

INFLUÊNCIA DO VENTO NA UNIFORMIDADE E EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO AUTOPROPELIDO

Alex Ariel Da Rosa Semeniuk ⁽¹⁾, Antonio Augusto Alves Pereira ⁽²⁾

(1) Acadêmico do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

(2) Professor Associado, Depto de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Admar Gonzaga, 1346, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis SC, Brasil.

* Autor correspondente – E-mail: darosaalex017@gmail.com

Resumo

A irrigação é uma técnica importante, visto que a ocorrência de déficit hídrico pode causar perdas significativas na produção agrícola. A precipitação em torno de um aspersor não é homogênea, gerando a necessidade de sobrepor áreas molhadas por aspersores vizinhos. A uniformidade da irrigação pode ser avaliada pelo Coeficiente de Christiansen, que expressa a dispersão dos valores de precipitação em relação a um valor médio. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a uniformidade da irrigação de um equipamento autopropelido Carretel Enrolador, visando determinar o melhor grau de sobreposição de faixas para a condição de vento predominante, de modo que a lâmina média de irrigação aplicada atendesse ao limite de infiltrabilidade do solo. Foram realizados dois testes para quantificar a lâmina de irrigação, mediante coleta da precipitação em 110 pluviômetros: o Teste 1 foi realizado com vento fraco a moderado e o Teste 2 com vento moderado a forte. Os resultados obtidos mostraram que uma sobreposição de 6m na faixa irrigada pelo aspersor aumentou o valor do coeficiente de uniformidade sem implicar em redução expressiva da largura da faixa irrigada, o que aumentaria o tempo de operação do equipamento e o custo da irrigação.

Palavras-chave: Carretel enrolador; Coeficiente de uniformidade de Christiansen; Sobreposição de áreas molhadas por aspersores.

Abstract

Irrigation is an important technique since the occurrence of water deficit can cause significant losses in agricultural production. Precipitation around a sprinkler is not homogeneous, creating the need to overlap areas wetted by neighboring sprinklers. Irrigation uniformity can be assessed by the Christiansen Coefficient, which expresses the dispersion of precipitation values in relation to an average value. The objective of this research was to evaluate the uniformity of irrigation of a self-propelled Winding Reel equipment, aiming to determine the best degree of overlap of bands for the prevailing wind condition, so that the average irrigation depth applied would meet the soil infiltrability limit. Two tests were carried out to quantify the irrigation depth, by collecting precipitation in 110 rain gauges: Test 1 was carried out with weak to moderate wind and Test 2 with moderate to strong wind. The results obtained showed that an overlap of 6m in the strip irrigated by the sprinkler increased the value of the uniformity coefficient without implying a significant reduction in the width of the irrigated strip, which would increase the operating time of the equipment and the cost of irrigation. .

Keywords: Traveling sprinklers; Christiansen uniformity coefficient; Sprinkler overlap.

Introdução

A irrigação é um processo fundamental para a agricultura, especialmente em grandes culturas. A falta de água pode levar a perdas significativas na produção, situação que foi vivenciada nos últimos anos demonstrando a suscetibilidade da agricultura às mudanças climáticas, que variam constantemente ao longo dos anos, isso estimula os produtores a pensarem em garantias de produção. Um dessas garantias são os sistemas de irrigação. A água é o recurso limitado, sendo que 10% do total captado é utilizado no consumo humano, 20% nas indústrias e 70% é empregado em irrigação (CHRISTOFIDIS, 2006).

O Brasil é o sexto país do mundo com a maior área irrigada de lavouras, onde a irrigação é utilizada em 8,2 milhões de hectares, sendo 64,5% (5,3 milhões de hectares) com água de mananciais e 35,5% (2,9 milhões de ha) fertirrigações com água de reuso, segundo DOURADO NETO et al. (2021). A irrigação pode aumentar a produtividade em até duas a três vezes em comparação com a agricultura de sequeiro, além de permitir o uso do solo durante todo o ano, com até três safras, e aumentar a oferta e regularidade de alimentos e outros produtos agrícolas. (TESTEZLAFF, 2017).

O estudo realizado por Boff, Knies e Ismael, J. (2020) ressalta a importância e o impacto da irrigação na agricultura, especificamente na cultura da soja, constatando-se que

a produtividade média das cultivares de soja foi incrementada com a irrigação suplementar de 3516,2 kg.ha⁻¹ para 4309,3 kg.ha⁻¹ na safra e de 871,4 kg.ha⁻¹ para 2063,8 kg.ha⁻¹ na safrinha. Em porcentagem, a semeadura na safrinha impactou negativamente nos componentes de rendimento, reduzindo a produtividade média da soja irrigada em 52% e de sequeiro em 75%.

Os métodos de irrigação descritos e citados pelo Testezlaff (2017) são quatro: aspersão, irrigação superficial, irrigação subsuperficial e irrigação por sulcos. O método de aspersão é descrito pelo autor como uma emulação de maneira eficaz do padrão de chuva, ao aplicar água em forma de gotas tanto sobre as plantas, quanto sobre a superfície do solo. Esse processo envolve a extração de água de fontes como rios, lagos, açudes ou poços subterrâneos, que é então distribuída através de uma rede de tubulações antes de ser pulverizada no ar em forma de gotículas. A formação dessas gotículas é alcançada ao submeter a água a pressão, seja através de orifícios nas tubulações ou por meio de dispositivos mecânicos conhecidos como aspersores ou sprays.

O método de aspersão oferece um controle preciso sobre a quantidade de água aplicada, mas não sobre sua distribuição. Em geral, a eficiência de distribuição situa-se em torno de 70%, podendo atingir até 90% em sistemas mais avançados ou cair para cerca de 50% em condições climáticas adversas. Fatores climáticos cruciais, como o vento, a umidade relativa do ar e a temperatura, exercem influência significativa sobre a eficiência da irrigação por aspersão. O vento, por exemplo, impacta diretamente a uniformidade da distribuição dos aspersores e, em conjunto com a temperatura e a umidade relativa do ar, contribui para a perda de água por meio da evaporação (STONES, 2023).

O sistema de aspersão autopropelido foi um dos primeiros métodos mecanizados de irrigação introduzidos no Brasil. Consiste em um aspersor de médio ou grande porte (canhão hidráulico) posicionado sobre um suporte com rodas, que percorre a área alvo por meio da tração da própria mangueira que leva água ao aspersor, irrigando faixas do terreno enquanto se desloca. O tracionamento da mangueira de irrigação é realizado por um carretel enrolador posicionado no início da faixa irrigada. Após completar a irrigação de uma faixa, o equipamento é movido para a próxima, seguindo uma sequência predeterminada. Ao final desse ciclo, a totalidade da área é irrigada e a máquina está pronta para iniciar um novo ciclo de irrigação (VILELA, 1999).

A distribuição de água realizada por um aspersor não é homogênea. O jato lançado por um aspersor produz precipitação maior na sua proximidade e menor na extremidade

desse jato. Isto se deve ao fato de que o perímetro percorrido pela extremidade do jato é maior que o perímetro percorrido pela parte inicial do jato. Devido à velocidade elevada, a precipitação que chega ao solo na extremidade do jato se reduz, de modo que surge a necessidade de sobreposição dos jatos lançados por aspersores vizinhos.

Embora a uniformidade seja essencial em qualquer sistema de irrigação, é importante estar ciente de que isso pode resultar em aumento nos custos operacionais. Com frequência, a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação é quantificada utilizando coeficientes específicos que avaliam a dispersão dos valores de precipitação aplicados em relação ao valor médio. Esses coeficientes refletem a magnitude da variação na distribuição da lâmina de água sobre o solo (PAZ et al., 2002). Dentro dos fatores citados pelo autor, o vento é o maior causante de desuniformidade na irrigação.

Tarjuelo (1991) categorizou o vento em três níveis de velocidade: fraco (0 a 2,0 m/s), moderado (2,1 a 4,0 m/s) e forte (acima de 4,0 m/s). Observou ainda que a uniformidade na distribuição de água diminuiu em 20% quando a velocidade do vento aumentou de menos de 2,0 m/s para mais de 4,0 m/s. Segundo o autor, essa condição justifica a recomendação de interromper a irrigação em condições de ventos fortes. Portanto, é recomendável evitar a realização da irrigação durante os horários em que essas condições prevalecem.

A uniformidade na distribuição de água em um sistema de irrigação autopropelido por carretel enrolador é um fator de grande importância, assim como no método de irrigação por aspersão convencional. Nesse contexto, a uniformidade é influenciada pelo tipo de aspersor ou canhão hidráulico em operação, pela largura da faixa irrigada em cada passagem, pela pressão de funcionamento, pela velocidade de deslocamento do carretel e pela intensidade do vento. (BERNARDO et al., 2019).

A uniformidade na distribuição da água exerce influência tanto nos custos da irrigação quanto no desenvolvimento da espécie cultivada. Áreas irrigadas com baixa uniformidade de aplicação de água resultam em um crescimento irregular das plantas. Isso ocorre devido ao fato de que algumas plantas podem receber mais água do que outras, e em casos mais extremos, algumas podem não receber qualquer parcela da água aplicada. Esse desenvolvimento desigual da cultura pode estar associado ao excesso de umidade no solo, em alguns pontos, o que leva à lixiviação de nutrientes, à redução na disponibilidade de oxigênio para as raízes e ao aumento da incidência de pragas e doenças. Por outro lado, a escassez de água aumenta os riscos de salinização do solo e inibe o potencial produtivo da planta (SANTOS et al., 2003; PAULINO et al., 2009).

O tempo necessário para que a lâmina de irrigação desejada seja aplicada irá influenciar significativamente a eficiência do equipamento; por esta razão, a velocidade de recolhimento da mangueira que traciona o aspersor é fundamental para definir a área máxima irrigada e estabelecer o planejamento de irrigação.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade da irrigação de um equipamento autopropelido carretel enrolador, em condições de campo, visando determinar o grau de sobreposição adequado, na condição de vento predominante, para que a lâmina média de irrigação aplicada atenda ao limite de infiltrabilidade do solo, evitando assim situações de escoamento superficial e excessiva saturação do solo.

Material e Métodos

A configuração do equipamento de irrigação é importante para reproduzir as condições normais de operação no campo. Para este estudo foi adotado um ângulo de aspersão setorial de 270 graus, evitando assim que houvesse molhamento da parte da faixa molhada que ainda seria percorrida pelo aspersor. A pressão gerada pela motobomba foi ajustada para $6,2 \text{ kgf.cm}^{-2}$, de modo a que no aspersor houvesse pressão disponível de $3,0 \text{ kgf.cm}^{-2}$. A velocidade de recolhimento de mangueira foi regulada para 100 m.h^{-1} , considerada elevada, mas adequada à reduzida infiltrabilidade do solo local. O bocal escolhido para o aspersor foi de 38mm, visando a produção de gotas média, alinhando-se com as orientações do fabricante e com as recomendações fornecidas por Bernardo et al. (2019).

Usando um anemômetro, foi registrado uma velocidade média e máxima do vento e foram classificados em fracos, moderados e fortes (TARJUELO, 1991).

A atividade de pesquisa foi conduzida no campo experimental da empresa Arroz Tío Nico, localizada no município de Montiel Potrero, no departamento de Paraguari, Paraguai. Neste estudo, foi realizada uma análise do desempenho a campo do equipamento de irrigação autopropelido modelo HR G4 140. A investigação compreendeu a avaliação da uniformidade de distribuição em duas condições de vento e a simulação da sobreposição das faixas de irrigação em quatro espaçamentos.

O equipamento autopropelido é um sistema de irrigação por aspersão que se utiliza de um carretel para transportar a mangueira até a área a ser irrigada. É composto por um único aspersor do tipo canhão, montado em uma plataforma com rodas. Para a movimentação do aspersor, conta com uma mangueira de alta pressão de PEMD (Polietileno

de Média Densidade) cujo diâmetro é de 140mm e comprimento de até 540 metros. Esta mangueira possui alta resistência, o que possibilita seu tracionamento à medida em que vai sendo recolhida pelo carretel, que tem seu acionamento realizado por uma turbina hidráulica. A vazão do equipamento pode variar entre 119 e 160 m³/h, com um espaçamento entre faixas de irrigação recomendado entre 84 e 102 m. O equipamento conta com um monitor computadorizado SI 200, que permite monitorar a longitude em que foi esticada a mangueira e sua velocidade de recolhimento.

Para determinar a lâmina de água ideal a ser aplicada ao solo, foi realizado o teste da infiltrabilidade pelo método do infiltrômetro de anel, com base na metodologia descrita por Bernardo et al. (2019).

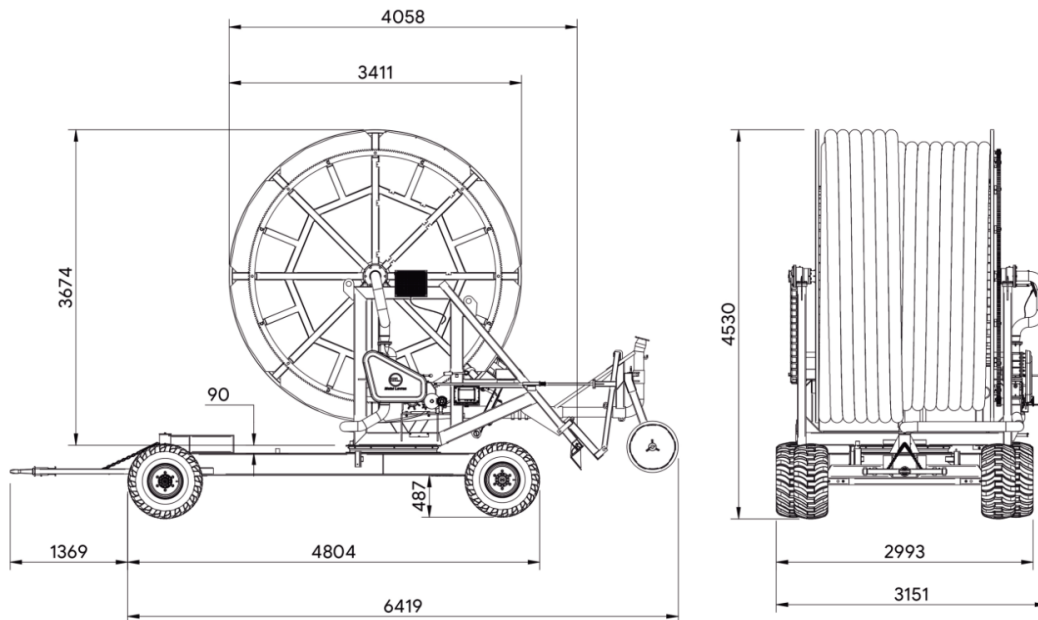


Figura 1. Estrutura do carretel HR G4 140

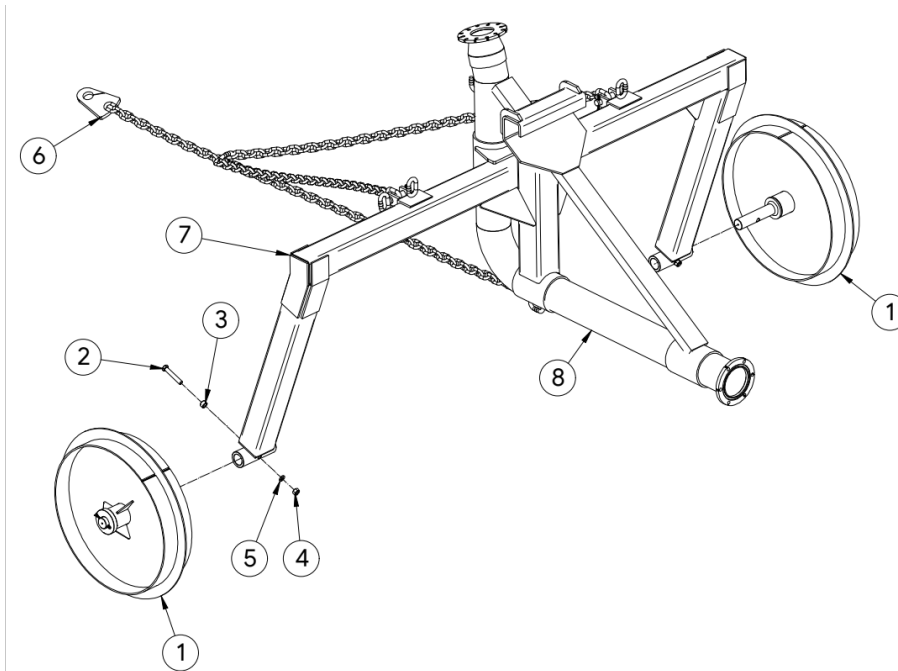


Figura 2. Estrutura do suporte do canhão autopropelido

O método escolhido para avaliar a uniformidade da irrigação foi o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC%). Este coeficiente é calculado a partir de volumes ou lâminas coletadas em coletores (pluviômetros) dispostos pelo campo, em uma malha definida para amostrar a distribuição de água realizada pelo equipamento de irrigação. O CUC pode ser calculado pela seguinte equação (Christiansen, 1992):

$$CUC = 100x \left[1,0 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right]$$

Em que:

CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem;

X_i é Lâmina d'água coletada no coletor i;

X é a Lâmina d'água média dos coletores;

$\sum |X_i - \bar{X}|$ é o módulo do somatório dos desvios absolutos dos valores de X_i em relação à média X;

n é o número de coletores dispostos no campo

Para coletar os dados do teste de irrigação, foi feita uma divisão da área em duas partes, já que no meio da área experimental foi definido um corredor para trânsito do aspersor. Cada lado da divisão ficou com 36m de comprimento e 63 metros de largura, conforme mostra a Figura 1. O corredor do carretel ficou com 6 metros de comprimento, perfazendo largura total da área estudada em 132m.

Cada um dos lados do carreador foi dividido em seis parcelas experimentais (6 repetições), subdivididas em unidades de amostragem de 6 metros de comprimento por 6 metros de largura (6m x 6m). Os coletores de precipitação foram colocados no centro de cada unidade de amostragem, totalizando 120 unidades. Os coletores foram fixados em uma altura de 50 cm acima do solo para simular uma lavoura já em estágio avançado de desenvolvimento, já que o momento crítico de utilização do equipamento é na etapa de enchimento de grãos das culturas. Isso foi conseguido colando os coletores em hastes metálicas de 60 cm, enterradas 10cm no solo.

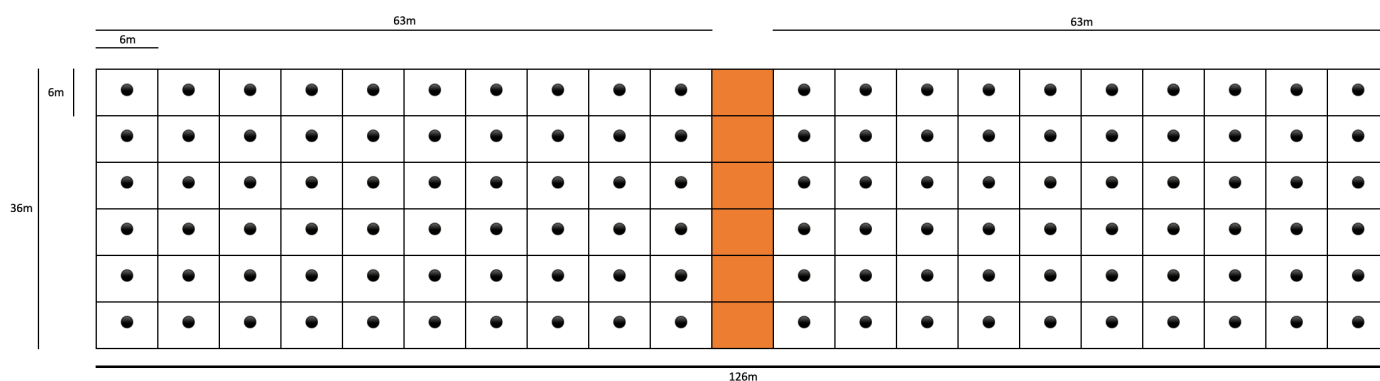


Figura 3. Delineamento experimental adotado no experimento

Foram registradas as seguintes informações: pressão de operação do aspersor, duração do teste, horário de sua realização, velocidade e direção do vento, conforme recomendações de Bernardo et al., (2019). O teste foi realizado em duas condições de vento, para avaliar sua influência no alcance do jato e na uniformidade de distribuição da lâmina de irrigação.

As simulações de sobreposição de irrigação (tratamentos experimentais) foram realizadas após a coleta das lâminas aplicadas em cada coletor e distribuição desses dados em uma grade referenciada, as colunas que o CUC for menor ou igual a 0 foram descartadas. As simulações testadas foram quatro: sobreposição de do espaçamento entre faixas; 6m; 12m; 18m e 24m para as duas condições de vento, com o objetivo de determinar qual seria o maior coeficiente de uniformidade nessas condições, com a restrição de que a lâmina média aplicada não excedesse a taxa de infiltração básica do solo local.

Resultados e Discussão

Os valores da Taxa de infiltração Básica (**TIB**) do solo foram determinados utilizando o método do infiltrômetro de anel, conforme resultados apresentados na Tabela 1. Com base nos dados coletados no campo, foi construído o gráfico ilustrando a variação da

taxa de infiltração durante o teste. Observa-se que, ao decorrer do teste, a taxa de infiltração foi mostrando redução até valor de 22,5 mm.h⁻¹.

O solo da área em questão é classificado como arenoso siltoso. Os solos arenosos são conhecidos por apresentarem elevada taxa de infiltração, atingindo rapidamente sua capacidade máxima (BERNARDO et al., 2019). Essa característica é explicada por Brady e Weil (2013), que afirmam que esses solos têm, em média, cerca de 70% de sua composição composta por fração areia, conferindo-lhes alta permeabilidade. No entanto, sua capacidade de retenção de água é reduzida, e os níveis de matéria orgânica são baixos.

Tabela 1. Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) pelo método do infiltrômetro de anel.

Tempo		Régua		Infiltração acumulada (cm)	Taxa de infiltração (mm/h)
Tempo (min)	Intervalo (min)	Leitura (cm)	Diferença (cm)		
0	0	23,5	0	0	0
1	1	23,7	0,2	0,2	120
3	2	24,0	0,3	0,5	100
5	3	24,2	0,2	0,7	84
10	5	24,5	0,3	1,0	6
15	5	24,6	0,1	1,1	4,4
20	5	24,8	0,2	1,3	39
30	10	24,9	0,1	1,4	28
40	10	25	0,1	1,5	22,5
50	10	25	0	1,5	0
60	10	25	0	1,5	0

A baixa porosidade e a escassez de matéria orgânica nos solos arenosos resultam em uma drenagem rápida. A matéria orgânica desempenha um papel crucial na porosidade do solo, contribuindo para uma maior capacidade de armazenamento de água e dificultando a perda por percolação, já que tem a capacidade de se ligar à água (BRADY e WEIL, 2013).

No momento da pesquisa de campo, a ocorrência de chuva durante cinco dias anteriores havia totalizada 40 mm na área da fazenda. A água proveniente dessas chuvas ainda não havia sido completamente absorvida pelo solo no momento, resultando no fato de que, após 40 minutos do início do teste e com lâmina infiltrada de 15 mm, o solo alcançou a saturação. É relevante destacar que o resultado observado dificilmente está associado à compactação do solo, uma vez que foi realizado um trabalho de escarificação na área, descompactando o solo até uma profundidade de 40 cm.

Uma vez confirmado que o solo atingiu a saturação com 15 mm, optou-se por selecionar uma lâmina de 11 mm como medida de segurança para garantir a realização do próximo ensaio. A configuração do equipamento foi baseada em uma tabela fornecida pelo

fabricante, a qual especificava que, utilizando um bocal de 38 mm, com uma pressão de 3 kgf/m³, vazão de 102 m³.h⁻¹ e uma velocidade de 100 m/h, seria alcançada a lâmina de 11 mm de água.

Após definir e ajustar o equipamento de acordo com essas condições, um trator estendeu a mangueira com o aspersor canhão em sua extremidade ao longo de 90 m, com 24 m adicionais, além do ponto de início de coleta, como medida de segurança para garantir que tudo estivesse de acordo com o estabelecido. Da distância percorrida pelo aspersor canhão destinaram-se 36 metros para posicionar os coletores lateralmente ao trajeto e 30 metros para replicar as condições da primeira linha de coletores em toda a área.

Durante o recolhimento da mangueira e o consequente deslocamento do aspersor pelo corredor central, os pluviômetros coletaram a precipitação aplicada. Uma vez que os dados foram coletados, procedeu-se à construção de mapas em escala de cores para discriminar a quantidade de água coletada por cada pluviômetro. A escolha das cores foi baseada nas cores dos mapas de altimetria, garantindo assim uma representação visual coerente e fundamentada em princípios cartográficos reconhecidos. Utilizou-se uma escala de tons vermelhos para áreas com lâmina de água insuficiente, tons amarelos para lâminas de água intermediárias e verde para áreas com excesso de lâmina de água.

A aplicação da escala de cores baseada nos mapas de altimetria não apenas garante consistência visual, mas também possibilita a rápida identificação de áreas com níveis inadequados, intermediários e excessivos de lâmina de água. Esse enfoque, fornece informações valiosas sobre a distribuição espacial da água e como o fator do vento influenciou nos resultados dos testes.

O teste começou às 8h20 com uma temperatura de 27 graus Celsius. Usando um anemômetro, foi registrado uma velocidade média do vento de 0,7 m/s classificado como fraco no início do teste. Este foi concluído às 9h15, com um registro final de 1,1 m/s e velocidades máximas do vento atingindo até 2,2 m/s.

O segundo teste começou às 14h40, sob condições de vento drasticamente alteradas e uma temperatura de 33 graus Celsius. O anemômetro registrou que o teste começou com uma velocidade de 3,4 m/s, mantendo-se constante, mas com registros de velocidades máximas de até 5,5 m/s.

O carretel percorria a área numa direção do sudeste ao noroeste e o vento nos momentos dos testes ia de leste para o sul. Quando o vento sopra em uma direção perpendicular ao movimento do carretel, ocorre o que é conhecido como vento cruzado.

A Figura 2 apresenta as lâminas de irrigação coletadas nos pluviômetros durante os testes com o Carretel enrolador em ambos os lados do corredor de deslocamento do aspersor canhão.

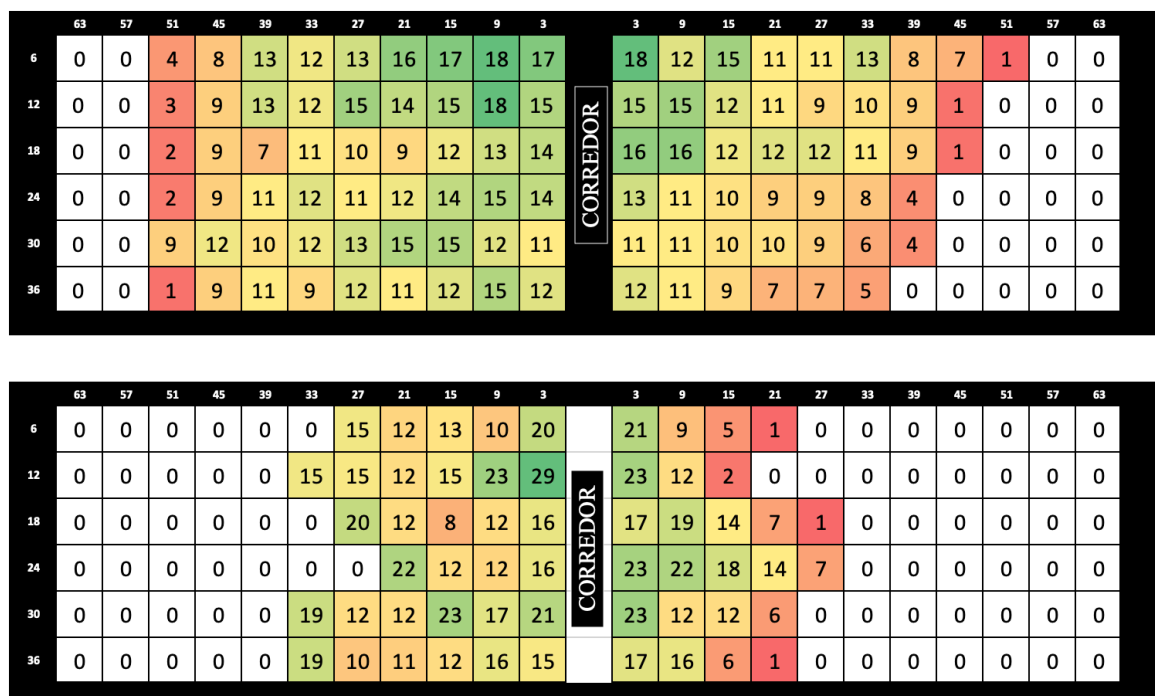


Figura 4. Mapa superior com escala de cores: Teste 1 em condições de ventos fracos a médios. Mapa inferior com escala de cores: Teste 2 em condições de ventos moderados a fortes. Os valores dentro dos quadros representam a precipitação coletada em milímetros, enquanto os dados nos quadros pretos expressam as distâncias, em metros.

Os resultados dos testes evidenciam que, à medida que o carretel se desloca de cima para baixo, o número de pluviômetros que receberam precipitação à direita do mapa diminui, enquanto os valores à esquerda do mapa se mantêm mais constantes nas seis linhas de pluviômetros, que configuram as repetições do teste. Isso se deve ao aumento progressivo da velocidade do vento durante a realização do teste, que afetou a distância alcançada pelo jato de irrigação, resultando em perdas por deriva.

Na maior parte do Teste 1, em que predominou a condição de vento fraco, não se constatou impacto significativo no alcance do jato. No mapa do teste 2, observa-se uma clara redução no número de pluviômetros que recebeu precipitação, em comparação com o Teste 1, além de uma assimetria que gerou concentração da precipitação próximo ao corredor (células verdes), diminuindo o alcance do jato e a área efetivamente irrigada. Isso ocorreu em função das variações constantes do vento durante o teste. O equipamento carretel enrolador não irriga toda a área simultaneamente, pois o movimento do jato indo e voltando leva em torno de um minuto; portanto, ventos fortes em momentos específicos afetam

significativamente a área molhada pelo aspersor, reduzindo o alcance do jato e aumentando a deriva e a evaporação. Esta última pode ser influenciada pela temperatura durante a irrigação.

A Tabela 2 apresenta os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen em porcentagem, para os Teste 1 e 2, a média das lâminas coletadas, volume aplicado e largura da faixa molhada pelos jatos. Valores de CUC superiores a 80% são considerados satisfatórios, indicando pequena dispersão de valores ao redor do valor médio.

Tabela 2. Comparação média das lâminas, volume de água, diâmetro molhado e coeficiente de uniformidade de Christiansen.

	Lâmina de precipitação média (mm)	Volume de água (mm)	Largura da faixa efetivamente molhada (m)	CUC %
Teste 1	10,9	1.053	90	80,6
Teste 2	14,0	798	54	64,7

Os dados da tabela 2 evidenciam que sob condições de vento fraco, a deriva e evaporação são mínimas, resultando na lâmina d'água desejada e em um volume de água 24,2% superior ao Teste 2. Além disso, indica desuniformidade, pois no Teste 2, a lâmina média aplicada superou em aproximadamente 3 mm a lâmina de água desejada. Quanto ao coeficiente de uniformidade, no Teste 1 obteve-se CUC igual a 80,6%, enquanto no Teste 2 obteve-se CUC igual a 64,7%, valores que, de acordo com Bernardo et al. (2019), podem ser classificados como resultado satisfatório para o Teste 1 e resultado inadequado para o Teste 2.

Os dados coletados, além de terem importância crucial para verificar a eficiência da irrigação, mostram o que talvez seja o fator de maior significado em termos econômicos, que é a largura da faixa irrigada produzida. No Teste 2 a faixa irrigada foi reduzida em 36 metros, o que implica em reduzir o espaçamento entre corredores, e conseqüentemente, em aumentar o número de passadas do equipamento na área, resultando em um aumento no amassamento do cultivo de interesse. Além disso, há um aumento de 60% no tempo de operação, o que se traduz em maior consumo de diesel, gerando custos mais elevados para utilizar o equipamento.

Em síntese, a condição de vento forte cruzado, torna evidente que todos os parâmetros de eficiência são reduzidos, resultando em aumento dos custos operacionais e desperdício significativo de água. Quando o vento está contra o jato, há um aumento na desuniformidade, pois mais água cai em uma área menor. Em contrapartida, quando o vento

está a favor, ocorre um aumento na deriva e evaporação das gotas devido ao aumento de sua área superficial. Assim, em ambos os lados do corredor, a quantidade de água aplicada se torna inadequada.

Para verificar a possibilidade de aumento a eficiência da irrigação, foram calculados os Coeficientes de Uniformidade (CUC) para situações que foi simulada a aproximação entre passadas sucessivas do carretel enrolador, o que em outras palavras, significa a redução da distância entre corredores no campo visando uma sobreposição entre os jatos do aspersor em passadas sucessivas.

A Tabela 3 mostra os valores de CUC%, Lâmina média aplicada (mm) e Largura da faixa irrigada (m) para simulações de sobreposição de 6 m, 12 m, 18 m e 24 m para os Testes 1 e 2. As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram os mapas em escala de cores para as quatro simulações de sobreposição, para as duas condições de vento, visando avaliar como o sistema se comportaria nessas condições imaginadas. Essa análise permite entender como o aumento da sobreposição pode influenciar a distribuição de água e, conseqüentemente, a eficiência do sistema de irrigação.

Tabela 3. Simulação de sobreposição dos jatos dentro das faixas irrigadas, com resultado de CUC médio, lâminas de água e larguras das faixas irrigadas para o teste com vento fraco (T1) e para o teste com vento forte (T2).

Sobreposição do raio de alcance do jato (m)	CUC %	Lâmina média aplicada (mm)	Largura da faixa irrigada (m)
T1 6 m	84,3	11,7	84
T1 12 m	85,9	12,0	78
T1 18 m	86,2	13,5	72
T1 24 m	85,8	14,6	66
T2 6 m	74,34	15,5	42
T2 12 m	76,6	17,7	36
T2 18 m	77,9	20,6	30
T2 24 m	79,3	24,8	24

Nas sobreposições do Teste 1, destacam-se os elevados valores de CUC%, superando consistentemente os resultados dos Teste 2, realizados com vento forte em todos os níveis de sobreposição. As médias das lâminas de água registradas no Teste 1, essenciais para garantir a irrigação adequada, revelaram-se próximas ou pouco superiores à meta desejada (11 mm) em comparação aos resultados do Teste 2. Além disso, a extensão superior do comprimento da faixa oferece a perspectiva de uma cobertura mais uniforme e eficiente.

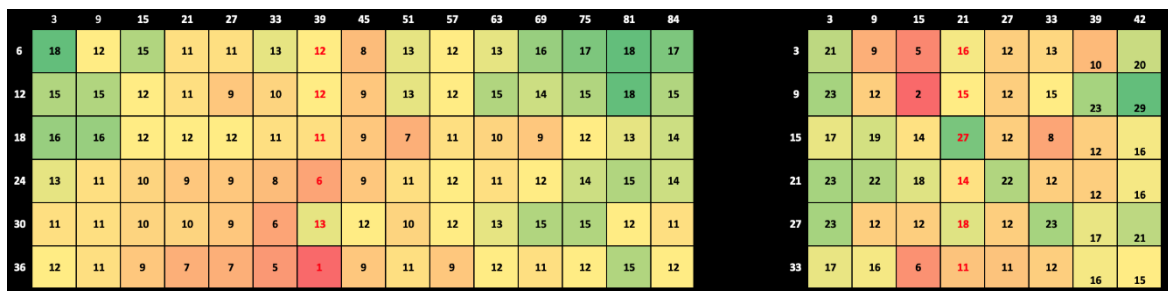


Figura 5. Mapas de lâminas de água obtidas com sobreposição de 6 m, com escala de cores: Mapa da esquerda referente ao Teste 1 em condições de ventos fracos a médios; Mapa da direita referente ao Teste 2 em condições de ventos moderados a fortes. Os valores dentro dos quadros representam as lâminas simuladas, em milímetros, enquanto os dados nos quadros pretos expressam a distância em metros.

Ao ser mais criterioso e discriminando por testes, verifica-se no Teste 1, que a sobreposição que se mostra mais eficiente é a de 6 m, por ser aquela que proporcionou o maior incremento no valor de CUC apresentado na Tabela 2 (incremento de 3,7%). Neste nível de sobreposição também foi obtida a precipitação média que mais se aproxima da lâmina desejada e se conseguiu a faixa molhada mais longa, sendo, portanto, mais eficiente também tem termos econômicos. Entre a sobreposição de 6 m e a de 18 metros, há uma redução da faixa irrigada de 12 metros e um aumento de apenas 1,9% no CUC. Este exemplo ilustra a razão para que uma opção de sobreposição seja descartada: por reduzir demasiadamente a faixa irrigada, retornar um pequeno benefício em uniformidade. Além disso, a lâmina produzida mostrou-se 2,5mm acima do desejado, o que, considerando área de 1,0 hectare, representa um volume adicional de 25.000 litros de água que poderiam ser destinados a outra área.

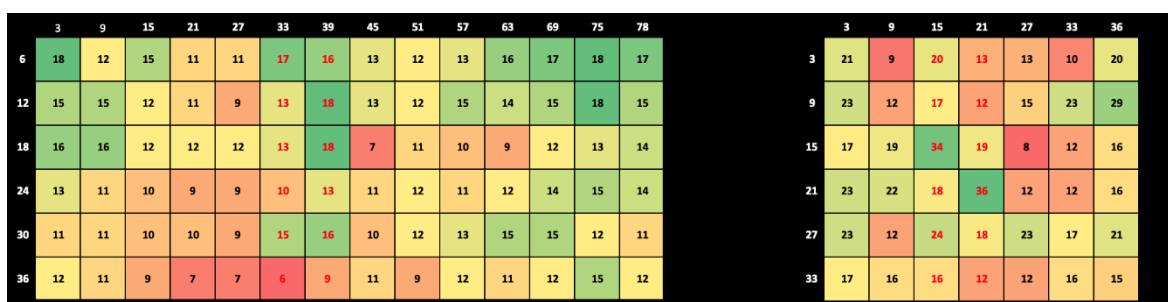


Figura 6. Mapas de lâminas de água obtidas com sobreposição de 12 m, com escala de cores: Mapa da esquerda referente ao Teste 1 em condições de ventos fracos a médios; Mapa da direita referente ao Teste 2 em condições de ventos moderados a fortes. Os valores dentro dos quadros representam as lâminas simuladas, em milímetros, enquanto os dados nos quadros pretos expressam a distância em metros.

As opções consideradas mais eficientes foram as de 6 m e a de 12 m. A de 12m aumentou em apenas 1,6% o CUC, mas a lâmina de irrigação foi quase a mesma, porém maior. Considera-se como uma opção de sobreposição viável devido ao custo de ter-se apenas 6 m a menos na largura da faixa irrigada.

Comparando as lâminas aplicadas nos Testes 1 e no Teste 2, apresentados na Tabela 2, fica evidente que os valores são significativamente inadequados quando comparados aos do Teste 1. A lâmina de água em todas as sobreposições mostrou aumentos acima do valor desejado em mais de 40% na sobreposição de 6 m e na última sobreposição chega a 125% acima dos 11 mm desejados.

Os dados encontrados são muito contundentes e corroboram as conclusões do pesquisador Tarjuelo (1991), que em seu trabalho acrescenta que a uniformidade na distribuição de água diminui em 20% quando a velocidade do vento aumenta de menos de 2,0 m/s para mais de 4,0 m/s, condição que no caso sem sobreposição foi de 15,9% em condições de ventos oscilantes. Segundo este autor, essa condição justifica a recomendação de interromper a irrigação em condições de ventos fortes. Portanto, é recomendável evitar a realização da irrigação durante os horários em que essas condições de vento prevalecem.

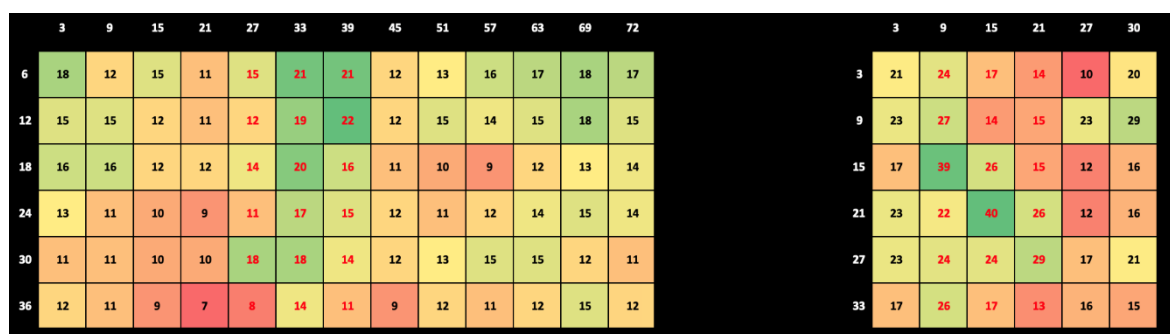


Figura 7. Mapas de lâminas de água obtidas com sobreposição de 18 m, com escala de cores: Mapa da esquerda referente ao Teste 1 em condições de ventos fracos a médios; Mapa da direita referente ao Teste 2 em condições de ventos moderados a fortes. Os valores dentro dos quadros representam as lâminas simuladas, em milímetros, enquanto os dados nos quadros pretos expressam a distância em metros.

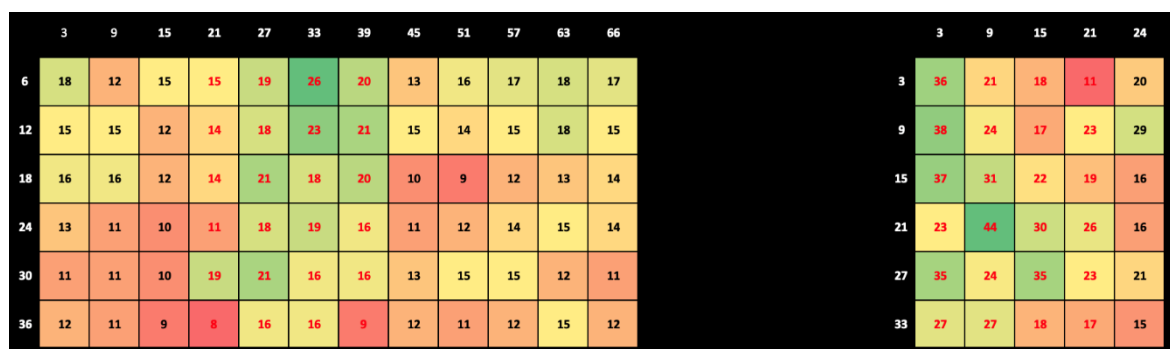


Figura 8. Mapas de lâminas de água obtidas com sobreposição de 24 m, com escala de cores: Mapa da esquerda referente ao Teste 1 em condições de ventos fracos a médios; Mapa da direita referente ao Teste 2 em condições de ventos moderados a fortes. Os valores dentro dos quadros representam as lâminas simuladas, em milímetros, enquanto os dados nos quadros pretos expressam a distância em metros.

Conclusões

Tanto no Teste 1 como no Teste 2, a sobreposição de 6 metros foi a que proporcionou maior equilíbrio, tanto em relação ao critério de eficiência de irrigação, como no aspecto econômico, pela menor redução na largura da faixa irrigada.

Em condições de ventos fortes é recomendável interromper a irrigação, pois todos os parâmetros que conferem eficiência ao equipamento serão afetados, resultando em custos mais elevados de produção.

Em caso de necessidade de utilizar lâminas de água maiores que 11 mm, deve-se programar a velocidade de deslocamento do aspersor para aplicação de uma lâmina menor que a desejada, uma vez que com a sobreposição sempre haverá um aumento na lâmina de água média aplicada.

Referências

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C.; DA SILVA, D. **Manual de irrigação, edição: 9ª**. Editora: UFV, 2ª reimpressão. Viçosa, MG, 2019.

BOFF, Z.; KNIES, A.E; ISMAEL, J. Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar para a safra e safrinha de 2019/20 na região central do rs. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 81268–81284, 1 jan. 2020.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

COLOMBO, Alberto. **Simulação do desempenho de um equipamento autopropelido de irrigação**. 9 abr. 2019.

CHRISTOFIDIS, D.; Oportunidades de irrigação no Cerrado: recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **Irrigação e Tecnologia moderna**. Brasília: ABID, n.69/70 p. 87-97, 2006.

CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**. Ri.ufs.br, 2019.

DOURADO NETO, DURVAL et al. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/publicacoes-1>.

FONSECA DE CARVALHO, D.; LEONARDO, D.; BATISTA DA SILVA. **Hidrologia**. Disponível em:

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap 5-INF.pdf>

PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

PAZ, V. P. da S.; FRIZZONE, J. A., BOTREL, T. A., FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, set./dez. 2002.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H. B. K.). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 32, 2003, Goiânia.

STONE, LUIS FERNANDO. **Irrigação por aspersão - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/metodos-de-irrigacao/irrigacao-por-aspersao>>.

TARJUELO, J. M. **El riego por aspersão: diseño y funcionamiento**. La Mancha, Albacete: 1991,403p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 2017.

VILELA, L. A. **Sistemas pressurizados de irrigação: irrigação por autopropelido e pivô central**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 81p.Apostila.