 1713, segundo catálogo do fabricante. De acordo com o fabricante, o emissor Orbitor é projetado para operar em uma faixa de pressão mais baixa, entre 40 e 135 kPa, e com um diâmetro de projeção variando de 10 a 18 metros. Sua característica notável reside no design simplificado, desprovido de suportes, o que minimiza o acúmulo de detritos e neblina comuns em sprinklers convencionais. Isso garante uma vida útil mais longa, operação confiável e durabilidade mesmo em condições de água adversas. Além disso, seu formato sem escoras contribui para reduzir a quebra de gotículas, deriva e excesso de umidade. A versatilidade do Orbitor se destaca, oferecendo-se como uma opção de retrofit para sistemas já existentes, agregando eficiência sem a necessidade de grandes adaptações (NELSON IRRIGATION, 2023).

Por fim, o emissor Senninger I-Wob UP3 (Figura 5 c), com bocais de 10, 14 e 18, que aplicam vazão em L/h de 509, 1004 e 1663, segundo catálogo do fabricante. De acordo com o fabricante, o emissor I-Wob UP3 apresenta características específicas que o diferenciam dos demais. Sua capa protetora não apenas resguarda a superfície do aspersor dos efeitos dos raios UV e detritos provenientes de aspersores vizinhos, mas também oferece suporte para bocais adicionais, facilitando e agilizando o redimensionamento da lâmina. Operando em baixas pressões, entre 40 e 10 kPa, destaca-se por economizar energia e reduzir custos. Além disso,

seu peso universal abaixo do bocal elimina a necessidade de pesos convencionais maiores, simplificando o sistema de irrigação (SENNINGER, 2023).

Figura 5 – Emissores (a) Nelson Rotator; (b) Nelson Orbitor; (c) Senninger I-Wob UP3.



Fonte: Nelson Irrigation, 2023; Senninger, 2023.

3.2 Procedimentos experimentais

Os testes foram realizados no Laboratório de Irrigação, localizado no Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Universidade Federal de Lavras.

Para determinar o perfil de distribuição de água dos diferentes emissores, foram coletadas as lâminas aplicadas em coletores distribuídos ao longo do eixo do diâmetro molhado (Figura 6). Para isso, foram utilizados 40 coletores, com diâmetro de abertura de 20 cm, identificados de A-1 a A-20 de um lado e de B-1 a B-20 do outro com espaçamento de 30 cm entre centros para o emissor Nelson Rotator, e espaçamento de 45 cm entre centros para os emissores Nelson Orbitor e Senninger I-Wob UP3, conforme apresentado na Figura 6. O tempo de duração de cada teste foi de 40 minutos

Figura 6 – Distribuição dos coletores para realização dos experimentos.



Fonte: Do Autor, 2023.

Após o ensaio, utilizou-se de uma balança com precisão de 0,01g, para medir a massa de água aplicada em cada coletor. O volume aplicado em cada coletor foi determinado a partir da multiplicação da massa coletada pela massa específica da água (Eq. 1). A lâmina aplicada em cada coletor foi determinada através da relação entre a área da abertura do coletor, volume medido e tempo de duração do teste (Eq. 2).

$$Vol (L) = \frac{\text{massa da lâmina coletada (g)}}{\text{massa específica da água (1000 g/L)}} \quad (1)$$

$$Lâmina \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{Vol (L)}{\text{Área coletor (m}^2\text{) Tempo (h)}} = \frac{4 Vol}{\pi D_{coletor}^2 Tempo} \quad (2)$$

Com os dados de lâmina aplicada em cada coletor, foi determinada a vazão aplicada pelo emissor, também conhecido como vazão reconstituída. Para isso, foram determinadas as áreas de cada anel, representada pela distância do coletor em relação ao emissor (Eq. 3).

$$q_{emissor} (L/h) = \sum Lâmina \left(\frac{mm}{h}\right) \pi [(r_i^2 - r_{i-1}^2)] \quad (3)$$

onde, r_i é a distância do emissor até o coletor representativo de cada anel e r_{i-1} é a distância do emissor até o coletor imediatamente antes do coletor representativo de cada anel.

Os dados de vazão reconstituída dos emissores testados foram comparados com os valores apresentados nos catálogos dos fabricantes, e determinado o erro relativo. Os perfis de distribuição de água foram gerados em planilha eletrônica no Ms Excel (SANTOS NETO, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a primeira etapa da análise de dados, comparou-se a vazão de catálogo do fabricante com a vazão real coletada de cada emissor com cada bocal diferente (Tabela 1).

Tabela 1 – Vazão dos emissores catálogo x real.

	BOCAL	Q catálogo (L/h)	Q medido (L/h)	Erro Relativo (%)
Nelson Orbitor	20	498	396	-20.48
	29	1030,8	786,87	-23.66
	37	1713	1030	-39.87
Nelson Rotator	20	498	403,7	-18.94
	29	1030,8	773,27	-24.98
	37	1713	1424,27	-16.86
Senninger I- Wob UP3	10	509	431,17	-15.29
	14	1004	927,84	-7.59
	18	1663	1614	-2.95

Fonte: Do Autor, 2023.

Pode ser observado que as vazões reais encontradas nos emissores de irrigação foram menores do que as indicadas nos catálogos, e essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores. Um deles é a perda de pressão dentro das linhas de irrigação, o que pode resultar em uma redução da vazão ao longo do sistema. Emissores que não são capazes de compensar essa variação na pressão podem ver suas vazões diminuídas à medida que a pressão cai (ANDRADE et al., 2021). Além disso, o entupimento dos emissores representa um fator significativo na redução da vazão. Isso pode acontecer devido à presença de detritos na água, crescimento biológico ou precipitação química. Alguns estudos têm se dedicado a otimizar o fluxo para torná-lo autolimpante, reduzindo assim a ocorrência de entupimentos (BARROS et al., 2020).

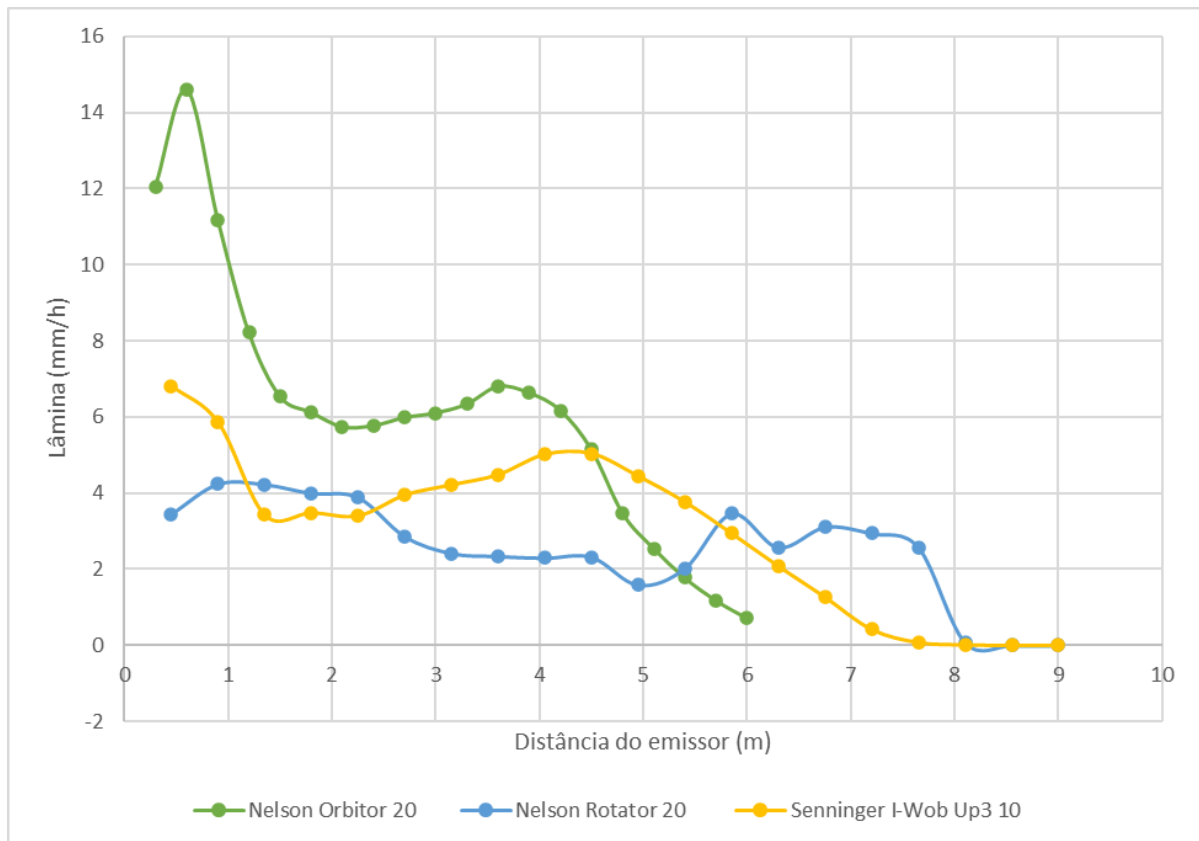
O design interno dos emissores também desempenha um papel crucial na vazão. Emissores com um design simplificado, que minimizam o acúmulo de detritos ou incorporam mecanismos autolimpantes, tendem a ter vazões mais consistentes e menos propensas a reduções não planejadas. Adicionalmente, as condições da água podem afetar a vazão dos emissores. Águas com alta salinidade ou presença de sólidos suspensos podem impactar diretamente na performance dos emissores de irrigação, levando a variações não desejadas na vazão (MELO et al., 2022).

Portanto, é importante notar que a vazão real pode variar dependendo das condições específicas do local, incluindo a qualidade da água, a pressão da água, o tipo de solo e o clima.

Portanto, é sempre recomendável testar os emissores em condições reais para determinar a vazão real.

A segunda etapa verificou a eficiência, comparado os perfis de Nelson Orbitor 20, Nelson Rotator 20 e Senninger I-Wob UP3 10 (Figura 7); Nelson Orbitor 29, Nelson Rotator 29 e Senninger I-Wob UP3 14 (Figura 8); e Nelson Orbitor 37, Nelson Rotator 37 e Senninger I-Wob UP3 18 (Figura 9) em gráficos de distância x lâmina corrigida. Em todos os três perfis, observa-se uma uniformidade menor e uma concentração de pontos específicos. Esses padrões eram esperados, pois pressões mais baixas resultam em gotas maiores, o que está diretamente ligado a uma distribuição mais irregular. Esse mesmo comportamento foi identificado por Santos Neto (2022), ao testar o emissor Nelson R55, que é instalado nas extremidades finais de pivô.

Figura 7 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 20, Nelson Rotator 20 e Senninger I-Wob UP3 10.

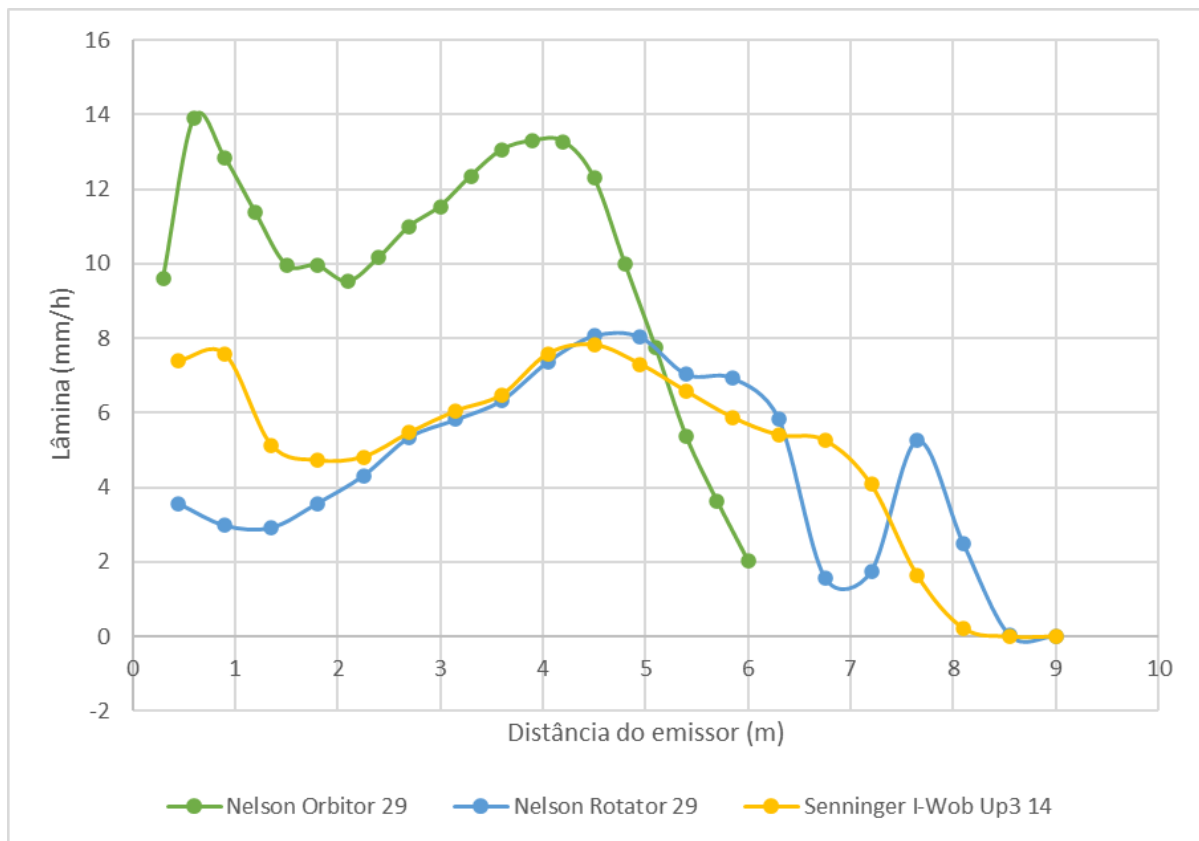


Fonte: Do Autor, 2023.

O emissor Nelson Orbitor 20 apresentou uma variação de lâmina corrigida que diminuiu conforme a distância aumenta. Isso sugere uma diminuição na eficiência de distribuição à medida que a distância do emissor aumenta. Essa redução pode ser atribuída a uma possível

perda de pressão ou inadequação do design em relação à distribuição de água. No caso do Nelson Rotator 20, observa-se uma tendência similar, onde a lâmina corrigida diminui à medida que a distância aumenta. Entretanto, há uma queda significativa na lâmina corrigida em distâncias mais longas, possivelmente indicando uma limitação ou falha no desempenho do emissor em distâncias maiores. O Senninger I-Wob UP3 10 apresentou uma diminuição mais suave na lâmina corrigida conforme a distância aumenta. Isso sugere uma distribuição relativamente mais uniforme em comparação com os outros emissores em distâncias maiores, embora ainda haja uma queda na eficiência em distâncias mais longas.

Figura 8 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 29, Nelson Rotator 29 e Senninger I-Wob UP3 14.



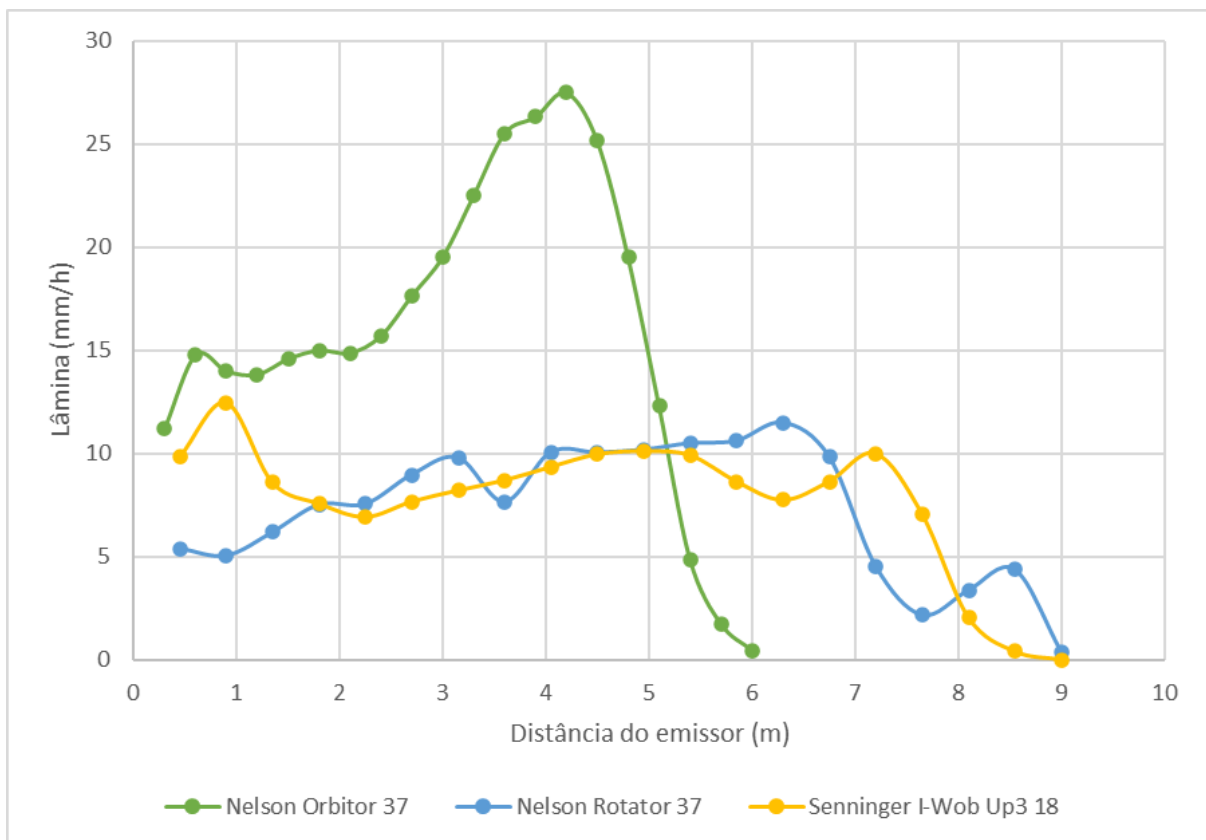
Fonte: Do Autor, 2023.

Os dados do Nelson Orbitor 29 demonstram uma tendência semelhante à do Nelson Orbitor 20 do perfil anterior. A lâmina corrigida tende a diminuir à medida que a distância aumenta. Isso sugere uma queda na eficiência de distribuição em distâncias mais longas, indicando possíveis desafios de pressão ou design para alcançar uma distribuição uniforme. No caso do Nelson Rotator 29, observa-se um padrão diferente em comparação com o Nelson Rotator 20 do perfil anterior. A lâmina corrigida varia, mas mostra uma tendência a aumentar

em algumas distâncias intermediárias antes de diminuir novamente. Isso pode indicar uma faixa de operação mais ampla ou uma configuração específica que otimize a distribuição em determinadas distâncias. O Senninger I-Wob UP3 14 apresenta uma diminuição gradual na lâmina corrigida à medida que a distância aumenta, seguindo uma tendência similar aos emissores anteriores. No entanto, sua distribuição parece ser mais estável em distâncias intermediárias, mostrando uma diminuição mais suave antes de cair em distâncias maiores.

Ao analisar esses dados, percebe-se que o Nelson Orbitor 29 e o Senninger I-Wob UP3 14 exibem tendências de redução na lâmina corrigida à medida que a distância aumenta, indicando desafios potenciais de distribuição em distâncias mais longas. No entanto, o Nelson Rotator 29 mostra uma variação mais complexa, sugerindo uma resposta diferenciada a diferentes distâncias.

Figura 9 – Perfil de distribuição dos emissores Nelson Orbitor 37, Nelson Rotator 37 e Senninger I-Wob UP3 18.



Fonte: Do Autor, 2023.

O Nelson Orbitor 37 apresenta uma tendência similar aos modelos anteriores da mesma linha. Inicialmente, há um aumento na lâmina corrigida, mas a partir de uma certa distância, em torno de 5,7 metros, há uma queda drástica, indicando um desafio na distribuição de água em

distâncias mais longas. Essa queda acentuada pode sinalizar problemas de pressão ou eficácia do design em distâncias maiores. Os dados do Nelson Rotator 37 mostram uma variação na lâmina corrigida ao longo das diferentes distâncias. Há um aumento inicial, seguido por uma certa estabilidade, embora haja flutuações notáveis em certos pontos. Isso pode sugerir uma adaptabilidade variável do emissor em diferentes distâncias, mas ainda assim com algumas oscilações preocupantes. O Senninger I-Wob UP3 18 exibe uma tendência geral de diminuição na lâmina corrigida à medida que a distância aumenta, semelhante aos outros emissores analisados neste perfil. No entanto, essa diminuição parece mais gradual e estável em comparação com os emissores anteriores, mantendo uma certa consistência na distribuição mesmo em distâncias mais longas.

Os resultados do perfil 3 apontam para desafios semelhantes aos perfis anteriores em termos de distribuição de água. Os emissores Nelson Orbitor 37 e Nelson Rotator 37 mostram padrões de distribuição variáveis e, em alguns casos, instáveis, especialmente em distâncias mais longas. Enquanto isso, o Senninger I-Wob UP3 18 parece manter uma distribuição mais estável ao longo das diferentes distâncias.

Observa-se consistência no alcance máximo entre os emissores de um mesmo perfil, mantendo uma diferença de 3 metros entre si nos três perfis analisados. A variação de alcance entre perfis não é significativa, permanecendo entre 6 e 9 metros, indicando relativa estabilidade na distribuição da água em distâncias maiores. Por outro lado, a variação máxima de lâmina mostra disparidades significativas na quantidade de água distribuída pelos emissores de um mesmo perfil. Emissores com menor variação de lâmina tendem a ter um alcance maior, sugerindo uma correlação entre uniformidade da aplicação e alcance máximo (SANTOS NETO, 2022).

Essas discrepâncias de comportamento dos perfis podem ser explicadas pelas pressões de operação dos emissores. No perfil 1, os emissores operam em faixas de pressão mais baixas, entre 40 e 135 kPa para o Orbitor 20 e entre 40 e 10 kPa para o I-Wob UP3 10 (NELSON IRRIGATION, 2023; SENNINGER, 2023). O comportamento dos dados, especialmente do I-Wob UP3 10, sugere uma tendência de manter uma distribuição relativamente estável, possivelmente devido à sua operação em baixas pressões, o que é vantajoso para a uniformidade da aplicação em diferentes distâncias (ANDRADE et al., 2021; SANTOS NETO, 2022).

Já nos perfis 2 e 3, os emissores mantêm faixas de pressão variáveis. No perfil 2, o Orbitor 29 opera entre 40 e 135 kPa, enquanto o I-Wob UP3 14 mantém pressões entre 40 e 10 kPa. No perfil 3, o Orbitor 37 opera em uma faixa de pressão entre 40 e 135 kPa, e o I-Wob UP3 18 entre 40 e 10 kPa. Apesar das variações na pressão, os emissores ainda apresentam

alguma instabilidade na distribuição, mas com uma capacidade relativa de adaptação a diferentes pressões, refletida nas flutuações dos dados (ANDRADE et al., 2021; SANTOS NETO, 2022).

A variação no comportamento dos perfis também pode ser associada à distribuição dos coletores e à concentração dos bocais. Emissores com bocais de menor concentração, como os do perfil 1, dispersam a água de forma mais ampla, resultando em uma distribuição mais uniforme ao longo das distâncias. Isso sugere que a menor concentração dos jatos espalha a água de maneira mais homogênea. No perfil 2, com emissores que mantêm variação na concentração dos bocais, isso pode levar a uma distribuição menos uniforme em comparação com os de menor concentração. No perfil 3, emissores com bocais de maior concentração podem estar gerando uma distribuição menos uniforme devido à concentração mais focalizada dos jatos, resultando em variações mais acentuadas na distribuição de água, especialmente em distâncias mais longas (MELO et al., 2022; SANTOS NETO, 2022).

5 CONCLUSÃO

Considerando a relevância dos emissores na irrigação por pivô central, este estudo analisou a vazão e o perfil de distribuição de água de três emissores distintos, de diferentes marcas e com diferentes bocais, com o intuito de compreender suas performances individuais.

As vazões reais encontradas nos emissores de irrigação foram menores do que as indicadas nos catálogos, e essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores, como variação na pressão, entupimento dos emissores, design interno e condições da água.

Já os três perfis de emissores demonstraram um comportamento similar ao apresentar uma redução na lâmina corrigida conforme a distância aumenta, evidenciando uma limitação geral na distribuição uniforme em longos alcances para todos os emissores testados. No entanto, há particularidades que emergem ao examinar o desempenho de cada perfil.

No primeiro perfil, os emissores exibiram quedas pronunciadas e oscilações notáveis na lâmina corrigida, indicando certa instabilidade na distribuição. Em contraste, os emissores do segundo perfil mostraram uma adaptabilidade variável em diferentes distâncias. Já os do terceiro perfil apresentaram comportamentos extremos, com quedas abruptas ou flutuações expressivas.

A operação em faixas de pressão mais baixas, como nos emissores do I-Wob UP3 10, 14 e 18, revelou uma relativa estabilidade na distribuição, apesar de flutuações em pontos específicos. Isso sugere uma vantagem em termos de uniformidade em comparação com os emissores operando em faixas de pressão mais amplas. Por outro lado, os emissores com faixas de pressão mais amplas mostraram variações mais acentuadas na distribuição, indicando uma maior sensibilidade às mudanças de pressão ao longo das distâncias.

A variação nos comportamentos dos perfis também está associada à distribuição dos coletores e à concentração dos bocais. Emissores com bocais de menor concentração, como os do perfil 1, dispersam a água de maneira mais ampla, resultando em uma distribuição mais uniforme ao longo das distâncias. Já no perfil 2 e 3, os emissores com variação ou maior concentração dos bocais geraram uma distribuição menos uniforme, levando a variações mais expressivas na distribuição de água, especialmente em distâncias mais longas.

Assim, é evidente a importância de considerar não apenas as características individuais dos emissores, como a faixa de pressão e os tipos de bocais, mas também a interação entre esses fatores para garantir uma distribuição de água mais consistente e uniforme em sistemas de irrigação por pivô central.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. p. 130.
- ANA. Agência Nacional de Águas Saneamento Básico. **Dados Abertos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Governo Federal, Brasília, DF, nov. 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/78603a9cf4514c8c84ebf620ec5cbf84_0/about>. Acesso em: 09 de nov. 2023.
- ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Ministério da Agricultura e Abastecimento, Circular Técnica 86, Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, dez. 2006. p. 17.
- ANDRADE, L. A. et al. Efeito da variação de vazão permitida e da perda de carga localizada no comprimento máxima de fita gotejadora não compensada. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 2, p. 1-12, 2021.
- BARROS, N. et al. Causas e soluções para desobstrução de emissores no método de irrigação localizada. **Enciclopedia Biosfera**, v. 17, n. 32, p. 201, 2020.
- CARVALHO, D F. et al. Evolução e cenário atual da área irrigada no Brasil: Análise sistemática dos dados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 24, n. 8, ago. 2020.
- CHRISTIANSEN, J. E. et al. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942.
- DOURADO NETO, D. et al. Potencial da adoção da agricultura irrigada no Brasil. cap. 7, p. 99-118. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.) **Agricultura irrigada no Brasil: Políticas Públicas**. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022. p. 209.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of food security and nutrition in the world – Aquastat**, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Information system on water and agriculture – Aquastat**, 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.
- FARIA, L. C. et al. Influence of the wind on water application uniformity of a mechanical lateral move irrigation equipment using rotating plate sprinklers. **Ciência Rural**, v. 46, p. 83-88, 2015.
- FRIZZONE, J. A. et al. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central**. Maringá: Eduem, 2018. 355 p.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 119-127, 1998.

GU, Z. et al. Irrigation scheduling approaches and applications: A review. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 146, n. 6, p. 04020007, 2020.

GOMES, H. P. **Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. 281 p.

HANSON, B. R; WALLENDER, W. W. Bidirectional uniformity of water applied by continuous-move sprinkler machines. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 4, p. 1047-1053, 1986.

MAULE, R. F. et al. Análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas. cap. 8, p. 119-144. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.) **Agricultura irrigada no Brasil: Políticas Públicas**. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022. p. 209.

MELO, L. L. et al. Método para projetar linhas laterais de irrigação por gotejamento pareadas em terrenos com inclinação uniforme. In: **V INOVAGRI International Meeting**, p. 11, 2020.

MIDR. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Em parceria com a ANA, MIDR lança mapeamento sobre agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Meio Ambiente e Clima, Governo Federal, Brasília, DF, nov. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/em-parceria-com-a-ana-midr-lanca-mapeamento-sobre-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **World population set to grow another 2.2 billion by 2050: UN survey**. 2018. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2018/10/1023371>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.

RODRIGUES, T. R. I et al. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 187-191, 2001.

SANTOS, B. P. et al. Agricultura e Irrigação no Brasil no cenário das Mudanças Climáticas. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 1, n. 2, 2022.

SANTOS NETO, E. A. **Perfil de distribuição de água do emissor R55i**. 2022. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2022.

SILVA, C. O. F.; PUTTI, F. F.; MANZIONE, R. L. Panorama da evolução da agricultura irrigada no sudeste do Brasil entre 2006 e 2017. **Irriga**, v. 1, n. 3, p. 446-457, 2021.

SILVA, R. M. et al. Coeficiente de descarga em emissores de pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 419-429, 2015.

SILVA, S.; NEVES, E. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopedia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Jandaia, GO, v. 17, n. 34, p. 271, 2020.

VALLEJO-GÓMEZ, D.; OSORIO, M.; HINCAPIÉ, C. A. Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 342, 2023.

WALLER, P.; YITAYEW, M. **Irrigation and drainage engineering**. Arizona, USA: Springer International Publishing Switzerland, 2015. 742 p.