



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Campus Regional Montes Claros



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL**

PEDRO HENRIQUE DE FARIA PIRES



Pedro Henrique de Faria Pires

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gonçalves Oliveira

Montes Claros, MG

2022

Pedro Henrique de Faria Pires. **AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO
EM PIVÔ CENTRAL**

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Flávio Pimenta Figueiredo – ICA/UFMG

Prof^a. Dr^a. Júlia Ferreira da Silva – ICA/UFMG



Prof. Dr. Flávio Gonçalves Oliveira – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 21 de dezembro de 2022

Dedico a Deus, aos meus pais, familiares, professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção, por ser meu combustível durante toda essa caminhada e por sempre me conduzir em todos os momentos.

Aos meus pais, Pedro Pires e Maria Aparecida, por serem a minha referência de ser humano, meus exemplos. Por me proporcionarem estrutura, pelo incentivo e pelo apoio. Vocês foram ímpares na realização deste sonho.

Ao meu irmão Otávio, por sempre ser o meu melhor amigo.

Às minhas avós Maria Benta e Maria Barnabé (In memoriam).

Aos meus familiares.

À minha namorada Kamila, pelo companheirismo, pela constância na dedicação, incentivo, apoio e carinho.

Aos meus sogros.

Ao professor Flávio Gonçalves, por ter sido como um pai durante esse ciclo em Montes Claros, pelo conhecimento compartilhado durante todo esse tempo. Por todas as experiências proporcionadas na área da Engenharia Agrícola, pelos conselhos e incentivos durante a graduação e pelas indicações e oportunidades profissionais. Pela amizade, que permanece desde o primeiro período de curso. E por acreditar em mim.

À Professora Júlia Ferreira, por ter sido uma segunda mãe durante a graduação. Pelos incentivos, pelo carinho e pelas broncas, que foram essenciais durante meu processo de amadurecimento e crescimento profissional. Pela amizade e pela dedicação!

Aos meus irmãos de república, e aos amigos de curso e de faculdade.

A todos os professores, técnicos e funcionários do ICA.

Ao grupo de estudos GEMISA-ICA.

Ao Instituto de Ciências Agrárias- UFMG, pela oportunidade, pela excelência no ensino e pelo suporte necessário para formação de um bom profissional.

À FUMP, e em especial a todos os funcionários do Restaurante Universitário do ICA.

À Meg, Teka e Lulu.

Obrigado!

RESUMO

Apesar de atrair expressivos aumentos de rendimento de grãos, maior uso do solo e mais safras colhidas em intervalos curtos, o uso da água para irrigação deve ser realizado de maneira sustentável tanto para o ambiente quanto para o produtor rural. Dessa forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição e uniformidade da lâmina de irrigação de pivô central em cultura de pastagem. O pivô central em estudo é utilizado na irrigação de pastagem, com foco na pecuária de corte. Foram usados os coeficientes de uniformidade e de distribuição da lâmina aplicada pelo pivô central. Os coeficientes de distribuição e uniformidade foram classificados como bons e o coeficiente estatístico como razoável. De modo geral é esperado que os coeficientes estejam com valores altos para indicar uma distribuição de água eficiente pelo equipamento. Os baixos valores podem estar relacionados à data de fabricação e limpeza do equipamento.

Palavras-chave: Distribuição de água. Pivô central. Lâmina de irrigação.

ABSTRACT

Despite attracting significant increases in grain yield, greater land use and more crops harvested in short intervals, the use of water for irrigation must be carried out in a sustainable way for both the environment and the rural producer. Thus, the objective of this work was to evaluate the distribution and uniformity of the center pivot irrigation depth in pasture culture. The central pivot under study is used in pasture irrigation, with a focus on beef cattle. The coefficients of uniformity and distribution of the blade applied by the central pivot were used. The distribution and uniformity coefficients were classified as good and the statistical coefficient as fair. In general, it is expected that the coefficients have high values to indicate an efficient distribution of water by the equipment. Low values may be related to the date of manufacture and cleaning of the equipment.

Keywords: Water distribution. Center pivot. Irrigation blade.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1	IRRIGAÇÃO NO MUNDO	2
2.2	MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	4
2.3	IRRIGAÇÃO NO BRASIL	5
2.4	AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
3.2	AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO	10
3.3	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE	12
3.4	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5	CONCLUSÃO	14
6	RECOMENDAÇÕES	14
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é utilizada desde as antigas civilizações e auxiliou no desenvolvimento e estabelecimento destas civilizações (ANA, 2021; ANGELAKIS *et al.*, 2020) e representa 70% do consumo hídrico total no mundo (ANA, 2021). Estima-se que mais de 60% da produção mundial de cereais e 50% do valor de todas as culturas colhidas provêm da agricultura irrigada, destacando o potencial desta prática em todo o mundo.

O Brasil ocupa a sexta posição no ranking de países que utilizam irrigação para a produção de alimentos e criação de animais e 5,3 milhões de hectares que utilizam de água de mananciais para irrigação (ANA, 2021). Apesar de ser uma prática que atraia expressivos aumentos de rendimento de grãos, maior uso do solo e mais safras colhidas no intervalo de um ano, o uso da água para irrigação deve ser realizado de maneira sustentável tanto para o ambiente quanto para o produtor rural.

Para realizar a irrigação de determinada cultura, alguns fatores devem ser considerados, como o método de sistema de irrigação a ser utilizado, que pode ser por superfície, subterrânea, por aspersão e localizada. A escolha do sistema de irrigação adequado irá depender da área, cultura, condições meteorológicas e nível tecnológico do produtor, já que a instalação de um sistema de irrigação possui custo representativo. O sistema escolhido pode ser do tipo pivô central, microaspersão, gotejamento, aspersão ou por superfície. Outro fator a ser examinado no momento da escolha, são os sistemas de baixa e alta pressão de aplicação de água, o escoamento superficial e a qualidade da água utilizada.

Após a escolha do método de irrigação ideal, é indicado que se realize alguns testes de eficiência e de uniformidade de aplicação da água pelo sistema instalado. Os testes das avaliações dos sistemas podem ser escolhidos com base em uma ou mais equações de avaliação. Como, por exemplo, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (BERNARDO *et al.*, 2019). Esses coeficientes são muito utilizados para a avaliação da uniformidade de distribuição de água (RODRIGUES *et al.*, 2001; NASCIMENTO, FEITOSA, SOARES, 2017); e são muito importantes para tomada de decisão do melhor manejo e uso desta água.

Desta forma, a determinação de uma boa distribuição de água é de grande importância para uma produção agrícola de forma racional, e deve ser realizada de maneira periódica, para verificar a eficiência dos equipamentos de irrigação. Isso porque, quando mal manejados, podem ocasionar maior custo operacional e aumento no custo energético de água e,

consequentemente, perdas no rendimento e produtividade. Dessa forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição e a uniformidade da lâmina de irrigação de pivô central em cultura de pastagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IRRIGAÇÃO NO MUNDO

As primeiras civilizações que começaram a atividade de irrigação foram de regiões mais secas como Egito e Mesopotâmia. Dessa forma, regiões com escassez ou com irregularidades de chuvas são locais onde a irrigação se faz necessária para o cultivo de plantas e práticas agrícolas. A prática de irrigação na época era rudimentar e realizada através de represas de água sitiadas por diques ou sulcos (ANA, 2021).

Os principais cultivos agrícolas das antigas civilizações foram em torno de rios, como o rio Nilo, localizado no Egito em torno de 6.000 a.c., rio Tigre e Eufrates na Mesopotâmia (Turquia e Irã); rio Amarelo na China; rios Indus e Ganges na Índia; pelos rios que cercavam o vale sagrado dos Incas localizado no Peru; e pelos rios que rodeavam o México na civilização Maia (MELLO e SILVA, 2009). A possibilidade de irrigação das plantas nessa época foi de grande importância para estabelecer as populações e garantir o seu desenvolvimento econômico (ANGELAKIS *et al.*, 2020).

No Brasil a prática de irrigação iniciou nos anos 1900 para o cultivo de arroz no estado do Rio Grande do Sul, com crescimento expressivo nas décadas de 70 e 80 (ANA, 2021).

A prática de irrigação possui o objetivo de prover água para as plantas de maneira uniforme e eficiente, para não prejudicar o crescimento e produção da planta, com o auxílio de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência e a falta de água (ANA, 2021; BERNARDO *et al.*, 2013). Essa prática de irrigação está presente não só nos cultivos dos alimentos, na criação de animais, mas também no nosso cotidiano, quando se realiza a irrigação de campos de futebol ou irrigação de jardins (ANA, 2021).

Estima-se que mais de 60% da produção mundial de cereais e 50% do valor de todas as culturas colhidas provêm da agricultura irrigada. O solo irrigado produz, em média, de duas a duas vezes e meia, quando comparado ao solo que não recebe irrigação, e três vezes o valor da cultura por hectare, em relação às terras agrícolas não irrigadas. A área irrigada totaliza apenas um sexto da área total de produção do mundo, incluindo terras agrícolas e pastagens (XIE *et*

al., 2014; HOWELL *et al.*, 2003). No entanto, o sucesso dos projetos de irrigação tem sido muitas vezes alcançado por meio de forte envolvimento e apoio governamental (tanto em termos de engenharia quanto assistência financeira), e tem sido alimentado por padrões econômicos e de mercado (ANGELAKIS *et al.*, 2020).

A Agência Nacional de Águas e Abastecimento Básico (ANA, 2019) e a Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA, 2019) elencaram alguns potenciais da irrigação no ano de 2019, como o aumento da produtividade de 2 a 3 vezes em relação à agricultura sem irrigação, redução do custo unitário de produção, até três safras ao ano, a utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-obra, a aplicação de insumos químicos e fertilizantes por meio do mesmo equipamento da irrigação a chamada fertirrigação (quimigação), o aumento na oferta e na regularidade de alimentos e outros produtos agrícolas, maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas, abertura de novos mercados no exterior, elevação da renda do produtor rural, modernização dos sistemas de produção e estímulo a introdução de novas tecnologias.

Além de atender às crescentes necessidades de alimentos e biocombustíveis, o principal desafio enfrentado pelos planejadores de irrigação não é apenas a alta produtividade agrícola, mas também a sustentabilidade econômica e ambiental das áreas irrigadas. Os perigos potenciais intrínsecos e o desenvolvimento de irrigação precisam ser cuidadosamente avaliados na fase de planejamento e minimizados durante a fase de operação, para garantir a estabilidade e permanência dos projetos de irrigação (ANGELAKIS *et al.*, 2020).

A principal vantagem da prática do manejo da irrigação realizado adequadamente é a relação do rendimento agrônômico e à lucratividade. Quando o uso do manejo da irrigação é inadequado, resulta em prejuízos tanto no uso da água em excesso quanto insuficiente para determinada cultura, além do prejuízo financeiro (ANA, 2021; CUNHA, 2019). Por isso é importante destacar que a irrigação é uma ferramenta onerosa quando mal dimensionada e manejada, e que pode dessa forma diminuir a rentabilidade da empresa (ALVES JÚNIOR *et al.*, 2015).

A irrigação desempenha ainda importante papel no desenvolvimento econômico de muitos países que vai além da produção de alimentos. Em várias áreas do mundo, tornou a assentamento e estabelecimento de comunidades ativas, ao mesmo tempo em que transforma terras com pouco ou nenhum valor econômico em sistemas agrícolas altamente produtivos, e orientados para o mercado (ANGELAKIS *et al.*, 2020).

Para os próximos anos Angelakis *et al.* (2020) esperam que as tarifas de água fiquem mais altas, e esquemas de preços diferenciados e mercados de água provavelmente serão implementados para incentivar o uso mais eficiente da água na agricultura.

2.2 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

A irrigação pode ser realizada de acordo com alguns métodos de aplicação da água, sendo os principais: a irrigação por superfície, subterrânea, por aspersão e localizada (FIGURA 1).

Figura 1. Representação dos principais sistemas de irrigação no mundo, pivô central, carretel, aspersão convencional, gotejamento, microaspersão, inundação e sulcos.



Fonte: ANA, 2021.

Na irrigação por superfície a água é disposta na superfície do solo e seu nível é controlado para aproveitamento das plantas. No método subterrâneo (ou subsuperficial), a água é aplicada abaixo da superfície do solo, formando ou controlando o lençol freático, na região em que pode ser aproveitada pelas raízes das plantas. Já na irrigação por aspersão, a água é aplicada sob pressão acima do solo, por meio de aspersores ou orifícios, na forma de uma chuva artificial (ANA, 2021).

O método da irrigação localizada (ou microirrigação) consiste na aplicação em uma área bastante limitada, com pequenos volumes de água, sob baixa pressão e alta frequência. Existem diferentes sistemas para cada um desses métodos, como o sistema por inundação na irrigação superficial; o sistema de pivô central na irrigação por aspersão e o sistema de gotejamento que

ocorre nos métodos subterrâneos e no localizado (ANA, 2021). A irrigação via pivô central é de grande importância para o desenvolvimento do setor agrícola e se destaca como um dos principais métodos de aplicação de água no Brasil (ANA, 2016).

É difícil definir o melhor método de sistema de irrigação. A irrigação superficial, por exemplo, exige menos investimento e não requer muita tecnologia. Mas um terreno com alta taxa de infiltração e maior declividade inviabiliza o emprego desse método. E o sistema via aspersão, por sua vez, não será indicado para regiões com incidência de ventos fortes (ANA, 2021).

Os métodos localizados não são indicados para culturas de ciclo rápido e de alto rendimento agrônomico como o milho, feijão, arroz e soja. Isso porque essas culturas requerem boa qualidade da água e possuem alto custo de implantação e manutenção. Isso indica que a escolha do melhor método e do sistema de irrigação para determinado local passam por um critério de condições socioeconômicas e ambientais, além da disponibilidade e da qualidade da água. Após a seleção de método e do sistema, a eficiência qualiquantitativa do uso da água passa a ser função do manejo adequado das culturas, dos equipamentos e dos recursos ambientais.

Os déficits hídricos afetam diretamente a agricultura irrigada, dada a sua alta vulnerabilidade às secas. Assim, métodos de irrigação eficientes que focam em regiões áridas e semiáridas podem aumentar a resiliência às secas (OLIVEIRA e TALAMINI, 2010). Tais medidas exigem uma gestão eficiente dos recursos e a adoção de uma base de conhecimento robusta e confiável no que diz respeito ao planejamento e à tomada de decisões sobre a alocação eficiente de água (XAVIER *et al.*, 2020).

2.3 IRRIGAÇÃO NO BRASIL

O Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares cada, seguidos dos EUA com 26,7 milhões de hectares e do Paquistão com 20 milhões de hectares. O Brasil ocupa a sexta posição com 8,2 milhões de hectares (FAO, 2020).

No Brasil as regiões semiáridas e áridas passam por períodos longos de escassez de chuva, logo a irrigação é de grande importância. E toda água necessária para a produção de alimentos deriva dessa prática, que é chamada de irrigação total (LICKS, 2020). Também serve para regiões onde a escassez da água ocorre em alguns períodos do ano, como na região Sudeste

e na região Centro-Oeste, quando a irrigação é realizada em apenas um período do ano, esta é denominada como complementar (ANA, 2021).

O semiárido brasileiro abrange aproximadamente um milhão de km² (SILVA *et al.*, 1994), e 1.171.159 ha de essas áreas foram irrigadas (ANA, 2017) para amenizar os impactos da escassez de água (BURNEY *et al.*, 2013). Embora os resultados da irrigação sejam distintos (GONÇALVES *et al.*, 2015), a prática é importante para o desenvolvimento rural nesta região com restrição hídrica, onde a precipitação anual é inferior a 500 mm, com padrões irregulares de distribuição das chuvas. A chuva cai em episódios de alta intensidade e a área tem luz intensa e alta evaporação ao longo do ano (INMET, 2009).

2.4 AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE

Para que se tome a melhor decisão quanto ao sistema de irrigação é sugerido a realização de avaliações a partir de aspectos técnicos e econômicos. Os aspectos técnicos relacionam-se a determinação da uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água. Esses fatores irão impactar na demanda da aplicação da lâmina de irrigação, o que pode prejudicar o planejamento e o manejo da irrigação e diminuir a produtividade (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

A uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação possui impactos diretos sobre o consumo de água e energia elétrica, sendo então necessário investir em melhoria do sistema, em manutenção e mão de obra para o manejo racional da irrigação (CUNHA, 2019).

A uniformidade de distribuição de água pode ainda ser afetada por fatores meteorológicos, como a velocidade do vento, temperatura e umidade do ar (EVANGELISTA, OLIVEIRA, SILVA, 2010) e ainda por fatores relacionados ao equipamento, dentre os quais o tipo de aspersor. Os aspersores possuem diferenças de uniformidade de aplicação de água, o que interfere na produtividade final, eficiência do uso do nitrogênio e eficiência do uso da água (JIAO *et al.*, 2017; CAI; YAN; LI, 2020).

Lima e Lima (2019) destacaram a importância de avaliar o funcionamento dos equipamentos de irrigação, a distribuição e eficiência de aplicação de água. Isso porque esses fatores são de grande importância para identificar problemas, que servem de base para a realização de ajustes, que podem contribuir para um melhor manejo da água e rendimento da cultura.

Alguns dos aspersores mais utilizados são o Super Spray e o I-Wob, ambos fabricados pela empresa Senninger. O Super Spray opera com baixa pressão de 20 PSI e possui um padrão

de pulverização de 360°. Pode ser utilizado em três configurações, realizando a substituição, por defletoras diferentes, as quais podem ser do tipo plana, côncava ou convexa e com superfície do tipo lisa, com ranhuras médias ou com ranhuras grossas, o que modifica o padrão de distribuição e o tamanho das gotas. O I-Wob é um tipo de aspersor que opera com baixa (15 PSI) e ultra-baixa pressão (6-10 PSI). Possui mecanismo oscilante Wobbler e um disco defletor ranhurado, com modelos que proporcionam tamanhos de gotas diferentes (BORTOLUZZI e MATTIONI, 2021).

Há uma correlação positiva entre o aumento da uniformidade de distribuição de água e o rendimento de grãos de feijão por hectare, o que reforça que a uniformidade de distribuição de água não só gera economia, como também contribui para o acréscimo na produção de feijão (MENDONZA e FRIZZONE, 2012).

A uniformidade de distribuição de água na superfície pode ser avaliada através de coeficientes de uniformidade. As avaliações de uniformidade e distribuição de água em sistemas de irrigação podem ser feitas de diversas formas, escolhendo uma ou mais equações de avaliação. Como, por exemplo, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (BERNARDO *et al.*, 2019). Esses coeficientes são muito utilizados para a avaliação da uniformidade de distribuição de água (RODRIGUES *et al.*, 2001; NASCIMENTO, FEITOSA, SOARES, 2017). Contudo a distribuição de água no interior do perfil do solo é mais uniforme do que na superfície, o que minimiza parcialmente os problemas ocasionados pela inadequada distribuição de água (BORTOLUZZI e MATTIONI, 2021).

A primeira metodologia para avaliação de uniformidade de aplicação de água foi proposta por Christiansen (1942), que adotou o desvio médio absoluto como medida de dispersão, sendo referido como CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen). Wilcox e Swailes (1947) propuseram o CUE (Coeficiente Estatístico de Uniformidade), que admitia o desvio-padrão como medida de dispersão, com valores acima de 75%. Criddle et al. (1956) introduziu um coeficiente conhecido como CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição) que levava em consideração a média do menor quartil e a lâmina média coletada. Hart (1961) também propôs um coeficiente usando o desvio-padrão como medida de dispersão o CUH (Coeficiente de Uniformidade de Hart), no entanto, tem-se que o CUH é igual ao CUC quando a distribuição de água é considerada normal. Tem-se ainda o HSPA ou UDH (Eficiência Padrão da HSPA ou UDH), que se propõe a representar a uniformidade de distribuição de água,

sabendo-se que quando a lâmina aplicada e sua distribuição se apresentam normais, o UDH apresenta valores iguais ao CUD (HART, 1961).

Nesse sentido, Bortoluzzi e Mattioni (2021) estudaram a distribuição de dois pivôs centrais no cultivo de milho e observaram uniformidade de distribuição da água muito boa (CUC) e boa (CUD) quando utilizaram o aspersor do tipo I-Wob. Os autores ressaltaram que esse resultado foi possível devido ao tamanho da gota da água que diminui a influência por deriva, em situações de influência de vento, apesar da lâmina de água aplicada ter sido inferior nos primeiros lances do pivô e maior na extremidade.

São várias as normas e sugestões para se definir a uniformidade de distribuição da lâmina irrigada. As mais usuais são as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e da ASAE. A norma indica a metodologia para a coleta dos dados e para o cálculo dos coeficientes CUC e CUD.

Prado, Barreto e Colombo (2019) observaram que pivô central com aspersor do tipo canhão no final possui uma distribuição de água uniforme da água no ângulo de 110° e com um raio de alcance efetivo entre 70 a 90% do raio de alcance do aspersor de canhão, com uniformidade de distribuição de água superior a 80%. A avaliação da distribuição e otimização do uso e aproveitamento da água deve ser realizada de maneira periódica para evitar desgastes dos equipamentos, melhorar o manejo e para verificar o funcionamento dos equipamentos, conforme é reforçado por autores como o Coelho *et al.* (2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em uma propriedade localizada na zona rural de Montes Claros, MG, localizada próxima a região da Estrada da Produção, cerca de 37 km da cidade. A fazenda encontra-se na bacia hidrográfica do Rio Verde Grande, local de clima do tipo tropical, classificado por Köppen e Geiger como Aw. A temperatura média é de 23,1 °C, com pluviosidade média anual de 869 mm (MARTINS, 2018).

O pivô central em estudo é utilizado na irrigação de pastagem, com foco na pecuária de corte. Ele está instalado na fazenda, situado a altitude de 580 m. As informações técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações técnicas do pivô instalado na Fazenda em estudo

Fabricante	LINDSAY
Modelo	9500 P ZIMMATIC
Painel de Comando Geral	BASIC
Área Irrigada (A)	23,22 ha
Raio Irrigado (Ri)	271,86 m
Número de H. de Funcionamento	6300,00 h
Tempo de Volta a 100%	6,23 m/h
Tempo Máximo de Operação Diário	14,50 h
Velocidade da U. Torre a 100% (V100%)	247,00m/h
Comprimento Total (L)	245,04m

Fonte: Fabricante do equipamento.

A ficha técnica do pivô central, com os dados de projeto e informações importantes de dimensionamento foram obtidas na empresa SISTEMIG Irrigação e Máquinas, localizada em Montes Claros-MG, responsável pela venda e montagem do equipamento.

Da ficha técnica fornecida pela empresa foram extraídas as principais informações do sistema de irrigação, esses dados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados técnicos do sistema de Irrigação

Lâmina Bruta (LB)	5,00 mm/dia
Lâmina Bruta Volta a 100% (LB100%)	2,15 mm
Vazão do Sistema (Qs)	80,07 m ³ /h
Pressão no Ponto Pivô	24,74 mca
Desnível (DN)	4,00 m

Fonte: Adaptado de SISTEMIG pelo autor, 2022.

O painel de controle montado na torre do pivô central, foi utilizado de base para o monitoramento da pressão no início do teste (Figura 2).

Figura 2 – Painel de controle do pivô central em estudo

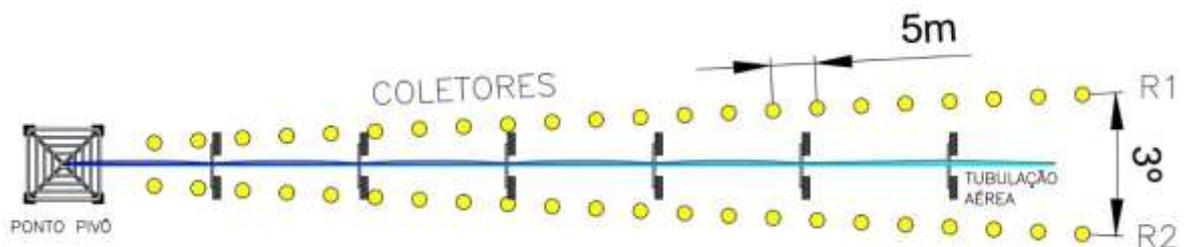


Fonte: O autor, 2022.

3.2 AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

Para a avaliação adotou-se a metodologia proposta pela NBR 14244 (ABNT,1998) para determinar os coeficientes de uniformidade e de distribuição da lâmina aplicada pelo equipamento em estudo. Inicialmente foram alocadas duas linhas radiais (R1 e R2) compostas pelos coletores de precipitação (pluviômetros). Considerando o comprimento total do pivô central, o espaçamento adotado entre os coletores foi de cinco metros. As radiais partem do centro do pivô central e vão até sua extremidade formando um ângulo de 3° graus entre si (FIGURA 3).

Figura 3 – Croqui da disposição dos coletores de precipitação



Fonte: O autor, 2022.

As radiais R1 e R2 foram alocadas propositalmente no ponto mais elevado da área irrigada, deste local foi avaliado o ponto geométrico mais crítico do pivô. Os coletores foram colocados no solo, ficando no nível da pastagem. Na Figura 4 pode ser observado a distribuição dos coletores e execução da coleta em campo.

Figura 4 – Alinhamento e nivelamento dos coletores R1 e R2 (A). Início da coleta da precipitação (B).



Fonte: O autor, 2022

O teste teve início às 15:00 horas, a velocidade do vento durante o teste foi nula. A aplicação se dispôs de uma duração de aproximadamente 35 minutos, e o relé percentual de velocidade de deslocamento do pivô foi alocado em 100%. Para corrigir as possíveis interferências causadas pela evapotranspiração durante o teste, foram instalados dois coletores separadamente, fora da área irrigada, preenchidos com um volume conhecido de água e, no fim do teste, esse volume foi mensurado.

No decorrer do teste coletou-se a pressão no ponto do pivô e a pressão no final do equipamento, logo em seguida foi feita uma inspeção visual de possíveis vazamentos nas tubulações aéreas e possíveis entupimentos nos emissores. As pressões coletadas ficaram próximas às pressões de projeto, ou seja, dentro do esperado.

3.3 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE

O coeficiente de uniformidade (CUC) do equipamento foi determinado utilizando a equação proposta por Christiansen (EQUAÇÃO 1).

EQUAÇÃO 01 – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_n} \right) 100$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade, %;

n = número de coletores;

L_i = lâmina coletada no ponto “i”, mm; e

L_m = lâmina média de todas as observações, mm.

3.4 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo BERNARDO et al. (2019) a caracterização do coeficiente de uniformidade de um sistema de aspersão pode ser encontrada a partir de várias metodologias diferentes, J.E. Christiansen propõem o coeficiente de uniformidade de Christiansen (EQUAÇÃO 1). O serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos propõe o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição (EQUAÇÃO 2). E Wilcox e Swailes indicam o coeficiente estático de uniformidade (EQUAÇÃO 3).

EQUAÇÃO 02 – Coeficiente de Distribuição de Uniformidade (CUD)

$$CUD = \left(\frac{l_m}{L_m} \right) 100$$

em que: CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

l_m = lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações; e

L_m = lâmina média de todas as observações, mm.

EQUAÇÃO 03 – Coeficiente Estatístico de Uniformidade (CUE)

$$CUE = 100 \left[1,0 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_m)^2}{(n - 1)L_m^2}} \right]$$

em que: CUE = coeficiente estatístico de uniformidade, %;

L_m = lâmina média de todas as observações, mm;

L_i = lâmina coletada no ponto “i”, mm; e

n = número de pluviômetros.

A partir dos dados coletados e cálculo de CUC, CUD e CUE foi gerado o gráfico de distribuição para de terminar a lâmina média e o comportamento da lâmina ao longo do equipamento.

Os valores dos coeficientes estudados neste trabalho, respectivamente, coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) foram observados e estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) para sistemas de irrigação por aspersão convencional.

Classificação	CUD (%)	CUC (%)	CUE (%)
Excelente	> 84	> 90	> 90
Bom	68 - 84	80 - 90	80 - 90
Razoável	52 - 68	70 - 80	70 - 80

Ruim	36 - 52	60 - 70	60 - 70
Inaceitável	< 36	<60	< 60

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001) e Borssoi et al. (2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação dos valores de CUC, CUD e CUE foram realizadas com base nas metodologias de Mantovani (2001) e os padrões da ASAE EP 405.1 (2003) descritos por Borssoi et al., (2012) que estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente Estatístico de Uniformidade (CUE), e respectivas classificações de desempenho dos projetos de irrigação por aspersão em estudo.

Índices Avaliados	Índices (%)	Classificação
CUC (%)	88,14	BOM
CUD (%)	82,34	BOM
CUE (%)	75,54	RAZOÁVEL

Fonte: Do Autor, 2022.

Souza *et al.* (2017) ao avaliarem a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação por aspersão em Minas Gerais, encontraram resultados diferentes do presente estudo, pois o valor obtido em seu trabalho para o CUD foi de 6,87% classificado como inaceitável segundo a literatura analisada.

De acordo com vários autores, entre os quais estão Bernardo *et al.* (2019), para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular superficial, a irrigação por aspersão deve apresentar alta uniformidade de distribuição, pois os valores dos coeficientes de uniformidade CUD e CUC devem apresentar valores superiores a 84%. No entanto, pelos resultados obtidos verifica-se que não foram encontrados valores altos de CUD e CUC para nenhum dos três projetos avaliados, o que evidencia a necessidade de implementação de estratégias de manejo do sistema de irrigação.

Szabó *et al.* (2021) em seus estudos com irrigação por aspersão, encontraram valores de 74,14 e 75,43% para CUC e CUD, respectivamente, e concluíram que a aplicação de água não é uniforme, já que tais resultados não atingem os valores mínimos para uma irrigação homogênea. Os autores atribuíram os baixos valores de uniformidade encontrados a utilização

de equipamentos mais antigos.

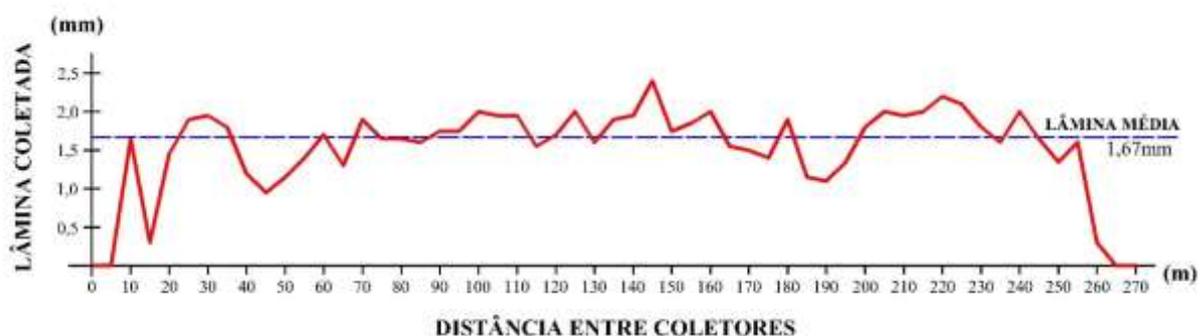
Quanto ao Coeficiente de Uniformidade e Estatístico, os valores encontrados foram classificados como inaceitável e razoável, respectivamente. Gonçalves *et al.* (2020) ao avaliarem um sistema de irrigação por aspersão convencional em uma área cultivada com Capim-Mombaça, encontraram valores classificados com ruim.

De acordo com Bernardo *et al.* (2019) pressões de serviço acima ou abaixo dos valores recomendados pelos fabricantes dos bocais podem aumentar a variação na distribuição de água do aspersor, e assim proporcionar menor sobreposição entre os perfis de distribuição de água dos aspersores ao longo da linha lateral e entre linhas laterais ao longo da linha principal.

Dentro desse contexto, nota-se a realização da limpeza periódica dos equipamentos de irrigação por parte dos agricultores que utilizam a irrigação para atender as demandas hídricas das culturas, visto que, o manejo deficiente pode acarretar desperdícios de água, energia elétrica e afetar negativamente a produtividade das hortaliças, com geração de prejuízos aos produtores rurais.

Nesse contexto, os resultados de volume de precipitação em função da distância de cada coletor foram representados no Gráfico 1, a fim de caracterizar o perfil de distribuição longitudinal do equipamento, onde, a lâmina média foi obtida a partir da média entre R1 e R2 de cada ponto observado. O que reforça os valores de CUC, CUD e CUE é discutido nos cálculos anteriores.

Gráfico 1 – Distribuição da lâmina aplicada ao longo do pivô central.



Fonte: Do Autor, 2022.

A variação de lâmina pode ser justificada por fatores que demonstram a importância da avaliação periódica do equipamento. No ponto 15m foi observado uma lâmina de 0,3mm, ou seja, um volume bastante inferior à lâmina média, que possui o valor de 1,67mm, esse evento

foi causado por entupimento parcial do bocal de descarga do emissor, ocasionando um estrangulamento no orifício de saída e por sua vez uma restrição na vazão do emissor. O entupimento foi causado por limbo na tubulação, e dessa forma, entupimentos representam prejuízos na produtividade, uma vez que a lâmina aplicada nesse ponto está em regime de elevado déficit. Outros pontos como 45m e 190m também tiveram lâminas inferiores à lâmina média, isto é, ficaram próximas a 1mm, permanecendo em faixa não tão severas como no ponto 15m.

No ponto 145m foi observado uma lâmina significativamente superior à lâmina média, ou seja 2,4mm. Esse fato pode ser explicado pela substituição do emissor de forma inadequada durante as manutenções do sistema, sem respeitar o mapa de distribuição de bocais, uma vez que a vazão ao longo do equipamento aumenta em função da distância do centro do pivô por se tratar de uma área circular. E a distribuição dos bocais dos emissores devem seguir a recomendação de projeto do equipamento.

De maneira geral o perfil longitudinal de distribuição da lâmina de irrigação a 100%(percentímetro) se manteve relativamente dentro do esperado, tendo poucos pontos com lâminas significativamente fora da faixa ideal, uma vez que pivô não possui vazamentos nas tubulações aéreas nem mesmo pontos críticos em toda sua estrutura hidráulica.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a uniformidade de distribuição de água pelo pivô central é classificada como boa. Considerando os valores de CUC, CUD como bons e o resultado do CUE como razoável. A lâmina coletada mostrou-se dentro do esperado, considerando que a água utilizada na irrigação não apresenta problemas tão significativos quanto a dureza e presença de sedimentos.

Nos pontos mais extremos observou-se uma diminuição significativa na lâmina, que ocorreu em função do acúmulo de sedimentos na extremidade da tubulação.

6 RECOMENDAÇÕES

- Realizar limpeza periódica dos emissores.
- Substituir os bocais que apresentam problemas relacionados a vazões elevadas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JÚNIOR, J.; SALES, D. L. A.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUEZ, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate, em diferentes demandas hídricas. In: Inovagri International Meeting, 3., 2015. **Anais...** Fortaleza, 2015. p. 2970-2980.

ANA -Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - 2. ed. -Brasília: ANA, 2021. 130 p.

ANGELAKIS, Andreas N. et al. Irrigation of world agricultural lands: Evolution through the millennia. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1285, 2020.

ASAE EP 405.1 (2003). In: BORSSOI, A. L., VILAS BOAS, M. A., REISDÖRFER, M., ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 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.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D. D.; SORAS, A. A. **Manual de irrigação**. 9 ed. atual. ampl. Viçosa, MG: UFV, 2019. 545p

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. 5 reimpr. – Viçosa: Ed. UFV, 2013.

BORSSOI, A. L., VILAS BOAS, M. A., REISDÖRFER, M., HERNÁNDEZ, R. H., BORTOLUZZI, Mateus Possebon; MATTIONI, Marcelo Herter. Uniformidade de distribuição de água em pivô central. **Manejo, gestão e técnicas em irrigação**. Canoas: Mérida Publishers, 2021.

BURNEY, J.A., NAYLOR, R.L., POSTEL, S.L. **The case for distributed irrigation as a development priority in sub-Saharan Africa**. PNAS 110, p. 12513–12517, 2013.

CAI, D.Y., YAN, H.J., LI L.H. Effects of water application uniformity using a center pivot on winter wheat yield, water and nitrogen use efficiency in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, p. 2326–2339, 2020.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. California: University of California, 1942.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service – USDA, 1956. 24p.

CUNHA, Gabriel Soares. Avaliação da uniformidade de distribuição em pivô central com emissores rotativos. Monografia. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2019. 37p.

EVANGELISTA, W., OLIVEIRA, C.A.S., SILVA, C.L. Variáveis climáticas e o desempenho de um pivô central, em Cristalina Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 246-252, 2010.

FOLLADOR, F. A. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Soil Organic Carbon: The Hidden Potential**; FAO: Roma, Italy, 2017; p. 90. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2022.

GONÇALVES, F.M., RIBEIRO, R.S.F., COSTA, R.N.T., BURTE, J.D. A management analysis tool for emancipated public irrigation areas using neural networks. **Water Res Managem.** v. 29, p. 2393–2406, 2015.

HART, W. E. **Overhead irrigation pattern parameters.** Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v. 42, p. 354-355, 1961.

HERNÁNDEZ, R. H., FOLLADOR, F. A. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2009. **Normas climatológicas do Brasil.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index>. Acesso em: 02 junho de 2022.

HOWELL, T. A. Irrigation Efficiency. STEWART, B. A., HOWELL, T. A., Editors. Marcel-Dekker, inc., New York, NY. **Encyclopedia of Water Science**, p. 467-472, 2003.

JIAO, J., WANG, Y., HAN, L., SU, D. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems. **Applied Sciences.** v. 7, p.1-17, 2017.

LICKS, Elis Braga. **Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e de Piracicaba.** 2020. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 125 p.

LIMA, João Filipe de Lima; LIMA, Júlia Cunha. **Uniformidade e eficiência de um sistema de irrigação por pivô central na região de Ulianópolis-PA.** 2019.

MANTOVANI, E.C. **Avalia: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada.** Viçosa, MG: UVF, 2001.

MARTINS, Fabrina Bolzan; GONZAGA, Gabriela; SANTOS, Diego Felipe dos; REBOITA, Michelle Simões. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITE PARA MINAS GERAIS: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 1, p. 129-156, 8 nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>.

MELLO, J. L. P.; BATISTA DA SILVA, L. D. **Irrigação.** Rio de Janeiro: Universidade Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Tecnologia – Departamento de Engenharia, 2009.

MENDONZA, C. J. C.; FRIZZONE, J. A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. 2012. v. 6, n.3, p. 184-197.

NASCIMENTO, V. F., FEITOSA, E. O., SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, p. 65-69, 2017.

OLIVEIRA, L.; TALAMINI, E. Water resources management in the Brazilian agricultural irrigation. **J. Ecol. Nat. Environ**, v. 2, p. 123–133, 2010.

RODRIGUES, T. R. I., BATISTA, H.S., CARVALHO, J.M., GONÇALVES, A.O., MATSURA, E.E. 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.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541–547, 1994.

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. Avaliação da Uniformidade de um Sistema de Irrigação por Gotejamento. IV INOVAGRI International Meeting. **Anais...2017**.

SZABÓ, A.; TAMÁS, J.; NAGY, A. An irrigation homogeneity assessment of a variable rate sprinkler irrigation. **Acta Horticulturae et Regiotecturae** – Special Issue Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2021, pp. 8–11.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v. 27, p. 565-583, 1947.

XAVIER, Louise Caroline Peixoto et al. Use of machine learning in evaluation of drought perception in irrigated agriculture: the case of an irrigated perimeter in Brazil. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1546, 2020.

XIE, H., YOU, L., WIELGOSZ, B., RINGLER, C. Estimating the potential for expanding smallholder irrigation in Sub-Saharan Africa. **Agric. Water Manag.** 131, 183–193, 2014.