

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**RAFAEL VIDIGAL LISBOA**

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO NA  
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO PIVÔ CENTRAL**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2019**

**RAFAEL VIDIGAL LISBOA**

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO NA  
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO PIVÔ CENTRAL**

**Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, da disciplina ENG 491 – Trabalho de Conclusão de Curso, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.**

**Orientador: Catariny Cabral Aleman**

**Coorientadores: Everardo C. Mantovani**

**Job Teixeira de Oliveira**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2019**

**RAFAEL VIDIGAL LISBOA**

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO NA  
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO PIVÔ CENTRAL**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 28 de junho de 2019.



---

Profa.: Fernanda Campos de Sousa  
(Membro)  
(UFV)



---

Prof.: Luan Peroni Venancio  
(Membro)  
(UFV)



---

Profa.: Catariny Cabral Aleman  
(Orientadora)  
(UFV)

**Aos meus pais, José e Adelaide, que sempre contribuíram  
de forma essencial para a minha formação  
pessoal e acadêmica.  
Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, que é o grande significado da minha vida, meus pais José e Adelaide, minha irmã, Carolina e minha namorada, Letícia.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de fazer parte desta instituição.

Ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental UFV e todos que o compõem, pelos ensinamentos a mim passados.

A Professora Catariny Cabral Aleman por me orientar, pela confiança a mim creditada, e por toda paciência e amizade.

Ao professor Everado Chaturni Mantovani e ao Claudio Tomazela por disponibilizar os equipamentos necessário para realização do trabalho.

Ao Gabriel Cunha, Edinei Araujo, Igor Quintão, Pedro Toledo, Luan Peroni e Job Oliveira que foram essenciais para conclusão do trabalho e ao senhor Edson Schwambach que disponibilizou a sua fazenda.

Aos colegas do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) que sempre ajudaram quando necessário.

**“The ultimate measure of a man  
is not where he stands in moments of comfort and convenience,  
but where he stands at times of challenge and controversy.”**

Martin Luther King, Jr.

## RESUMO

Cenários futuros apontam para um aumento das áreas irrigadas em todo mundo para atender a demanda crescente por alimentos, ao passo que a disponibilidade hídrica tende a diminuir. Isso faz com que a utilização de sistemas de irrigação com altas eficiências de irrigação seja algo imprescindível para sustentabilidade da agricultura irrigada. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência da velocidade do vento na uniformidade de distribuição de água na irrigação por pivô central equipado com emissores I-wob e Rotator. Para tanto, utilizou-se os emissores Senninger do tipo spray de placa oscilante (I-wob) e Nelson de placa oscilante (Rotator). Foram calculados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), a variação da lâmina coletada em diferentes horários do dia, e a influência da velocidade do vento em todos os parâmetros. Como resultados, verificamos que os emissores I-wob e Rotator apresentaram uma lâmina coletada relativamente constante, o que gerou uma uniformidade de distribuição de água, que se enquadra como boa (>85%). Utilizando o emissor I-wob, em diferentes horários e em condições de desníveis da área, obteve-se os CUCs médios de 85,95; 89,29 e 87% para a situação de aclave, declive e nível respectivamente, com velocidade do vento variando de 0 a 2,4 m/s. Para o emissor Rotator, os CUCs médios de 85,62; 87,49 e 89,1% para situações de aclave, nível e declive respectivamente e velocidades de vento entre 0 a 3 m/s.

**Palavras-chave:** Coeficiente. Eficiência. Emissores. Irrigação.

## ABSTRACT

Future scenarios point to an increase in irrigated areas worldwide to meet the rising demand for food, while water availability tends to decline. This makes the use of an irrigation system with high irrigation efficiencies essential for the sustainability of irrigated agriculture. Therefore, the present work had the objective of evaluating the influence of wind velocity on the uniformity of water distribution in sprinkler irrigation of the central pivot type equippe with emitters I-wob and Rotator. For this purpose, the Senninger emitters of the oscillating plate spray (I-wob) and the oscillating plate Nelson (Rotator) were used. The Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), the variation of the blade collected at different times of the day, and the influence of the wind in all of the aforementioned parameters were calculated. As results, we verified that the I-wob and Rotator emitters presented a relatively constant collected blade, which generated a water distribution uniformity, which fits well (> 85%). Using the I-wob emitter, at different times and in uneven conditions of the area, the average CUCs of 85.95 were obtained; 89.29 and 87% for slope, slope and level respectively, with wind ranging from 0 to 2.4 m / s. and for the Rotator emitter, the mean CUCs of 85.62; 87.49 and 89.1% for slope, level and slope conditions respectively and wind speeds between 0 and 3 m s<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Coefficiency. Efficiency. Emitters. Irrigation.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
2.1. <i>Área de estudo</i> .....	11
2.2. <i>Dados do pivô central e estação de bombeamento</i> .....	11
2.3. <i>Dados dos emissores</i> .....	12
2.4. <i>Avaliação dos emissores</i> .....	13
2.4. <i>Análise de uniformidade de distribuição</i> .....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
3.1. <i>Vazões de catálogo e vazões coletadas</i> .....	16
3.2. <i>Lâminas média coletada</i> .....	17
3.3. <i>Coeficiente de Uniformidade Christiansen (CUC)</i> .....	21
4. CONCLUSÃO .....	25
5. REFERÊNCIAS .....	26

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade por produção de alimento aumenta conforme o crescimento populacional mundial e, com isso, é de fundamental importância o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a agricultura. Diante disso, existem gargalos para a produção eficaz e sustentável, como por exemplo, a desuniformidade na precipitação existente em várias regiões do Brasil e do mundo que pode reduzir severamente a produtividade e eficiência dos sistemas agrícolas.

Para atender a demanda hídrica em locais em que a precipitação é desuniforme, a irrigação é uma alternativa eficaz em condições totais que se utiliza da irrigação para suprir a necessidade hídrica da cultura implantada na área, utilizadas em regiões áridas ou que a intensidade de precipitação seja insignificante e a suplementar que se utiliza para atender a demanda evapotranspirométrica das culturas, em que o uso da irrigação é complementada pela precipitação efetiva, reduzindo assim, os riscos na produção agrícola (CARNEIRO & SEDIYAMA, 1988).

Dentre outros métodos, a irrigação por pivô central vem sendo amplamente utilizada em várias regiões do Brasil, viabilizando maior produtividade nestas áreas. A taxa de crescimento de utilização de sistemas de irrigação vem aumentando em média 4% ao ano, desde a década de 1960, partindo de 460 mil hectares e chegando a 6,95 milhões de hectares em 2015 (ANA, 2017). Nas áreas irrigadas por sistema de pivô central, vários atributos são importantes para o funcionamento ideal desta ferramenta, dentre eles, a uniformidade de distribuição de água. Dependendo da velocidade do vento ao longo da aplicação de água, as variáveis meteorológicas terão um efeito maior ou menor no padrão de distribuição sazonal da água e na variabilidade da produtividade das culturas implantadas (OUAZAA et al., 2016). A redução da uniformidade de distribuição podem elevar o uso de água e energia elétrica inviabilizando o uso da irrigação por pivô central (HEINEMANN et al., 1998). Portanto, para garantir a aplicação da lâmina de irrigação adequada e reduzir os gastos com energia elétrica que encarecem o sistema produtivo irrigado, estudos relacionados à eficiência de distribuição são cada vez mais importantes (BERNARDO et al., 2006).

Além disso, a baixa eficiência dos sistemas de irrigação pode estar relacionada a fatores climáticos. De acordo com Tarjuelo et al. (2009) o método de irrigação por aspersão

apresenta alguns problemas em relação as perdas por deriva e por evaporação, o que impacta na diminuição da eficiência de aplicação da lâmina de irrigação. As perdas por deriva dependem, de acordo com Ortiz et al. (2009), da velocidade do vento, do diâmetro de gota e da distância que as gotas percorrem até atingir a superfície do solo ou o dossel da cultura. As perdas por evaporação dependem da temperatura e da umidade relativa do ar, da velocidade do vento, da altura de instalação do emissor de água acima da superfície do solo, da pressão de serviço no emissor e do diâmetro de gota formado junto à saída do emissor. Tarjuelo et al.(2000). A uniformidade de aplicação, que pode ser garantida pela escolha adequada dos emissores, por meio do dimensionamento dos sistemas de irrigação, é um fator que pode proporcionar redução dos custos de irrigação, tornando assim o investimento agrícola mais viável. Alves Júnior et al. (2017) destacam que o dimensionamento inadequado do sistema de irrigação pode ocasionar incrementos de até 74% sobre os custos variáveis de irrigação.

Além da importância de se fazer dimensionamento correto do sistema de irrigação, é importante destacar que quando o sistema é acionado em condições de velocidade do vento elevada, podem ocorrer reduções na uniformidade do sistema e gerar aumento dos custos de irrigação. Pereira et al. (2015) verificaram que o custo operacional, ou seja, os custos do funcionamento do equipamento (principalmente em condições adversas), é o que possui maior participação nos custos totais dos sistemas de irrigação. Assim, dado o impacto que uma baixa uniformidade de distribuição pode provocar na eficiência de irrigação e a influência da velocidade do vento sobre esta variável, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a possível interferência do vento na uniformidade de distribuição de um pivô central, utilizando-se emissores I-wob e Rotator. Especificamente, objetivou-se comparar qual emissor sofre mais influência da velocidade do vento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma fazenda localizada no município de Paula Candido-MG, com as coordenadas centrais da área de estudo sendo: 20°49'47,77" S e 42°55'07,67" O, a uma altitude de 702 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen o clima da região é predominantemente tropical, mesotérmicos, com verões chuvosos e inverno frio e seco. A área contava com uma estação meteorológica automática Davis®, modelo Vantage Pro II, com resolução da coleta de dados a cada 10 minutos, para monitoramento das condições climáticas locais durante o experimento. Foram coletadas em cada teste, os seguintes dados meteorológicos: temperatura máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade máxima e mínima do vento ( $m\ s^{-1}$ ), radiação solar ( $W\ m^2$ ) e precipitação (mm). A estação ficou situada a 100 metros do ponto central do pivô.

### 2.2. Dados do pivô central e estação de bombeamento

O pivô central utilizado no estudo (Valley, modelo 4865-8000-VSL) possuía uma lâmina bruta diária de 8,40 mm/dia (21,0 horas  $dia^{-1}$ ), com altura de 2,74 m (distância do vão livre do equipamento até o chão), e área irrigada de 2,25 ha. Para movimentação do pivô, a torre possuía um moto redutor de 0,5 cv promovendo a movimentação do mesmo, a uma velocidade média de 120  $km.h^{-1}$ . O pivô era composto por um lance longo com diâmetro de tubulação 6.5/8" de polegadas com comprimento da torre de 55,11 m, e com um vão em balanço de diâmetro 4" de polegada, de 25m, em aço galvanizado, totalizando um raio irrigado de 84,56 m.

O pivô foi avaliado com percentímetro regulado a 100% e para calcular sua velocidade, foram realizadas medições na última torre para encontrar a distância entre duas linhas radiais e foi cronometrado o tempo gasto para que o pivô percorresse os dois pontos, e assim foi encontrada a velocidade de trabalho do pivô de 120  $m.h^{-1}$ .

O sistema de bombeamento consta de uma bomba centrífuga (KSB, modelo C-3000) situada na casa de bomba que está posicionada a 175 metros de distância do centro do pivô. A

vazão da motobomba é de  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e além disso há um motor WEG trifásico de 2 cv (3500 rpm) instalado a 2 metros de desnível da base do pivô. A tubulação adutora é composta por tubos PVC PN 60 de 100 mm de diâmetro com 175 metros de comprimento.

### 2.3. Dados dos emissores

Para a coleta de dados utilizando o emissor I-wob (Figura 1<sup>a</sup>), foram utilizadas 23 saídas com cabos flexíveis, contando a partir da terceira saída, visto que as duas primeiras saídas fechadas para evitar a alta taxa de precipitação próxima ao centro do pivô, onde foram inseridos os emissores. Para o emissor Rotator (Figura 1B) foram utilizadas 18 saídas do equipamento (ambos utilizando-se a pressão de 10 Psi), mantendo as duas primeiras saídas fechadas como feito para o emissor I-wob.

Figura 1 – Emissor I-Wob (A) e Rotator R3030 (B) e suas respectivas características

A)



B)



Fonte: Autores (adaptada dos catálogos dos fabricantes).

Configurações do emissor I-Wob:

- A tecnologia de oscilação (Wobbler) produz intensidade de aplicação baixa para preservar a integridade do solo
- O peso universal abaixo do bocal elimina a necessidade de pesos convencionais maiores

- O bocal de encaixe do UP3 é fácil de remover para limpeza ou troca. Para retirar o bocal, basta apertar e puxar e, em seguida, colocar no local e encaixar para instalá-lo.
- A placa rotativa e oscilante, preta, possui 9 ranhuras que geram gotas médias, com uma pressão de serviço de 10 Psi gerando um diâmetro de alcance na faixa de 11,6 a 18 metros.

Configurações do emissor Rotator:

- O Rotator possui maior uniformidade, devido ao aumento da sobreposição dos sprinklers adjacentes. Contribui também para reduzir a deriva do vento e a perda por evaporação.
- Como nenhum sprinkler é adequado para todas as condições, os Sprinklers Nelson Pivot apresentam componentes de design modular que são facilmente alterados com um simples empurrão e giro assim obtendo a possibilidade de fazer a configuração necessária a qualquer momento.
- A placa rotativa, oliva, possui, com ranhuras desuniformes que geram gotas de diâmetro variado, com uma pressão de serviço de 10 Psi gerando um diâmetro de alcance na faixa de 10 a 18 metros.

#### ***2.4. Avaliação dos emissores***

Em todas as avaliações o pivô foi regulado para funcionar com o percentímetro a 100%, totalizando 2,90 horas para o giro de 360 graus. A coleta das vazões só foi iniciada após a pressurização do sistema. Foram coletados os volumes em todas as saídas do equipamento com emissores, obtendo uma análise mais detalhada da vazão de cada emissor e conseqüentemente a lâmina real do equipamento. Com essa finalidade, foi utilizada uma metodologia para medição da vazão, que consiste em um recipiente, cilíndrico com volume igual a oito litros adaptado a um conector de PVC com diâmetro de 25 mm, conectado a um tubo com 4 metros de comprimento, onde a água coletada foi captada por esse recipiente de 8 litros e armazenada em outro recipiente graduado com volume de 20 litros. Por fim, com auxílio de uma proveta graduada de 1000 cm<sup>3</sup> foi feita uma mensuração do volume exato. Esse procedimento foi realizado por 2 minutos em cada emissor, totalizando em 3 repetições e assim foi calculada a vazão média de todos os emissores.

Utilizando o catalogo de cada fabricante, identificou as vazões de cada aspersor separadamente e conseqüentemente fornecendo informações teóricas e detalhadas das vazões e da lâmina aplicada. Desta forma, foi possível relacionar a lâmina aplicada dos emissores com a lâmina coletada, visto que a lâmina aplicada esta diretamente relacionada ao sistema, onde de acordo com a vazão dos bocais chega-se à lamina aplicada, e a lâmina coletada é relacionada diretamente com a agua que chega ate os copos coletores, resultando se o pivô central foi bem dimensionado. Para avaliar a lâmina de irrigação, foi utilizado o kit de ensaio da FABRIMAR<sup>®</sup> com coletor de 80 mm de diâmetro da boca e fixados a uma altura de 50 cm do solo.

Utilizando de forma modificada a norma ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998), foram distribuídas três linhas de coletores uniformes nas diferentes situações de desnível (isto é, nível, aclave e declive), de acordo com a Figura 2, e espaçamento de dois metros entre coletores, formando três linhas com 84 de comprimento, totalizando 123 coletores posicionados nas três posições de desnível da área irrigada.

Figura 2 - Imagem do pivô central com seus respectivos raios, aclave, declive e nível



Fonte: Google Earth (2019).

O volume de água coletado pelos coletores foi monitorado, realizando-se quatro repetições por cada raio de coleta, sempre com a angulação fixa dos raios. Nos dias de coleta de dados, com auxílio da estação meteorológica automática, foram contabilizados todos os horários em que o pivô passava exatamente pelas linhas de coletores instalados na área, assim

coletando dados das variações de velocidade do vento, em que foi avaliada a interferência da perda por arraste nas situações de aclave, declive e nível.

#### ***2.4. Análise de uniformidade de distribuição***

A uniformidade de distribuição foi analisada de acordo com o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) modificada por Heermann e Hein (1968), conforme a Equação 2.

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|}{n * \bar{Y}} \right) \right] \quad (2)$$

Em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

$Y_i$  = Precipitação observada em cada coletor;

$\bar{Y}$  = Média das precipitações;

N = número de coletores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Vazões de catálogo e vazões coletadas

A vazão de cada um dos 23 bicos (para o emissor I-wob) e 18 bicos (para emissor Rotator) que pivô central possui foi individualmente diferente, com aumento à medida que se distanciava do centro do pivô central, em consequência da necessidade de irrigar uma maior área. Os valores encontrados para as vazões coletadas diferiram das vazões encontradas no catálogo e, conseqüentemente lâmina aplicada (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados referentes ao número de dos coletores ( $N^\circ$ ), distância do emissor ao centro do pivô central (D), vazão coletada ( $Q_{coletada}$ ) e vazão de catálogo ( $Q_{catálogo}$ ) para os emissores

N°	D (m)	Emissor I-wob		Emissor Rotator*	
		$Q_{coletada}$ (m <sup>3</sup> /h)	$Q_{catálogo}$ (m <sup>3</sup> /h)	$Q_{coletada}$ (m <sup>3</sup> /h)	$Q_{catálogo}$ (m <sup>3</sup> /h)
1	6,300	0,198	0,182	0,199	0,100
2	10,900	0,193	0,182	0,183	0,100
3	15,500	0,195	0,182	0,181	0,200
4	20,000	0,268	0,248	0,201	0,200
5	24,600	0,317	0,286	0,293	0,300
6	29,200	0,395	0,368	0,330	0,300
7	33,800	0,465	0,411	0,363	0,400
18	38,200	0,498	0,459	0,395	0,400
9	42,900	0,534	0,509	0,450	0,500
10	47,500	0,553	0,561	0,488	0,500
11	52,000	0,530	0,509	0,551	0,600
12	56,700	0,390	0,368	0,609	0,700
13	59,000	0,320	0,286	-	-
14	61,300	0,362	0,325	0,604	0,700
15	63,600	0,357	0,325	-	-
16	65,800	0,364	0,325	0,769	0,800
17	68,100	0,362	0,325	-	-
18	70,400	0,389	0,368	0,818	0,800
19	72,700	0,365	0,368	-	-
20	75,000	0,393	0,368	0,879	0,900
21	77,300	0,437	0,411	-	-
22	79,500	0,441	0,411	0,534	0,500
23	80,400	0,441	0,411	0,704	0,600
$Q_{total}$ (m <sup>3</sup> /h)		7,890	8,190	8,550	8,600

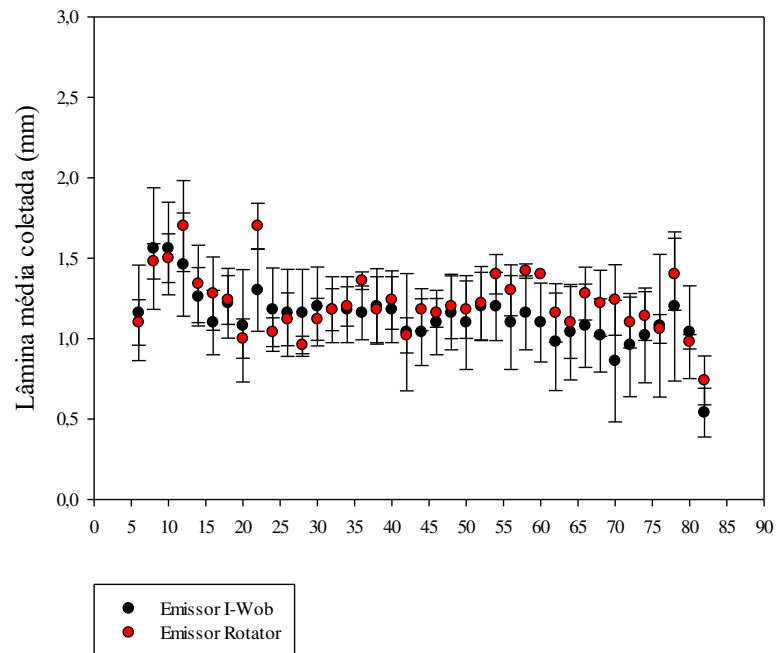
\* Para a avaliação do emissor Rotator, os bocais foram posicionados de acordo com o mapa de bocais disponibilizados pela empresa Nelson, onde as saídas de número 13, 15, 17, 19 e 21, não possuem emissores, pois no cálculo gerado pela empresa, não foram necessário.

É possível que as maiores diferenças encontradas nas vazões para o emissor I-wob se devem ao desgaste do equipamento, (isto é, emissores e válvulas reguladoras de pressão) visto que já estavam instaladas no pivô central há alguns anos (2 anos). Além disso, sabe-se que cada válvula reguladora de pressão possui uma curva de histerese que pode gerar variações de acordo com a pressão do sistema que está relacionada ao desnível do terreno. Von Bernuth & Baird (1990) citam que fatores hidráulicos ou diferenças de nível, podem fazer a pressão de um emissor e que um regulador ideal tem a função de manter constante a pressão de saída, independentemente da pressão de entrada e da vazão.

### ***3.2. Lâminas média coletada***

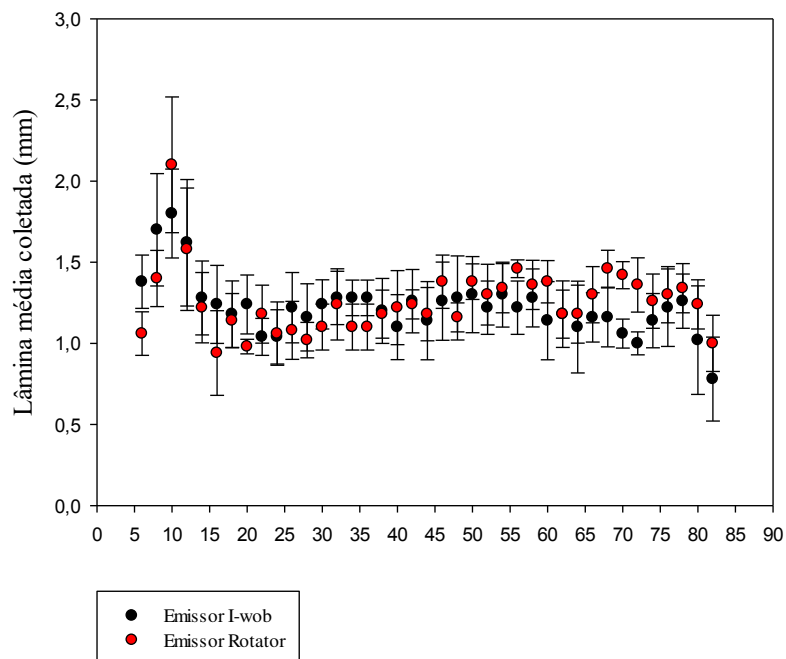
Observou-se que na pior condição de operação do pivô central em termos de desnível geométrico (isto é, em aclave), a pressão registrada pelo manômetro acoplado no último emissor do vão em balanço, fica menor que a pressão no centro do pivô, mas respeitando o valor mínimo exigido pelo sistema (isto é, 10 Psi). A pressão no centro do pivô se manteve constante, em 22 mca, durante o funcionamento. Já na extremidade do pivô, houve uma variação de acordo com o desnível do terreno. Nas situações de aclave, foi registrada a pressão de 16 mca e em declive a pressão foi de 26 mca. As lâminas coletadas ao longo dos três raios do pivô avaliados (isto é, situações de aclave, declive e nível) para os emissores I-wob e Rotator estão demonstrados na Figura 3, 4 e 5.

Figura 3 - Lâmina de irrigação resultante da média das laminas coletadas ao longo do dia para os emissores I-wob e Rotator, na situação de aclave



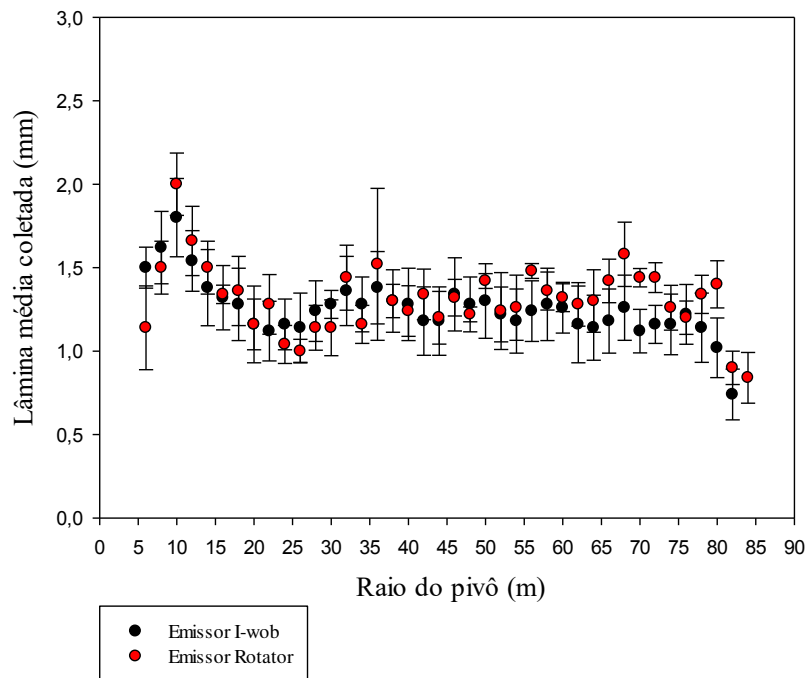
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Lâmina de irrigação resultante da média das laminas coletadas ao longo do dia para os emissores I-wob e Rotator, na situação de nível



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5 - Lâmina de irrigação resultante da média das laminas coletadas ao longo do dia para os emissores I-wob e Rotator, na situação de declive

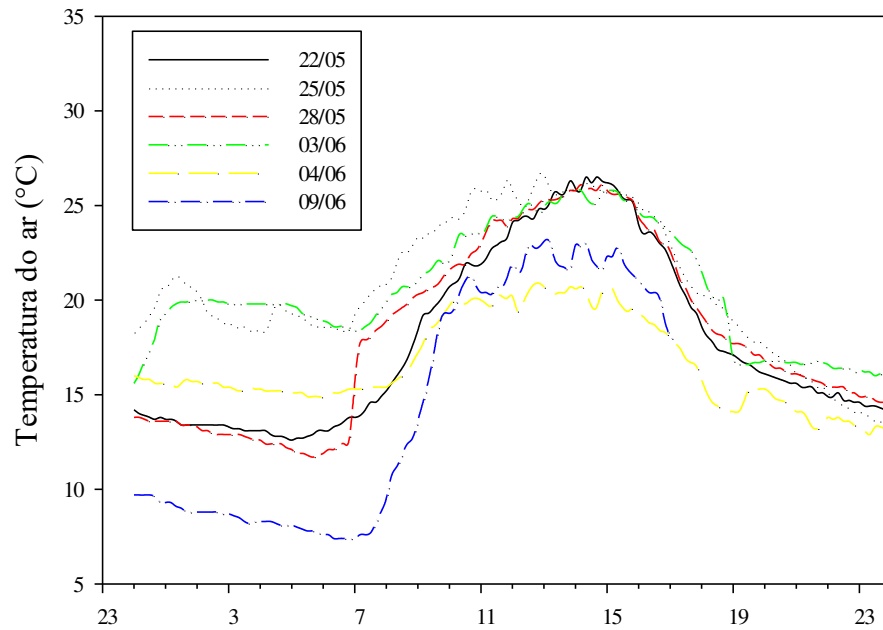


Fonte: Elaborada pelos autores.

Observou-se durante o experimento que durante o período noturno, os valores de lâmina coletada foram maiores, visto que os valores de velocidade de vento, temperatura e umidade relativa do ar foram iguais a zero, logo, não ocorrendo perdas por evaporação e arraste. As figuras 6, 7 e 8 mostram as variações de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento durante todos os dias que foram coletados os dados.

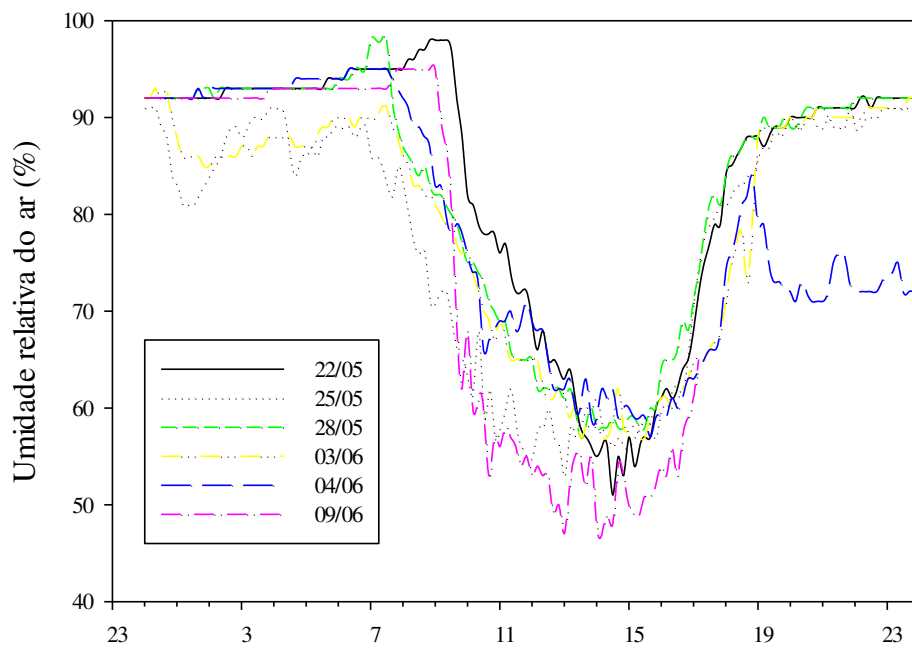
Os resultados obtidos demonstraram que o vento não influenciou a variação da lâmina aplicada pelo pivô. A intensidade média dos ventos durante o experimento foi baixa (menor que  $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ ), o que poderia explicar a não influencia do vento. Portanto, as variações aqui encontradas podem ser explicadas pelas perdas causadas pela temperatura, radiação solar e umidade relativa do ar, assim como demonstrado em trabalhos anteriores de Colombo et. al (2015). Além disso, podemos justificar a baixa velocidade ou mesmo a ausência de vento na área devido à cultura do café implantada em volta do pivô na área mais elevada do terreno, assim contribuindo com bloqueio da passagem de vento.

Figura 6 - Valores temperatura do ar (°C) nos dias de coleta de dados



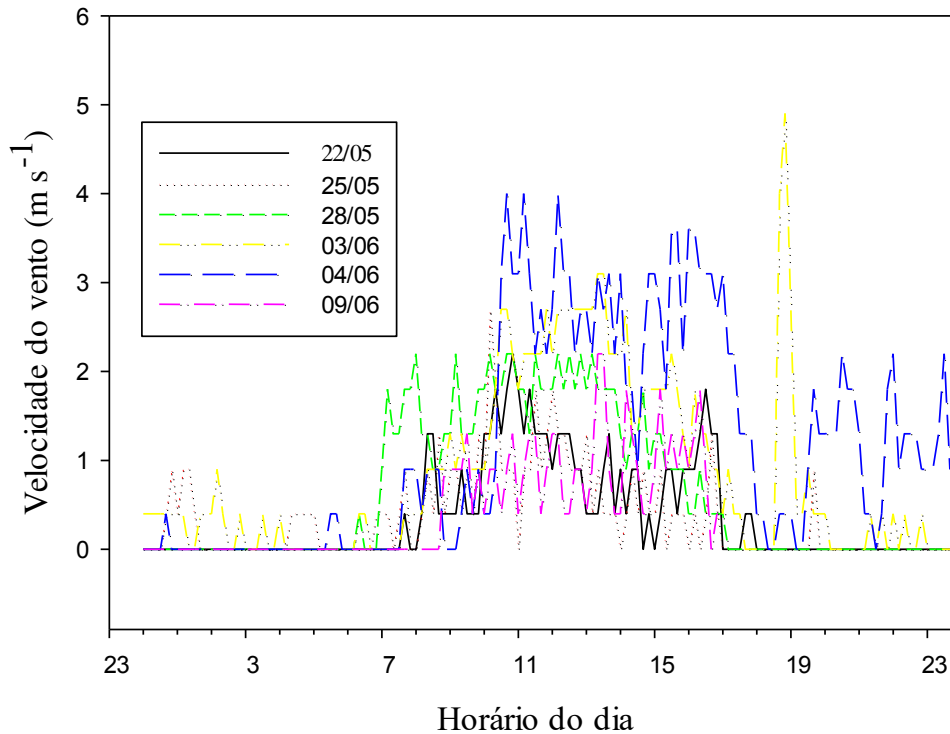
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 7 - Valores umidade relativa do ar (%) nos dias de coleta de dados



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 8. Valores velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a cada 10 minutos de intervalo nos dias de coleta de dados



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.3. Coeficiente de Uniformidade Christiansen (CUC)

Para a análise de eficiência de distribuição de água foi feito o cálculo do CUC e para isso foram feitas coletas em diferentes horários do dia, a fim de ter variabilidade das variáveis meteorológicas. Vale ressaltar que a lâmina coletada é diferente da lâmina do catálogo, visto que a área do pivô é pequena (2,25 hectares) em comparação com a média encontrada de pivôs convencionais instalados de aproximadamente 70 hectares, o que pode ter evidenciado a diferença de vazão. Para melhor uniformidade e assim diminuindo a diferença entre as lâminas coletadas e do catálogo, a melhor opção seria a utilização de diferentes reguladores de pressão mais específicos para menores vazões, obtendo vazões mais específicas.

Comparando o CUC dos dois emissores em relação ao desnível da área, pelas Figuras 4, 5 e 6, nota-se que a pior situação foi em active, encontrando os valores, 85,9% e 85,6% para I-wob e Rotator, respectivamente.

De acordo com a classificação dos valores de CUC% definida pela ABNT NBR 14224 (ABNT, 1998) (Tabela 2), os valores encontrados foram classificados como Boa para os dois emissores avaliados.

Tabela 2 - Classificação CUC%

CUC%	Classificação
<80%	Ruim
80-84%	Regular
85-89%	Boa
>90%	Muito Boa

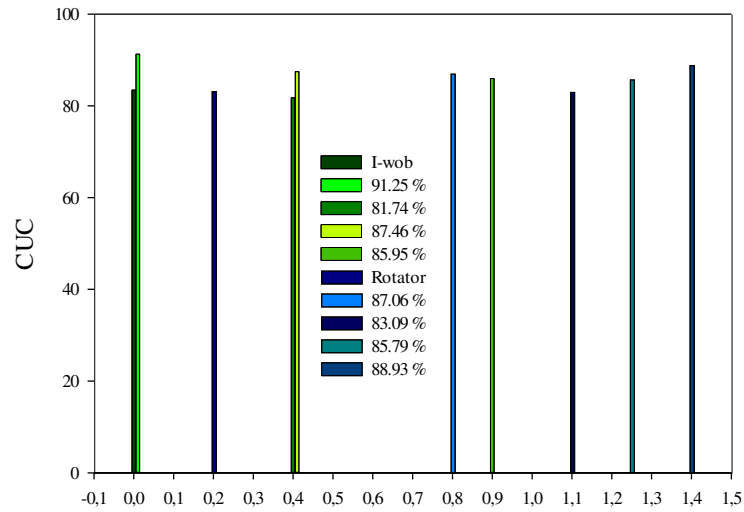
Fonte: Elaborada pelos autores.

O vento não interferiu nos valores do CUC, devido a baixa velocidade do vento registrada na área de estudo que foi muito pequena. O emissor I-wob obteve resultado um pouco melhor, que pode ser explicado pelo tamanho de gota gerada, onde a perda por evaporação e arraste é menor do que em sistemas que geram gotas com diâmetro menor, motivo este também que explica o valor elevado dos emissores I-wob. Vale ressaltar que, segundo Heinemann et al. (1998) fatores operacionais como a pressão de serviço do emissor, a velocidade do pivô e a altura de instalação do emissor, também influenciam na uniformidade de distribuição.

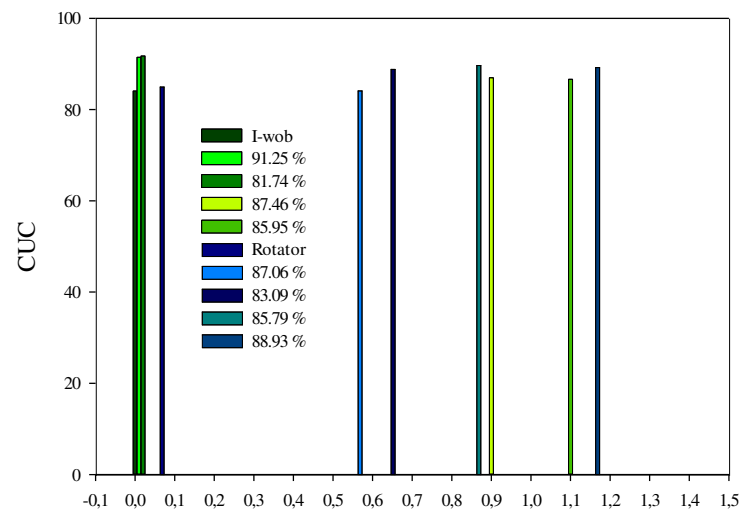
A variação da uniformidade de distribuição para os dois emissores esta ligada diretamente a fatores como a disposição da altura das mangueiras de descida das tubulações do pivô, que estavam irregulares, que influenciaram no volume coletado de água, outro ponto é a falta de tração do pneu quando submetido a passar na área em aclive e no aumento da velocidade da torre quando submetido a área em declive, gerando lâminas com diferentes valores, contribuindo para uma maior desuniformidade de distribuição e também no dimensionamento das cartas de aspersão de cada fabricante. A figura 9 mostra a relação de CUC com velocidade do vento.

Figura 9 - CUC em diferentes horários do dia ao longo do raio do pivô, (A) ativo, (B) nível, (C) declive, para os emissores I-wob e Rotator, em relação ao e vento

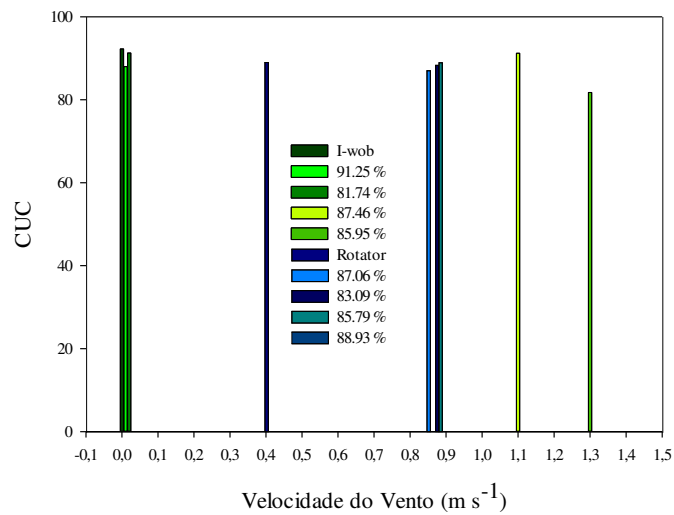
(A)



B)



C)



Fonte: Elaborada pelos autores.

Utilizando a ANOVA, podemos notar que o vento não está influenciando na uniformidade de distribuição (Tabela 3). Observa-se o valor de F calculado é menor que o F tabelado (exceto para o I-wob em aclave), a um nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicando que a variável independente (velocidade do vento) não exerce influência no CUC.

Tabela 3 - Valores de F da análise de variância para os emissores I-Wob e Rotator, considerando a posição da linha lateral, aclave, nível e declive

	Aclave		Nível		Declive	
	F calculado	F crítico	F calculado	F crítico	F calculado	F crítico
I-Wob	9,720319	5,317655	3,791444	5,317655	1,94539	5,317655
Rotator	0,194947	5,317655	1,349875	5,317655	0,454646	5,317655

Fonte: Elaborada pelos autores.

#### **4. CONCLUSÃO**

A velocidade do vento na área de estudo não afetou a uniformidade de distribuição de água com base nos valores de CUC, independente do horário do dia e dos desníveis geométricos do terreno para o sistema de pivô central de pequeno porte da fazenda Jatobá, mas outros fatores como umidade, umidade relativa do ar e temperatura podem interferir

Para trabalhos futuros indico a utilização de uma proveta com graduação bem definida, visto que a leitura pode influenciar na coleta de dados, podendo superestimar os valores de lâmina coletada.

## 5. REFERÊNCIAS

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Atlas de Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017, 86p.

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: III Inovagri International Meeting, Fortaleza, p. 2970–2980, 2015.

ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING). **Standard 436.1**. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. St. Joseph, Michigan, 1996. 8p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 14244): Equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, RJ, 1998. 11 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CARNEIRO, NEWTON; SEDIYAMA, GILBERTO C. Uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação em um sistema de irrigação do tipo pivô. **Revista Ceres**, v. 35, n. 201, p. 461–478, 1988.

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

COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; SILVA JÚNIOR, J. J. D.; SANT'ANA, J. A. D. V.; BESKOW, S.; NÖRENBERG, B. G. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste de sprays de placa oscilante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 719-726, 2015.

HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J.C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1491, 1998.

J. M.; JUAN, J. A. DE; ORTI, J. N. Characterisation of evaporation and drift losses with centre pivots. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1541-1546, 2009.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 eds. Atual. Viçosa-MG, Ed. UFV, p. 355, 2009.

OUAZAA, S. Effect of intra-irrigation meteorological variability on seasonal center-pivot irrigation performance and corn yield. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 201–214, 2016.

**LIMA, S.C.R.V. Avaliação hidráulica de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização.** Fortaleza: UFC, 2001 90 p. Dissertação de Mestrado.

**TARJUELO, J. M. M. B. El riego por aspersion y su tecnologia.** 1a Ed. Madrid: Mundi Prensa, 1994, 491p.

**VON BERNUTH, R.D. E BAIRD, D. Characterizing pressure regulator performance. Transactions of the ASAE, 33(1):145-50,1990.**