

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL NO NOROESTE PAULISTA**

IURI DA NÓBREGA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

ILHA SOLTEIRA- SP

JULHO - 2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA- CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL NO NOROESTE PAULISTA**

IURI DA NÓBREGA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia do Campus de Ilha
Solteira - UNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

ILHA SOLTEIRA- SP

JULHO - 2017

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre fizeram o maior esforço para que eu tivesse toda a tranquilidade para me dedicar aos estudos. Essa conquista é para eles que tendo começado a vida como trabalhadores rurais conseguiram formar um filho graduado nas ciências da terra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar sabedoria e saúde, e me guiar para os melhores caminhos.

Agradeço aos meus familiares em especial aos meus pais Milton e Vilma que não mediram esforços para alcançarmos essa conquista e ao meu irmão Yam que também se tornou um unespiano.

Agradeço aos meus companheiros da XLI Turma de Engenharia Agrônômica da Unesp-Ilha Solteira que são irmãos que a vida me deu.

Agradeço aos companheiros das repúblicas AMBEB E BO CUM FUMO pelos momentos de alegria que confraternizamos todos esses anos.

Agradeço as minhas companheiras Francione e Julia e toda a família que me trouxeram paz e tranquilidade nesse último ano me fortalecendo nos momentos difíceis e compartilhando alegrias.

Agradeço ao meu Amigo Guilherme Sobrinho que por estar na mesma situação que eu compartilhar as angustias e os medos dessa transição.

Agradeço aos companheiros de equipe da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira que sempre compartilharam conhecimento .

Agradeço ao Professor Fernando Braz Tangerino Hernandez pelo conhecimento transmitido, oportunidades, amizade e atenção.

Agradeço aos Engenheiros Agrônomos Mauro Takao Suzuki e Marcelo Mamoru Shimada da IRRIGATERRA, também ao Ricardo Maehashi da AGROPECUÁRIA NEBUYA, ao Vagner da ESTÂNCIA ALÉM DOS SONHOS e ao amigo Paulo Pissolito sem os quais eu não teria realizado este trabalho.

Agradeço à UNESP e ao corpo docente, e a sociedade do Estado de São Paulo que possibilitaram a minha formação.

Muito Obrigado a todos!

“PRO BRASILIA FIANT EXIMIA” do
latim: *Pelo Brasil faça-se o melhor”*-
extraído do brasão de armas do
Estado de São Paulo.

RESUMO

A avaliação do desempenho de sistemas de irrigação pivô central não é uma prática usual no manejo da agricultura irrigada. Esse fato faz com que o irrigante desconheça a lâmina real aplicada na cultura, visto que vários fatores influenciam na uniformidade da lâmina de irrigação. O pivô central foi escolhido para a execução desse estudo porque é o sistema de irrigação que vem se consolidando como a melhor alternativa para a irrigação de grandes áreas representando 44% das novas áreas irrigadas nos últimos anos. Contudo, esse equipamento demanda alto consumo de água e energia elétrica. Partindo desse pressuposto esse trabalho procurou avaliar sistemas de irrigação pivô central na Região Noroeste Paulista caracterizando a uniformidade de aplicação por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e do Coeficiente de Uniformidade e Distribuição, adaptados por Heermann e Hein (1968). A maioria dos equipamentos apresentaram coeficientes satisfatórios, no entanto, necessitam de vistorias periódicas, enquanto que apenas um equipamento apresentou os dois coeficientes considerados como ruins. A partir disso tenta-se elucidar para o irrigante que, mesmo mantendo produtividades e margens de lucro satisfatórias com baixas uniformidades, altos coeficientes de uniformidade podem aumentar a rentabilidade e o lucro na agricultura irrigada.

Palavras - chave: Lâmina. Coeficientes. Uniformidade.

ABSTRACT

The evaluation of the performance of central pivot irrigation systems is not a usual practice in the management of irrigated agriculture. This fact makes the irrigant unaware of the actual blade applied in the crop, since several factors influence the uniformity of the irrigation blade. The central pivot was chosen for the execution of this study because it is the irrigation system that has been consolidating as the best alternative for the irrigation of large areas representing 44% of the new irrigated areas in recent years. However, this equipment requires high consumption of water and electricity. Based on this assumption, this work sought to evaluate central pivot irrigation systems in the Northwest Paulista Region, characterizing the uniformity of application by means of the Christiansen Uniformity Coefficient and the Uniformity and Distribution Coefficient, adapted by Heermann and Hein (1968). Most of the equipment presented satisfactory coefficients, however, they need periodic surveys, whereas only one equipment presented the two coefficients considered as bad. From this it is tried to elucidate to the irrigant that, while maintaining satisfactory productivity and profit margins with low uniformities, high coefficients of uniformity can increase profitability and profit in irrigated agriculture.

Keywords: Blade. Coefficients. Uniformity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ficha técnica de pivô central avaliado.	18
Figura 2 - Montagem do ensaio.	20
Figura 3 - Disposição dos coletores no campo formando ângulo de 3°.	20
Figura 4 - Disposição dos coletores no campo formando ângulo de 3°.	21
Figura 5 - Ilustração do horímetros.	22
Figura 6 - Anemômetro utilizado para aferir a velocidade média do vento durante o teste.	22
Figura 7 - Pressão no centro do pivô (A) e no final do pivô (B) e amostra da lâmina aplicada (C).	23
Figura 8 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 237.	28
Figura 9 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 170.	28
Figura 10 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 186.	29
Figura 11 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 212.	29
Figura 12 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 131.	30
Figura 13 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 57.	30
Figura 14 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 269.	31
Figura 15 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 415.	31
Figura 16 - Perfil da lâmina coletada no equipamento 208.	32
Figura 17 - Erosão causada por escoamento superficial associado a compactação do solo.	33
Figura 18 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen em função do tempo de uso.	38
Figura 19 - Coeficiente de Uniformidade e Distribuição em função do tempo de uso.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação dos equipamentos, área, tempo de revolução, potência e pressão no ponto do pivô.....	16
Tabela 2 - Altura manométrica total (AMT), diferença de nível entre o centro do pivô e o ponto mais alto, vazão, lâmina líquida e lâmina bruta.	17
Tabela 3 - Fabricante, emissores, cultura e localização.	17
Tabela 4 - Classificação dos coeficientes de uniformidade.	25
Tabela 5 - Ajuste do percentímetro, tempo de irrigação, lâmina média ponderada, vazão, pressão no ponto central e no final da linha dos equipamentos avaliados.	34
Tabela 6 - Velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura, coeficientes de uniformidade e classificação.	35
Tabela 7 - Correlação entre os coeficientes de uniformidade e o tempo de uso dos equipamentos.	37
Tabela 8 - Produtividades (Kg/ha) na safra 2015/2016 nos pivôs centrais avaliados.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. DESENVOLVIMENTO	12
2.1 Métodos e Sistemas de Irrigação	12
2.2 Avaliação de sistemas de irrigação	12
2.3 Irrigação no Brasil	14
2.4 Irrigação no Noroeste Paulista	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Reconhecimento das áreas irrigadas por pivô central no Noroeste Paulista	16
3.2 Avaliação de desempenho	18
3.3 Coeficientes de uniformidade	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Dificuldades para a realização do trabalho	26
4.2 Lâminas coletadas	27
4.3 Parâmetros de desempenho	33
4.4 Análise estatística dos coeficientes de uniformidade em relação ao tempo de operação	37
4.5 Produtividades das áreas irrigadas	39
5. CONCLUSÕES	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A água é um insumo essencial para a produção de alimentos, fibras e energia por meio das atividades agrícolas. Nesse contexto ela atua no ciclo produtivo das espécies cultivadas sendo distribuída por meio de precipitações naturais, quase sempre desuniformes, ou por métodos desenvolvidos pelo homem caracterizando a técnica conhecida como irrigação, que se utilizada de forma adequada distribui uniformemente a água necessária à atividade maximizando a produção. Segundo o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (BRASIL, 2016), a irrigação consumiu 75% da vazão consumida total para demandas consuntivas, totalizando $912,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água.

A irrigação desempenha um papel fundamental na verticalização da produção agrícola brasileira proporcionando garantia de produtividade. Além disso, possibilita o aumento do número de safras por ano agrícola e o cultivo na entressafra, garante a produção diminuindo os riscos climáticos, melhora a qualidade dos produtos e atua como fator de desenvolvimento econômico por meio de seus efeitos multiplicadores (CSEI, 2002).

O Brasil possui uma área irrigada de apenas 6 milhões de hectares, entretanto, há uma área adicional para expansão de 75 milhões de hectares, dos quais 34 milhões não se justifica intervenção pública com incentivos ou subsídios para o desenvolvimento da agricultura irrigada (FEALQ, 2014). Segundo Tangerino et al. (2014) consolida-se a presença dos sistemas de irrigação do tipo pivô central representando 44% das novas áreas irrigadas.

De acordo com o Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014 (BRASIL, 2016), há 19.892 equipamentos desse tipo em funcionamento, totalizando uma área irrigada de 1,275 milhão de hectares. Na região Noroeste Paulista, Amendola (2016) identificou 202 equipamentos do tipo pivô central, perfazendo uma área de 13.331 hectares

A baixa uniformidade na distribuição de água causa desuniformidade no desenvolvimento da cultura, pois a falta de água em alguns locais da área irrigada prejudica a liberação de nutrientes ocasionando baixas produtividades, variação espacial das plantas e aumento dos custos de produção. Além disso, a ineficiência do sistema de irrigação pode ocasionar escoamento superficial ou percolação contaminando cursos d'água e o lençol freático com resíduos de insumos agrícolas.

Bernardo et al. (2008) consideram a uniformidade da irrigação um dos fatores mais importantes na operação desses sistemas, pois a desuniformidade gera áreas com déficit ou com excesso de umidade, sendo que altas uniformidades de distribuição estão relacionadas a um aumento nos custos de instalação, manutenção e operação dos sistemas.

Nos sistemas de irrigação a uniformidade de aplicação é avaliada por meio de coeficientes sendo os mais usuais o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942) e o Coeficiente de uniformidade de distribuição (MERRIAM & KELLER, 1978). Segundo Bernardo et al. (2008) a avaliação de pivôs centrais deve considerar a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição da água ao longo da linha lateral coletando as precipitações por meio de pluviômetros instalados ao longo de uma linha radial e espaçados de 4 a 6 metros.

De acordo com Heinemann et al. (1998), os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água são os climáticos, como a evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento e os fatores não climáticos, que são os relacionados ao equipamento de irrigação, como a pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral e altura do emissor.

A uniformidade de aplicação de água influencia na produtividade das culturas uma vez que uma região que recebe água em grande quantidade estará sujeita a lixiviação de nutrientes, baixa aeração no solo e escoamento superficial causando erosão. Enquanto que na região que recebe água em menores quantidades a cultura agrícola não terá o suporte hídrico necessário ao seu desenvolvimento.

Quando realizamos a quimigação o fator uniformidade deve ser levado em consideração com maior complexidade, pois compreende a distribuição de insumos de alto valor, sejam eles fertilizantes ou defensivos agrícolas, que se dispostos de modo desuniforme afetarão, além do rendimento da cultura, o custo de produção. Apesar de ser uma questão importante, o desempenho do sistema de irrigação é, muitas vezes, negligenciado pelos irrigantes que por obterem resultados econômicos satisfatórios, não dão a devida importância a esse assunto.

Uma das maneiras de se maximizar o desempenho de sistemas de irrigação pivô central é a utilização de acessórios que melhorem a performance dos equipamentos, tais como emissores com defletores e ranhuras, tubos de decida e reguladores de pressão. Este último, tem como função minimizar a variação de pressão nos emissores causada pelos acidentes topográficos e hidráulicos regulando a pressão de saída em uma faixa de pressão de saída e vazão.

De acordo com Lima et al. (2007) esse dispositivo funciona com um êmbolo que sendo empurrado por uma mola mantém-se no máximo de sua abertura, quando a pressão na água abaixo do regulador atuante na mola é menor que a do regulador a mola mantém o embolo aberto e a água passa com uma pequena perda de carga. Entretanto, quando a pressão é maior a mola fecha parcialmente o embolo aumentando a perda de carga até que a pressão seja igual a do regulador.

Dessa maneira, este estudo se propôs avaliar os indicadores de desempenho de sistemas de irrigação do tipo pivô central com diferentes idades de uso e a indicação de possível necessidade de redimensionamento do kit de irrigação visando a maximização da eficiência do uso da água pelos irrigantes na região Noroeste Paulista.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Métodos e Sistemas de Irrigação

Segundo Frizzone (2012), existem quatro métodos de irrigação: aspersão, localizada, superfície e subterrânea, estes são a forma como a água chega até a cultura, sendo a irrigação por aspersão e a localizada métodos de irrigação pressurizada. A escolha de um método de irrigação está condicionada às condições do meio, viabilidade técnica, econômica e ambiental, não existindo, portanto, o melhor método, mas sim o que melhor se adequa a essas variáveis (BERNARDO et al., 2008).

Os sistemas de irrigação compreendem o conjunto de equipamentos que permitem que a água chegue até a cultura irrigada. Dentre os sistemas de irrigação que merecem destaque está o pivô central, que mesmo não sendo o mais eficiente, quando bem manejado, possibilita altas produtividades, economia de mão de obra e a irrigação de grandes áreas. Amendola (2016), afirma que o pivô central possibilitou a automação do processo de irrigação, além disso, este equipamento permite irrigar grandes áreas com menor custo de implantação e dentre os sistemas existentes é o que oferece maior tecnologia embarcada.

Segundo Heinemann (1996) citado por Oliveira et al. (2004), muitos fatores podem influenciar a performance de um pivô central quando em operação e avaliações periódicas de seu desempenho e funcionamento, incluindo testes com o conjunto moto bomba, a rede de tubulação e a uniformidade dos emissores são importantes para que o pivô opere adequadamente e a cultura se desenvolva de forma uniforme.

2.2 Avaliação de sistemas de irrigação

De acordo com o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia, no ano base 2014 (EPE, 2015), a atividade agropecuária consumiu 26.725.740 kWh de energia elétrica. O setor da irrigação, especificamente, foi responsável por 55% (1.252,73 m³/s) da vazão retirada e por 75% (912,63 m³/s) da vazão consumida de água no país, levando em consideração as demandas consuntivas (BRASIL, 2016).

Segundo Feitosa (2010), aliado à expansão da irrigação observa-se um fator preocupante quanto ao manejo e ao uso eficiente dessa prática, pois muitos produtores podem estar irrigando de forma errada, promovendo a lixiviação de nutrientes e erosão laminar no caso da aspersão, além de estarem desperdiçando água e energia, e aumentando os custos de produção e diminuindo a produtividade, inviabilizando a agricultura irrigada. Portanto, o acompanhamento técnico não é necessário somente no projeto e na instalação do sistema, mas também no manejo e na avaliação do sistema, principalmente se este tem uma idade avançada.

Kincaid e Heermann (1970) afirmam que a baixa uniformidade de distribuição da água aplicada reduz a eficiência de aplicação o que pode conduzir a resultados insatisfatórios no manejo da irrigação. A uniformidade de aplicação consiste em um dos poucos parâmetros de desempenho da irrigação que os especialistas consideram importantes para averiguar o desempenho da irrigação, pois é associado à variabilidade da lâmina de água ao longo do terreno irrigado (REZENDE et al., 2002).

Bernardo et al. (2006) e Heinemann et al. (1998) afirmam que o objetivo do pivô central é distribuir água de forma uniforme e controlada na área irrigada, sendo um dos fatores mais importantes na operação, interferindo no consumo de energia, nos efeitos desfavoráveis sobre a produtividade por unidade de água aplicada e no meio ambiente. A lâmina ótima de irrigação é aquela que maximiza o lucro esperado e que varia de acordo com a uniformidade de aplicação e com a curva de rendimento da cultura (BRENNAN & CALDER 2006).

De acordo com Bernardo et al. (2006), a uniformidade de irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerado um dos fatores mais importantes na operação dos sistemas de irrigação. A determinação do coeficiente de uniformidade é o processo estatístico mais comum na avaliação de sistemas de irrigação (GOMIDE et al., 1980).

Christiansen (1942) propôs a quantificação da distribuição das precipitações que utiliza os desvios absolutos em relação à média, entretanto, essa equação foi modificada para ser aplicada nos sistemas pivô central. Heermann e Hein (1968) modificaram a equação ponderando as lâminas coletadas pela área representativa de cada coletor, pela distância do coletor ao ponto do pivô central.

Criddle et al. (1956) introduziram outro coeficiente levando em consideração a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada, essa medida é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição que foi recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos utilizando a média de 25% dos menores valores de lâminas de irrigação e a lâmina média a ser aplicada no solo. Zocoler et al. (2001) considera que os parâmetros que expressam a qualidade e desempenho da irrigação devem ser entendidos como decisórios no planejamento e operação dos sistemas de irrigação, pois, quando se aplica a lâmina de irrigação

necessária em uma área, sendo esta uma lâmina média, acarretará inevitavelmente o excesso de água em uma área e o déficit em outra.

Rezende et al (2002) afirma que a uniformidade afeta a eficiência dos sistemas de irrigação, a qual está relacionada com a quantidade de água necessária ao desenvolvimento e a produtividade do cultivo. Portanto, podemos considerar a uniformidade de aplicação de água pelos sistemas de irrigação uma exigência para a sustentabilidade da agricultura irrigada.

2.3 Irrigação no Brasil

Mesmo sendo uma técnica agrícola conhecida e explorada em civilizações antigas como Egito, Mesopotâmia e China, no Brasil a irrigação só começou a ser praticada em 1880 de forma indireta com a construção do reservatório Cadro no Rio Grande do Sul para irrigar as lavouras de arroz, no entanto, a operação efetiva só iniciou nos anos 1900. Contudo somente nas décadas de 1970 e 1980 que se instituiu uma política nacional para a agricultura irrigada com programas de incentivo que, embora não conseguiram atingir as metas planejadas, impulsionaram o desenvolvimento da agricultura irrigada no país (IICA, 2008).

Segundo dados da FAO (2012), o Brasil possui a nona maior área irrigada do mundo, atrás de Tailândia, México, Indonésia, Irã, Paquistão, Estados Unidos da América, Índia e China (BRASIL, 2016). Todavia existe um potencial a ser explorado de 75 milhões de hectares dos quais 14 milhões de hectares (18%) não há indicação de expansão da área irrigada, 35 milhões de hectares (45%) não se justifica a necessidade de intervenção pública com incentivos ou subsídios, e 27 milhões de hectares (36%) em que 21 milhões são de interesse pela iniciativa pública e 6 milhões na oportunidade de se promover desenvolvimento rural das regiões (FEALQ, 2014).

Apesar desse potencial, a irrigação no Brasil é considerada pequena quando comparada à área agrícola total, à extensão territorial e aos fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Entretanto, os incrementos anuais de área irrigada têm se mantido elevados nos últimos anos, indicando que esse potencial tem sido aproveitado sobre áreas significativamente maiores (BRASIL, 2016).

2.4 Irrigação no Noroeste Paulista

De acordo com o relatório Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil (FEALQ, 2014), a Região Sudeste apresenta a maior área irrigada do país totalizando 2.197.829 hectares, representando 36% da área irrigada no país. Segundo esse estudo

o Estado de São Paulo é o que mais irriga no país com uma área de 1.023.587 ha, representando 17% da área irrigada nacional.

Em se tratando de sistemas de irrigação pivô central, conforme o Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014 (BRASIL, 2016) realizado pela Agência Nacional de Águas, 47% das áreas irrigadas por esse equipamento estão na Região Sudeste totalizando 595.547 ha, dos quais 179.828 hectares estão em São Paulo representados por 4.025 equipamentos com uma área média de 44,7 hectares por pivô.

Segundo dados da Embrapa (2013), 14% da área ocupada por pivô central no Brasil está no Estado de São Paulo o que significa 168.674 hectares irrigados por 3.528 equipamentos. Hernandez et al. (2014) citando CSEI - ABIMAQ (2014) afirma que o sistema de irrigação pivô central representou 44% das novas áreas irrigadas e segundo a Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação- CSEI- ABIMAQ em 2014 e 2015 foram incorporados 102.000 e 78.000 hectares, respectivamente.

De acordo com Amendola (2016), a região Noroeste Paulista possui 202 equipamentos do tipo pivô central irrigando 13.331 hectares em 2015, sendo que no ano 2000 existiam 86 equipamentos irrigando 6.800 hectares. Esses dados demonstram que houve um aumento de 134% no número de equipamentos e 96% na área irrigada na região, portanto, há um número considerável de equipamentos de diferentes idades em uso.

Conforme dados do Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014 (BRASIL, 2016) realizado pela Agência Nacional de Águas a região Noroeste Paulista há 15.765 hectares irrigados por 304 equipamentos pivô central.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Reconhecimento das áreas irrigadas por pivô central no Noroeste Paulista

Nesse estudo, avaliou-se sistemas pivô central localizados nas bacias hidrográficas do Turvo/Grande, São José dos Dourados, Paraná (limitando se ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira), Baixo Tietê (margem esquerda) e Aguapeí. Mais precisamente em propriedades agrícolas localizadas nos municípios de Cosmorama, Parisi, Palestina, Riolândia, Glicério, Rubiácea e Ilha Solteira.

As Tabelas 1, 2 e 3 listam as características técnicas obtidas a partir das fichas técnicas dos sistemas avaliados, tais como, área, tempo de revolução, potência, pressão no ponto do pivô, número de horas de funcionamento (Horímetro), altura manométrica total (AMT), diferença de nível entre o centro do pivô e o ponto mais alto (DN), vazão, lâmina líquida (LL), lâmina bruta (LB), fabricante, emissores, fabricante de emissores, cultura, município. Os sistemas estão identificados com o número de ordem presente no banco de dados relacional da agricultura irrigada no Noroeste Paulista da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira.

Tabela 1 - Identificação dos equipamentos, área, tempo de revolução, potência e pressão no ponto do pivô.

Nº de ordem	Área (ha)	Tempo de Revolução a 100% (horas)	Potência (cv)	Pressão no ponto do pivô (kgf/cm ²)	Horímetro (horas)
237	79	11	150	5,6	9016
170	49	9	150	6,4	9009
186	24	-	-	-	17907
212	40	8	75	3,0	5006
131	50	9	75	3,3	18000
57	122	30	250	8,1	19546
269	54	13	125	4,1	5249
415	16	5	75	4,0	643
208	67	10	100	4,1	8606
Média	56	12	125	4,8	10331

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os dados do sistema com numero de ordem 186 não foram apresentados, pois não foi encontrada a ficha técnica do equipamento.

Tabela 2 - Altura manométrica total (AMT), diferença de nível entre o centro do pivô e o ponto mais alto (DN), vazão, lâmina líquida (LL) e lâmina bruta (LB).

Nº de ordem	AMT (mca)	DN (mca)	Vazão (m³/h)	LL (mm/dia)	LB (mm/dia)
237	87	12	296	8	9
170	92	34	267	10	12
186	-	-	-	-	-
212	81	2	163	8	10
131	73	12	146	6	7
57	150	13	348	5	6
269	98	10	219	7	8
415	71	5	186	20	24
208	72	11	248	8	9
Média	91	12	234	9	11

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 3 - Fabricante, emissores, cultura e localização.

Nº de ordem	Fabricante	Emissores	Fabricante de emissores	Cultura	Localização
237	Valmont	Super spray	Senninger	Tomate e Grãos	Palestina-SP
170	Valmont	Super spray	Senninger	Tomate e Grãos	Palestina-SP
186	Cielt	Super spray	Senninger	Milho Silagem	Parisi-SP
212	Valmont	Super spray	Senninger	Tomate e Grãos	Cosmorama-SP
131	Valmont	Super spray	Senninger	Tomate e Grãos	Cosmorama-SP
57	Carborundum	Spray	Fabrimar	Tomate e Grãos	Riolândia-SP
269	Desconhecido	Spray	Fabrimar	Tomate e Milho	Glicério-SP
415	Lindsay	i-Wob	Senninger	Pimenta e Grãos	Rubiácea-SP
208	Valmont	Super spray	Senninger	Grãos	Ilha Solteia-SP

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 1 ilustra uma das fichas técnicas obtidas junto aos irrigantes e que mostra os dados de projeto do equipamento.

Figura 1- Ficha técnica de pivô central avaliado.

Asima
Sistemas de Irrigação

Proj.: 1405/08CC

Pág.: 1

Cliente: [REDACTED]

DADOS TÉCNICOS DO PIVÔ CENTRAL VALLEY

- 1) Precipitação**
Lâmina Bruta Diária.....: 9,00 mm/dia (24,0 horas/dia)
- 2) Descrição e Dados Técnicos do PIVÔ:**
Modelo.....: 4871 - 8000 - V&A / 3 - 1,09% - Altura: Standard - 2,74m
Composição: 6 lances longo 8,5/8"; 2 lances Médio 6,5/8"
Com baseado de 20m, canhão final com alcance de 32m.
Aspersores: Super Spray, com tubo de cascata flexível
Área circular irrigada: 66,52 ha
Período (rele a 100%): 2,45 horas
Vazão total.....: 249,45 m³/h
Compr. até a ult. torre: 425,41 m
Raio total irrigado.....: 476,29 m
Motorreductores em Alta.....: 5
Dimensionado p/ Bomba Injetora de Fertilizantes: Sim
- 3) Adutoras:**
Trecho 1: 1 Tubulação de PVC PH 80 de 200 mm de diâmetro com 140 m de comprimento
Perda de carga (x 100m).....: 1,3368
Perda de carga na tubulação...: 2,2355
Trecho 2: 1 Tubulação de PVC PH 60 de 200 mm de diâmetro com 492 m de comprimento
Perda de carga (x 100m).....: 1,5313
Perda de carga na tubulação...: 7,3369
Comprimento Total da Adutora: 632m Perda de carga total: 9,7724 mca
- 4) Composição da soto-bomba:**
4.1) Cálculo da altura total
Pressão no final da tubulação: 12,00 mca
Desn. entre CENTRO DO PIVÔ e PTO.MAIS ALTO: 11,99 m
Perda Friccional no Tubo do Pivô: 3,54 m
Altura dos Aspersores: 41,25 m
Pressão no ponto do Pivô (manômetro): 16,00 m
Desnível entre a MOTOBOMBA e o CENTRO DO PIVÔ: 9,77 mca
Perdas na ADUTORA: 0,50 mca
Altura máxima de SUÇÃO PREVISTA: 5,00 mca
Perdas LOCALIZADAS: 71,99 mca
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL: 16,00 m
Desnível entre CENTRO DO PIVÔ e PONTO MAIS BAIXO: 16,00 m
- 4.2) Dados da(s) Bomba(s)**
1 Bomba centrífuga
KSB
MEGANORM 125-400
Estágios: 1
Diâmetro: 393,00 mm
Pot. Elxo: 93,06 cv
Consumo: 76,89 Kw
Npsh disponível do local de instalação do projeto:
- 4.3) Dados do(s) Motor(es)**
1 Motor
WEG
Elétrico, trifásico
380 volts, 100 cv
1750 rpm

Rotação: 1750 rpm
Vazão: 249,40 m³/h
Pressão: 75,00 mca
Rend.: 74,50 %
Pot. max.: 101,37 cv
Npsh req: 2,60 mca
Npsh do projeto: 5,72 mca

Observação: VER BOMBA SUBMERSA PARA A SUÇÃO

UNESP Ilha Solteira

Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

3.2. Avaliação de desempenho

Após a irrigação, diferentes pontos da área irrigada podem receber água em quantidades diferentes. De acordo com Fizzone (1992) citado por Oliveira et al. (2004) a variabilidade da quantidade de água aplicada pelo equipamento é obtida por coeficientes adimensionais comparados a partir da média das lâminas coletadas. No caso da aspersão, esta variação é influenciada pela variação da pressão, incidência de ventos, distância entre emissores e obstruções ou danos aos bocais.

Existem diferentes coeficientes utilizados para caracterizar a uniformidade de aplicação da lâmina de um sistema de irrigação. Contudo os mais utilizados são o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942) e o Coeficiente de Uniformidade e Distribuição (CRIDDLE et al., 1956), esses coeficientes foram adaptados, afim de se aferir a uniformidade de aplicação do sistema pivô central, por Heermann e Hein (1968), pois neste

sistema que irriga áreas circulares, há de se aumentar a vazão a partir do ponto do pivô em busca da menor variação de precipitação na área irrigada.

Para coletar as lâminas aplicadas pelos sistemas avaliados e caracterizar a uniformidade os ensaios foram realizados de acordo com a norma ABNT: NBR 14244 (ABNT, 1998). Para tanto em cada equipamento avaliado procurou-se utilizar o ajuste no percentímetro de acordo com a rotina de trabalho da propriedade.

Na realização dos testes no campo foram dispostas duas linhas radiais de coletores locadas com o auxílio de uma trena formando um ângulo de 3° entre elas. Para ajustar as linhas foi calculada a distância entre os coletores ao longo do raio do equipamento utilizando a lei dos cossenos.

Os coletores em cada linha radial foram alocados com um espaçamento de 5 metros entre si. O ângulo de 3° formado entre as duas linhas radiais de coletores minimiza os efeitos do deslocamento do equipamento sobre a coleta.

Um pivô central se desloca por desalinhamento das torres, sendo a última torre responsável por comandar esse processo. Há um sistema de segurança que deve ser acionado desligando o equipamento quando a diferença angular entre duas torres for 3° .

Portanto, ao utilizar duas linhas radiais de coletores formando um ângulo de 3° são coletadas lâminas no máximo desvio entre torres devido deslocamento que o equipamento pode apresentar. Para a melhor otimização na realização de um ensaio desse tipo, o ideal é que quatro pessoas participem da operação.

As figuras 2, 3, e 4 ilustram a montagem e a execução dos ensaios em campo.

Figura 2 - Montagem do ensaio.



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Figura 3 - Disposição dos coletores no campo formando ângulo de 3°.



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Figura 4 - Disposição dos coletores no campo formando ângulo de 3°.



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Para a realização do teste foi utilizado o kit de avaliação de sistemas de irrigação por aspersão da Fabrimar, composto por coletores, hastes, e provetas. As hastes foram fincadas ao solo para que os coletores ficassem a uma altura de 60 centímetros do solo.

Os coletores foram numerados em ordem crescente a partir do ponto central do pivô, e a lâmina foi coletada de acordo com a duração dos testes de precipitação que variou conforme o ajuste do relé percentual dos equipamentos. Além disso, foram aferidas as pressões no centro e no final do equipamento utilizando manômetros, a velocidade do vento utilizando um anemômetro, a temperatura média e a umidade relativa do ar utilizando termômetro digital, e a velocidade da última torre por meio da distância percorrida em 16 metros em função do tempo para realizar esse percurso.

As figuras 5, 6, 7 e 8 ilustram os painéis dos equipamentos, a aferição da velocidade média do vento, das pressões no centro e no final do equipamento e a coleta da lâmina nos coletores, respectivamente.

Figura 5 - Ilustração do horímetros.

(A)



(B)



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Figura 6- Anemômetro utilizado para aferir a velocidade média do vento durante o teste.



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Figura 7- Pressão no centro do pivô (A) e no final do pivô (B) e amostra da lâmina aplicada (C).

(A)



(B)



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

(C)



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

3.3. Coeficientes de uniformidade

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen adaptado por Heermann e Hein (1968) para o sistema pivô central leva em consideração a disposição radial dos coletores, sendo assim cada coletor representa uma área irrigada em relação ao centro do pivô. Portanto, a lâmina média coletada é ponderada conforme a distância do coletor do centro do equipamento.

Expressão utilizada para calcular o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen adaptado por Heermann e Hein (1968):

$$CUC_H = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left[Di - \frac{\sum_{i=1}^n (DiSi)}{\sum_{i=1}^n S_i} \right]}{\sum_{i=1}^n (DiSi)} \right\} \text{ (Equação 1)}$$

Onde: Di = lâmina coletada no ponto i em milímetros; Si = distância do centro do pivô ao ponto i em metros e n = número de coletores instalados para o teste.

O Coeficiente de Uniformidade e Distribuição também foi adaptado por Heermann e Hein (1968) para caracterizar a uniformidade em pivô central. Para o cálculo desse coeficiente é necessário o ordenamento das lâminas médias coletadas, sendo assim utiliza-se a média ponderada do menor quartil desses valores pela razão da média ponderada das lâminas coletadas, representando, dessa maneira, as diferentes áreas irrigadas em relação ao centro do pivô.

Expressão utilizada para calcular o Coeficiente de Uniformidade e Distribuição adaptado por Heermann e Hein (1968):

$$CUD_H = 100 \left\{ \frac{\left[\frac{\sum_{i=p}^q (DiSi)}{\sum_{i=p}^q S_i} \right]}{\frac{\sum_{i=1}^n (DiSi)}{\sum_{i=1}^n S_i}} \right\} \text{ (Equação 2)}$$

Onde: p = primeiro elemento da série ordenada crescente de lâminas coletadas; q = elemento do menor quartil da série ordenada crescente de lâminas coletadas e n = número de coletores instalados para o teste.

Os coeficientes adaptados por Heermann e Hein (1968) podem receber a denominação de Coeficiente de Uniformidade Radial, no caso do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, e Uniformidade e Distribuição Radial referindo-se ao Coeficiente de Uniformidade e Distribuição, conforme propuseram Keller e Bliesner (1990) citados por Oliveira et al. (2004).

A classificação do CUC_H e do CUD_H foi feita de acordo com a norma estabelecida pela ABNT: NBR 14244 (ABNT, 1998), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos coeficientes de uniformidade.

CUC_H	CUD_H	Classificação
<80	<70	Ruim
80 a 84	70 a 74	Regular
85 a 89	75 a 81	Boa
>90	>82	Muito boa

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Além desses coeficientes foram estabelecidas a lâmina líquida média coletada e o tempo de revolução do equipamento, a partir das lâminas coletadas e da velocidade de deslocamento da última torre.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dificuldades para a realização do trabalho

No planejamento inicial deste trabalho foram identificados, por meio de imagens de satélite, sistemas de irrigação pivô central com diferentes idades de implantação. Isso possibilitaria considerar a hipótese inicial de que a uniformidade de distribuição e as lâminas líquidas teriam influência negativa do tempo de operação dos sistemas de irrigação.

No entanto, no decorrer do trabalho começaram a aparecer as primeiras dificuldades para a execução do estudo. Essas dificuldades mudaram todo o planejamento para a execução do trabalho, e, portanto, acabou afetando a hipótese inicial.

Para realizar as avaliações de desempenho é imprescindível que se tenha a anuência do dono ou responsável pelo equipamento. Para tanto, é necessário um contato inicial com o irrigante o que é dificultado pelo fato deste não residir no estabelecimento rural, o que geralmente impossibilita um contato direto.

Outro fato a se destacar é que o irrigante não percebe a importância de conhecer o desempenho do sistema de irrigação devido ao fato de obter uma margem de lucro satisfatória com a atividade exercida. Portanto, para se executar uma avaliação do sistema os irrigantes precisavam ser convencidos de que mensurar a uniformidade poderia aumentar a sua margem de lucro a partir da identificação dos gargalos do sistema. Além disso, o ensaio de precipitação para se avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação deve ser realizado no período diurno. No entanto, a maioria dos irrigantes realiza a irrigação no período noturno, pois gozam de descontos na tarifa energética para realizar a operação nesse turno.

Esses fatos inviabilizaram a execução dos trabalhos no entorno de Ilha Solteira devido ao fato de apenas um irrigante de todos os que foram contatados viabilizar a execução do ensaio. A partir disso, se estabeleceu uma parceria com uma empresa de consultoria da região que nos aproximou de seus serviços de avaliação de pivô central para produtores de tomate, que necessitam de laudos técnicos de uniformidade de aplicação de água para obter um bônus junto a empresa processadora do produto.

Isso resultou na avaliação de equipamentos que se localizavam a mais de 200 km da localidade na qual se planejou executar o trabalho. No entanto, esse problema acarretou em uma maior responsabilidade na execução dos testes, vide que a partir dos resultados foram gerados laudos a respeito do desempenho dos sistemas de irrigação avaliados.

4.2. Lâminas coletadas

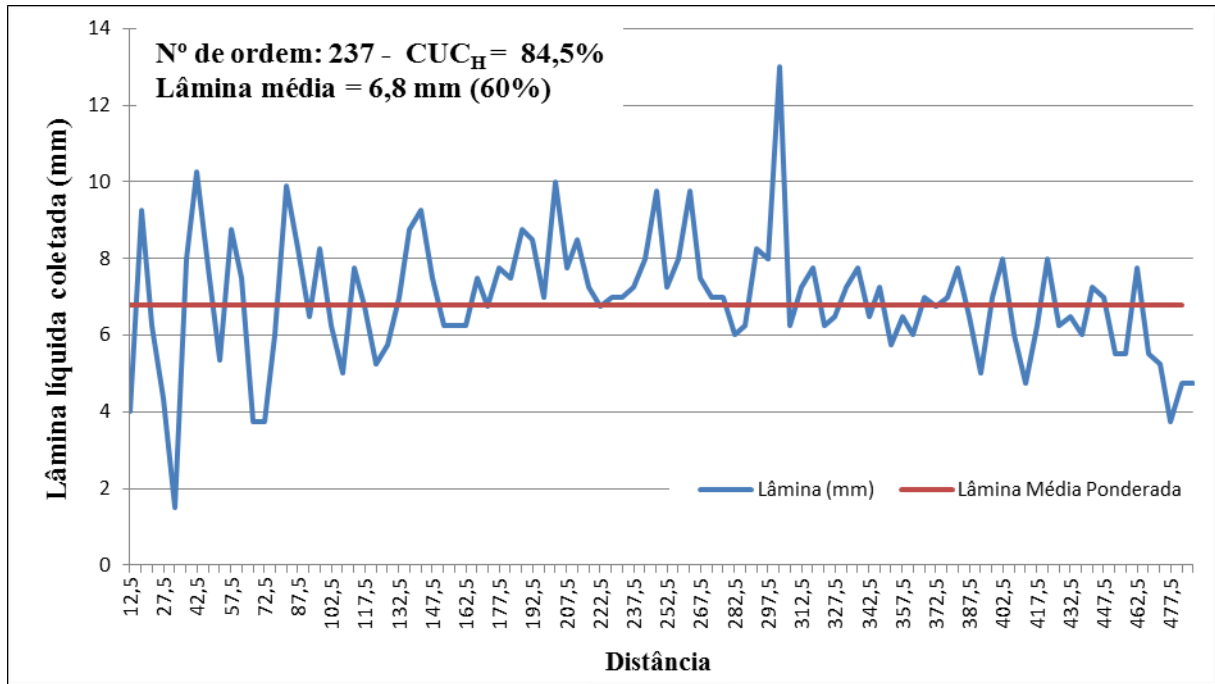
Para se maximizar a produção utilizando o sistema de irrigação pivô central é necessário que a lâmina aplicada seja uniforme para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, dessa forma o irrigante estará realizando o manejo correto da irrigação. No entanto, esses quesitos são negligenciados pelos irrigantes que, por terem uma margem de lucro satisfatória, não dão a atenção necessária a esses elementos.

Uniformidade de aplicação também é uma condição prévia para as operações de quimigação (HERNANDEZ, 1994), na qual a fertirrigação é a prática mais usual e incentivada não apenas pelas vantagens econômicas (KANEKO et al., 2012).

Oliveira et al. (2014) explicam que lâminas totalmente uniformes não são possíveis na irrigação por aspersão, especialmente em pivô central que pode irrigar grandes áreas com diferentes desníveis, devido a fatores relacionados ao dimensionamento do equipamento, condições climáticas e manejo da irrigação. Entretanto, isso pode ser minimizado com o correto dimensionamento do sistema, no caso do pivô central é possível conter esses danos utilizando reguladores de pressão adequados, modelos de emissores que proporcionam melhor paridade na aplicação da lâmina e ajuste adequado na altura dos emissores.

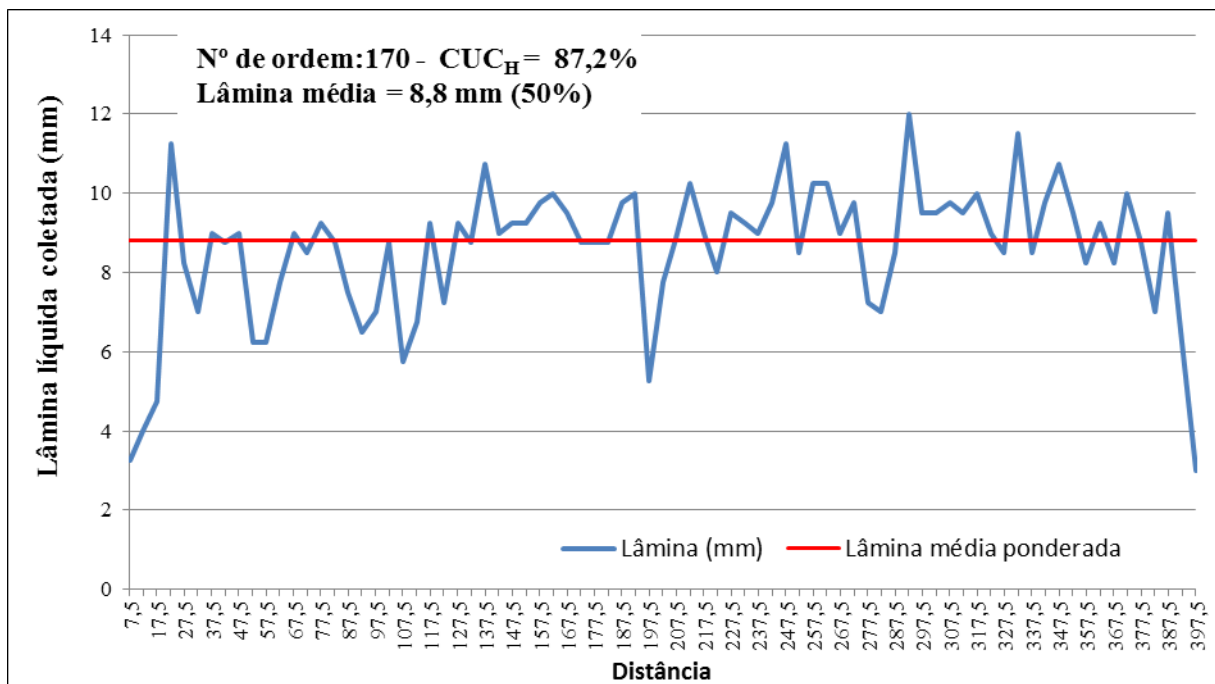
A partir desse raciocínio foram elaborados gráficos ilustrados nas figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 com o perfil de distribuição de água ao longo do raio dos equipamentos avaliados levando em consideração a lâmina média coletada a partir do primeiro conjunto de coletores amostrais e a lâmina média ponderada em relação à distância do centro do pivô.

Figura 8- Perfil da lâmina coletada no equipamento 237.



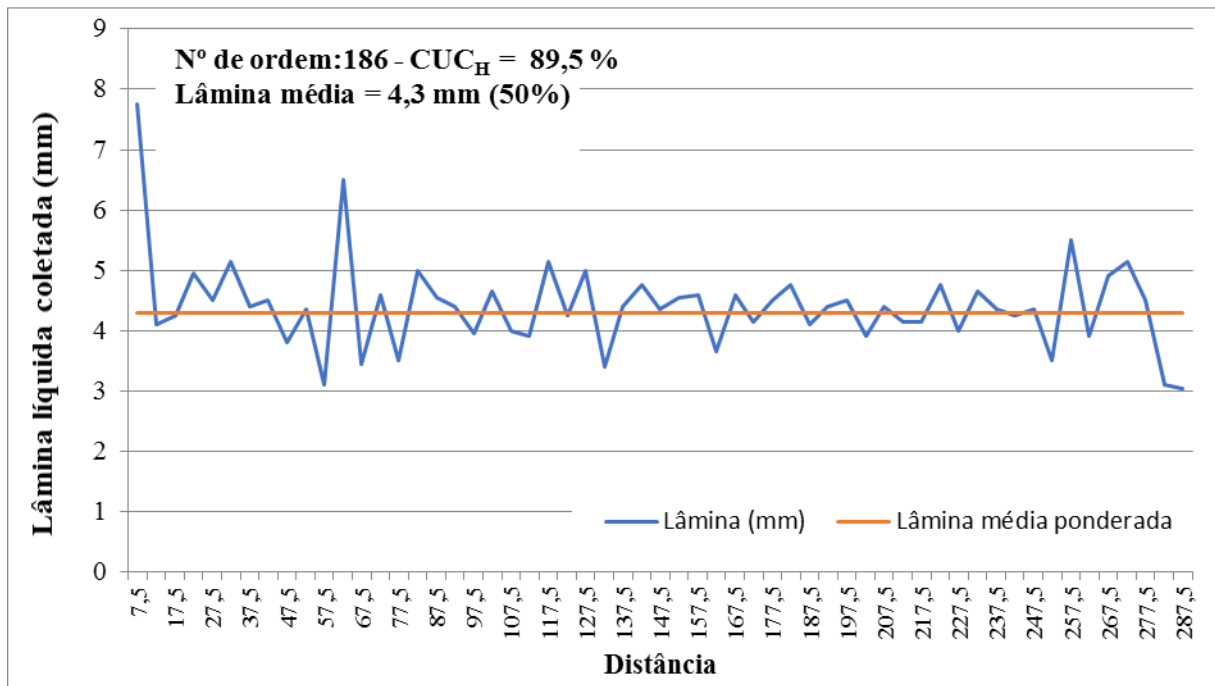
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 9- Perfil da lâmina coletada no equipamento 170.



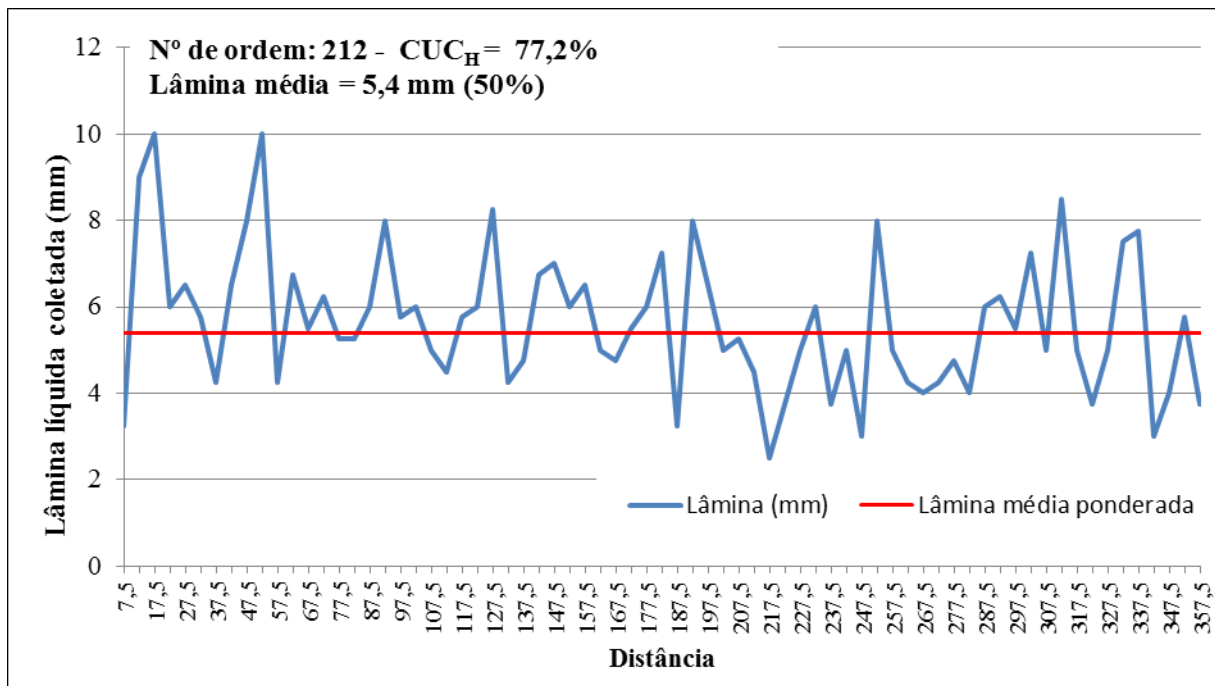
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 10- Perfil da lâmina coletada no equipamento 186.



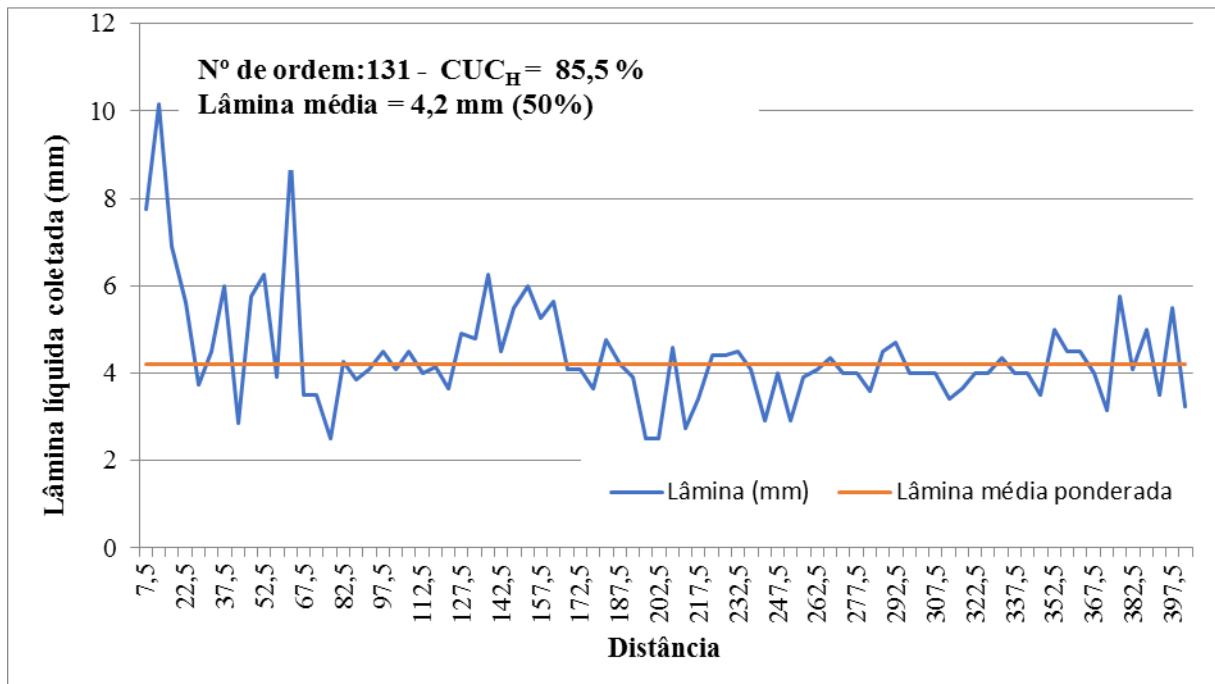
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 11- Perfil da lâmina coletada no equipamento 212.



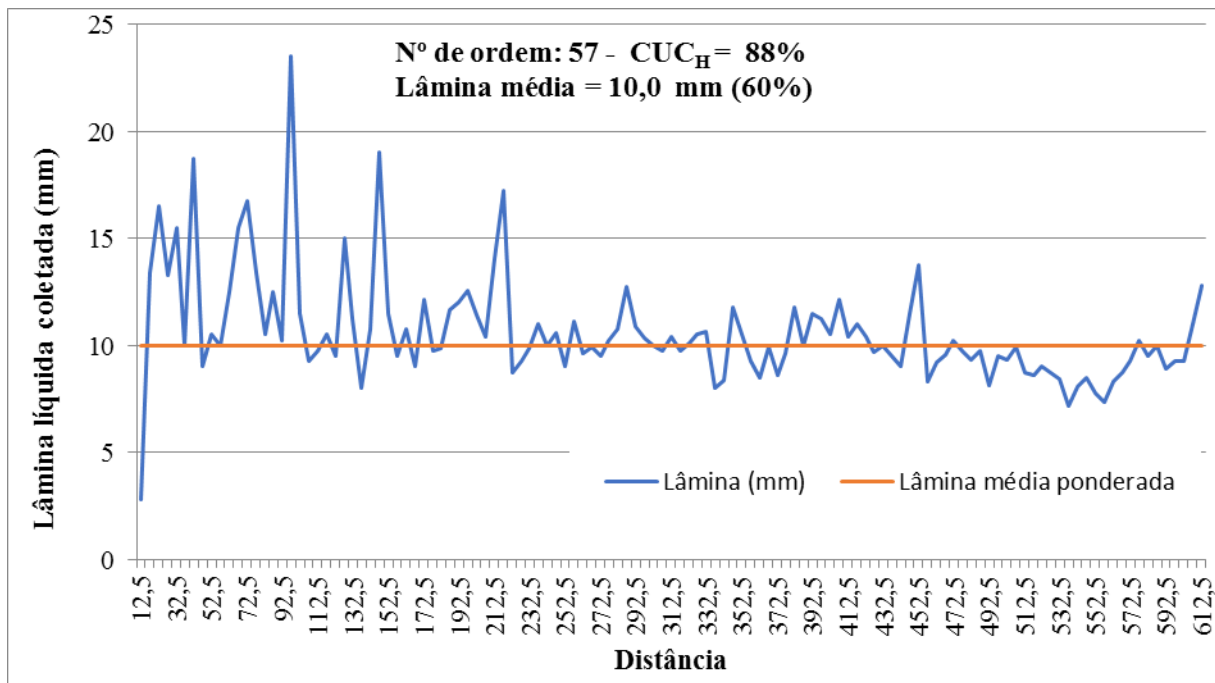
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 12- Perfil da lâmina coletada no equipamento 131.



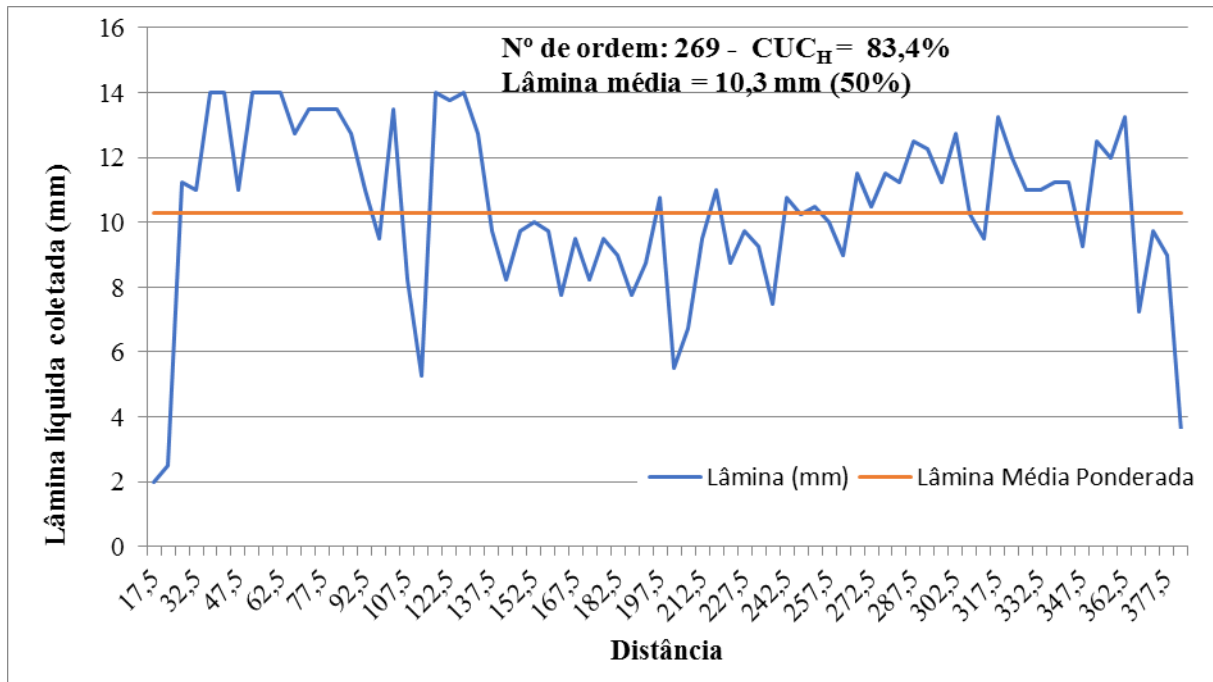
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 13- Perfil da lâmina coletada no equipamento 57.



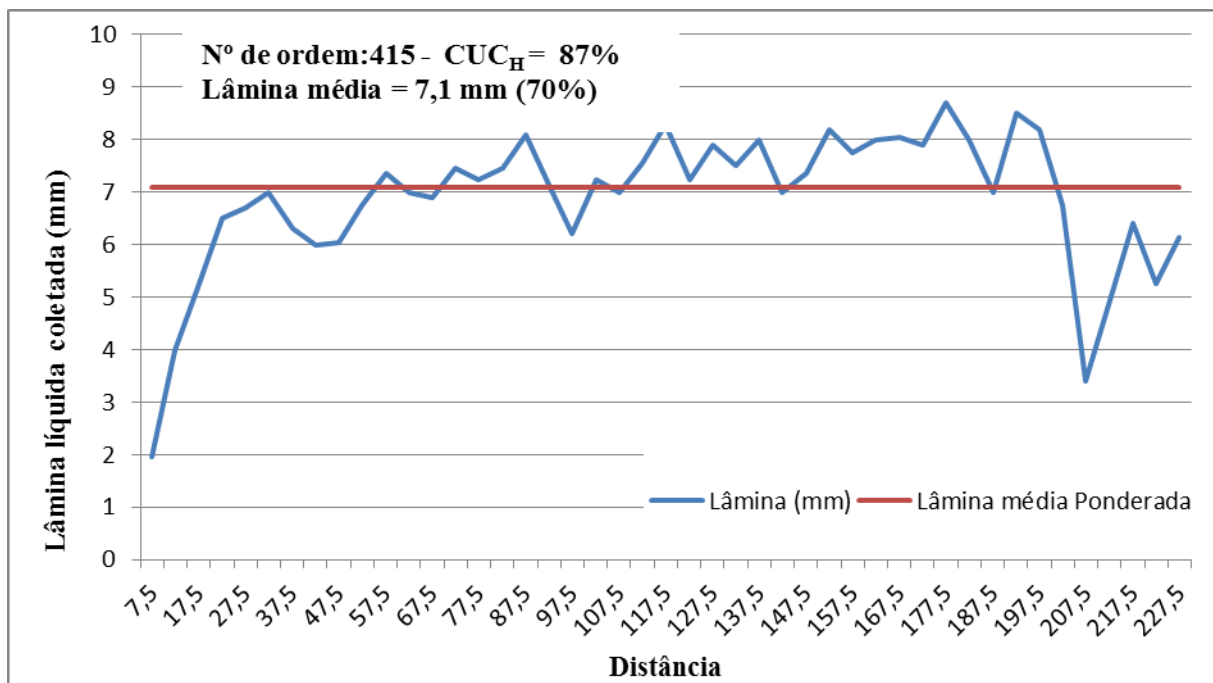
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 14- Perfil da lâmina coletada no equipamento 269.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura15- Perfil da lâmina coletada no equipamento 415.

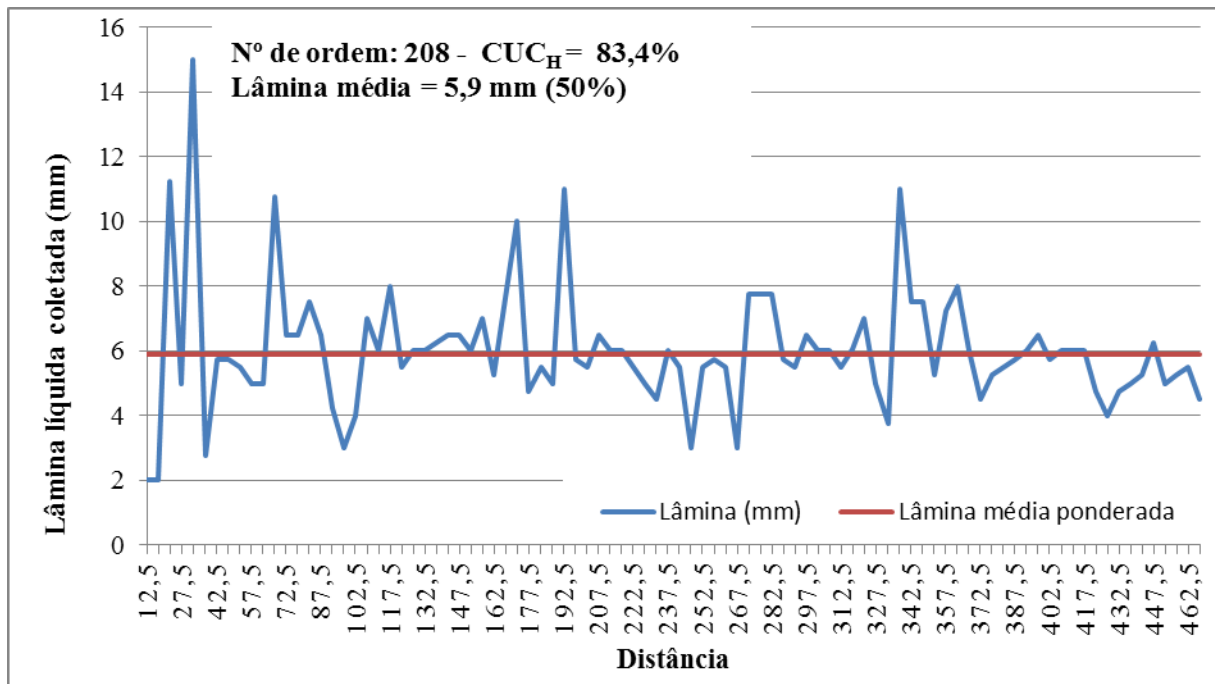


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Deve-se lembrar ao analisar os perfis das lâminas que na maioria dos sistemas de irrigação pivô central existirá uma desuniformidade no início do equipamento. Portanto, por

norma o avaliador pode descartar os 12% iniciais do raio irrigado.

Figura 16- Perfil da lâmina coletada no equipamento 208.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Isso se deve ao fato da área de influência do emissor ser muito pequena nessa região do equipamento o que incide na necessidade do uso de bocais com diâmetros menores, portanto, esses primeiros outlets são plugados, ou seja, tampados. Outro fator em que se faz necessário plugar os outlets é manter a área de controle do pivô (ponto do pivô) seca para a adequada movimentação de veículos e máquinas agrícolas.

Analisando os perfis das lâminas médias coletadas pode-se observar alterações abruptas representadas por picos nos gráficos. Essas alterações ocorrem, principalmente pelo fato do pivô central ser um equipamento de grande porte, e irrigar áreas com diferenças topográficas vencendo aclives e declives alterando a pressão na tubulação provocando desuniformidade na taxa de aplicação de cada aspersor.

De acordo com Kranz (2007) as alterações de pressão resultam em variações na vazão e excesso de aplicação de água pelos emissores. As causas mais comuns para a ocorrência dessas alterações na pressão incluem alterações topográficas ou na altura dos emissores.

Durante a realização dos testes foram observadas erosões causadas por escoamentos superficiais de água aliados a compactação do solo, ilustradas na figura 17. As variações na pressão que alteram a vazão e aplicam excesso de água podem ser a possível causa desse escoamento superficial.

Figura 17- Erosão causada por escoamento superficial associado a compactação do solo.



Fonte: Fotografia realizada pelo autor.

Para minimizar essas alterações na distribuição da lâmina de água são utilizadas válvulas reguladoras de pressão. Conforme Lima et al (2007) esse dispositivo consiste em uma estrutura com uma mola que mantém um êmbolo em sua máxima abertura quando a pressão atuante sobre ela é menor que a pressão do regulador, no caso da pressão atuante sobre a mola for maior que a pressão do regulador o êmbolo se fecha parcialmente aumentando a perda de carga localizada e estabilizando a pressão.

Possivelmente, os picos nos gráficos indicam falhas nas válvulas reguladoras de pressão que devem ser substituídas por novos acessórios desse tipo. Os valores abaixo da lâmina média nos gráficos, provavelmente representam problemas nos emissores, tais como entupimentos, diferenças de bocais, e danos dos mais diversos tipos.

4.3. Parâmetros de desempenho

A partir das lâminas coletadas foram calculados o CUC_H e o CUD_H , cujos valores são apresentados na Tabela 6 junto a velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura e a classificação da uniformidade conforme os coeficientes obtidos. A vazão, o tempo de irrigação, a lâmina média ponderada, a pressão no ponto do pivô e no final da linha e o ajuste do percentímetro são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Ajuste do percentímetro, tempo de irrigação, lâmina média ponderada, vazão, pressão no ponto central e no final da linha dos equipamentos avaliados.

Nº de ordem	Ajuste do percentímetro (%)	Tempo de revolução (hora)	Lâmina média ponderada (mm)	Vazão (m ³ .h-1)	Pressão no centro do pivô (kgf/cm ²)	Pressão no final da linha (kgf/cm ²)
Va237	60	20	6,8	254	3	1,2
170	50	18	8,8	248	4	0,7
186	50	19	4,3	57	3,8	3,3
212	50	15	5,4	143	2,8	0,5
131	50	14	4,2	145	3,3	1,1
57	60	35	10	337	6,8	1,1
269	50	28	10	169	3,5	1,3
415	70	6	7,1	186	2,7	2,0
208	50	20	5,9	202	4,5	-
Média	-	-	-	-	3,8	1,6

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Esses resultados foram obtidos a partir dos valores da lâmina média coletada, do ajuste do percentímetro e do tempo de revolução.

A lâmina média a 100% para os pivôs avaliados foi de 3,8 mm, enquanto que a média para a lâmina diária foi de 9 mm para o tempo de operação de 21 horas. Para o equipamento 237 a lâmina líquida a 100% foi de 4 mm e de 7,1 mm para a lâmina diária.

O equipamento 170 a lâmina a 100% foi de 4,4 mm e 10,3 mm para lâmina diária, enquanto o equipamento 186 apresentou uma lâmina líquida de 2,1 mm e 4,8 mm de lâmina diária. Os equipamentos 212 e 131 apresentaram lâmina líquida de 2,7 e 2,1 mm e lâmina diária de 7,6 e 6,3 mm, respectivamente.

O equipamento 57 apresentou lâmina líquida de 6 mm e lâmina diária de 6 mm o que demonstra que o equipamento leva 21 horas para dar uma volta a 100, caracterizando-se como um equipamento de grande porte. O pivô 269 apresentou lâmina líquida de 5 mm e lâmina diária de 7,5 mm.

Caracterizando-se como um equipamento de pequeno porte o pivô 415 apresentou lâmina diária de 24,9 mm e lâmina líquida de 4,9 mm. Enquanto que o equipamento 208 apresentou lâmina líquida de 2,9 mm e lâmina diária de 6,2 mm.

Os dados climáticos dos equipamentos 237 e 170 não foram obtidos, porque no momento do teste não se dispunha das ferramentas para aferir esses eventos. Também não foi possível mensurar a pressão no final do equipamento 208, pois o proprietário não permitiu que se ligasse o equipamento para realizar esse teste.

Considerando as características de projeto é possível observar as variações em

relação às características atuais para os dados de vazão e pressão no centro do pivô. No equipamento 217 obteve-se uma variação de 14% na vazão e 46% na pressão, já no equipamento 170 a variação foi de 7% na vazão e 37% para a pressão.

Tabela 6 - Velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura, coeficientes de uniformidade e classificação.

Nº de ordem	Velocidade média do vento (m/s)	UR (%)	Temperatura (°C)	CUC _H (%)	Classificação CUC _H	CUD _H (%)	Classificação CUD _H
237	-	-	-	84,5	Regular	76,6	Boa
170	-	-	-	87,2	Boa	70,5	Ruim
186	2,4	47	33,5	89,5	Boa	83,1	Muito boa
212	1,3	51	33,0	77,2	Ruim	69,8	Ruim
131	2,3	49	34	85,5	Boa	77,7	Regular
57	0,0	-	27,5	88,0	Boa	80,6	Boa
269	2,5	40	31,0	83,4	Regular	71,3	Regular
415	0,9	61	32	87	Boa	73,2	Regular
208	0,3	68	23,7	83,4	Regular	74,8	Regular
Média	1,4	45	30,6	85	-	75,3	-

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação ao equipamento 186 não foi possível estabelecer essas relações, pois se trata de um equipamento redimensionado e a ficha técnica com os dados de projeto não foi encontrada. Enquanto que no equipamento 212 a variação de vazão foi de 12% e de pressão no centro foi de 15%.

No equipamento 131 a variação de vazão foi de 0,7% e não foi encontrada variação na pressão no ponto central, o que explica a baixa variação na vazão. O equipamento 57 apresentou variação na vazão de 3% e na pressão no centro de 16%.

O equipamento 269 teve uma variação de vazão de 23% e na pressão no centro foi de 14%. No equipamento 415 não houve variação na vazão, enquanto a variação de pressão no centro foi de 32%. Por fim, o equipamento 208 apresentou variação de 18% e 9% para vazão e pressão no ponto do pivô, respectivamente.

A partir disso pode-se afirmar que uma baixa variação de pressão atual com a pressão de projeto acarreta em baixa variação na vazão atual comparada a de projeto. Portanto, a pressão atua na vazão do sistema, o que justifica a utilização de válvulas reguladoras de pressão.

As variações de pressão entre o centro do pivô e o final do equipamento foram de 60% para o pivô 237, 82% para o pivô 170, 13% para o pivô 186, 82% para o pivô 212, 66% para o pivô 131, 83% para o pivô 57, 63% para o equipamento 269 e 26% para o equipamento 415. Os equipamentos que apresentaram variação de pressão entre o centro do pivô e o final da linha maior que 80% tiveram ao menos um dos coeficientes de uniformidade classificados como

ruins como era o caso dos pivôs 170 e 212, a exceção é o equipamento 57 que é de grande porte, portanto já é esperada uma grande variação na pressão, enquanto os equipamentos 186 e 415 apresentam baixa variação na pressão por serem de pequeno porte.

Os pivôs 237, 269 e 208 foram classificados como regulares, segundo o CUC_H e segundo o CUD_H com exceção do pivô 237 que teve classificação boa, conforme o CUD_H . Enquanto os equipamentos 170, 186, 131, 57 e 415 foram classificados como bons conforme o CUC_H .

De acordo com o CUD_H , os pivôs 170, 186, 131, 57 e 415 obtiveram classificação ruim, muito boa, regular, boa e regular, respectivamente. Observamos que, o equipamento 170 apresenta uma boa classificação quanto ao CUC_H e uma classificação ruim quanto ao CUD_H , isso ocorre porque o equipamento apresentou valores muito baixos de lâmina em seu menor quartil, em relação à média ponderada das lâminas coletadas, além do fato de incorrer alta variação de pressão entre o ponto inicial e o final da linha do pivô, portanto, esse equipamento deve passar por uma inspeção em seus emissores, para que se possa identificar entupimentos ou danos nos bocais e por uma verificação de sua adequada pressurização, pois é utilizado para quimigação, o que aumenta a exigência de melhor uniformidade.

Verificou-se que o equipamento 212 obteve uma classificação ruim tanto para CUC_H , quanto para CUD_H o que torna necessário o redimensionamento do kit de aspersão com substituição de emissores e válvulas reguladoras de pressão. Principalmente destas últimas, pois, como podemos observar na Figura 11, ocorrem muitas variações abruptas na distribuição das lâminas demonstradas por picos no gráfico.

Os equipamentos 269 e 208 foram classificados como regulares tanto no CUC_H , quanto no CUD_H , o primeiro apresenta muitas variações como pode ser observado na Figura 14 aparentando uma necessária substituição dos acessórios em alguns pontos. O equipamento 208 aparenta falhas nas válvulas reguladoras de pressão em alguns pontos e problemas nos emissores, no entanto, essas falhas são em menor quantidade, contudo, esse equipamento é utilizado para quimigação necessitando de uma melhor uniformidade na aplicação.

Conforme Oliveira et al. (2004), os coeficientes obtidos em testes isolados como esse devem ser interpretados com ressalva, pois se referem a uma única velocidade de rotação e a um único raio irrigado. Valores de coeficientes obtidos por meio de testes com diferentes condições climáticas e velocidades de rotação caracterizam melhor a uniformidade do sistema.

Cabe observar que a velocidade média do vento foi acima de 2 m.s^{-1} nos testes realizados nos equipamentos 186, 131 e 269. O que pode ter influenciado nos resultados obtidos nos coeficientes.

O destaque fica para os equipamentos 131, 57, 237, 186 e 415 que obtiveram

classificações com critérios positivos caracterizados pelos coeficientes de uniformidade. No entanto, devem ser inspecionados periodicamente, e se necessário devem ser feitos reparos como a substituição dos acessórios que melhorem a uniformidade.

4.4. Análise estatística dos coeficientes de uniformidade em relação ao tempo de operação

Considerando os nove pivôs avaliados com tempo de operação média de 10300 horas buscou-se estabelecer as correlações entre os tempos de uso e indicadores de desempenho.

Inicialmente foram calculadas a Correlação de Pearson entre os parâmetros, após isso foi realizado o teste “t” de Student ao nível de 5% para verificar a significância entre as correlações e a probabilidade dos testes. Foi obtida significância apenas para a correlação entre o CUD_H e o tempo de uso dos equipamentos.

Cabe lembrar que alguns equipamentos podem ter sido redimensionados no decorrer da sua vida de trabalho. Contudo, os irrigantes não souberam informar com quantas horas de operação os equipamentos estavam quando do redimensionamento.

Os resultados das análises estatísticas se encontram na Tabela 7.

Tabela 7 - Correlação entre os coeficientes de uniformidade e o tempo de uso dos equipamentos.

Correlações	CUC_H x Tempo de uso (horas)	CUD_H x Tempo de uso (horas)
Valores de r	0,50	0,82
Teste t de Student	1,53	3,78
Probabilidade do teste	0,161	0,004
Significância	Não significativo	Significativo

Fonte: Elaboração do próprio autor.

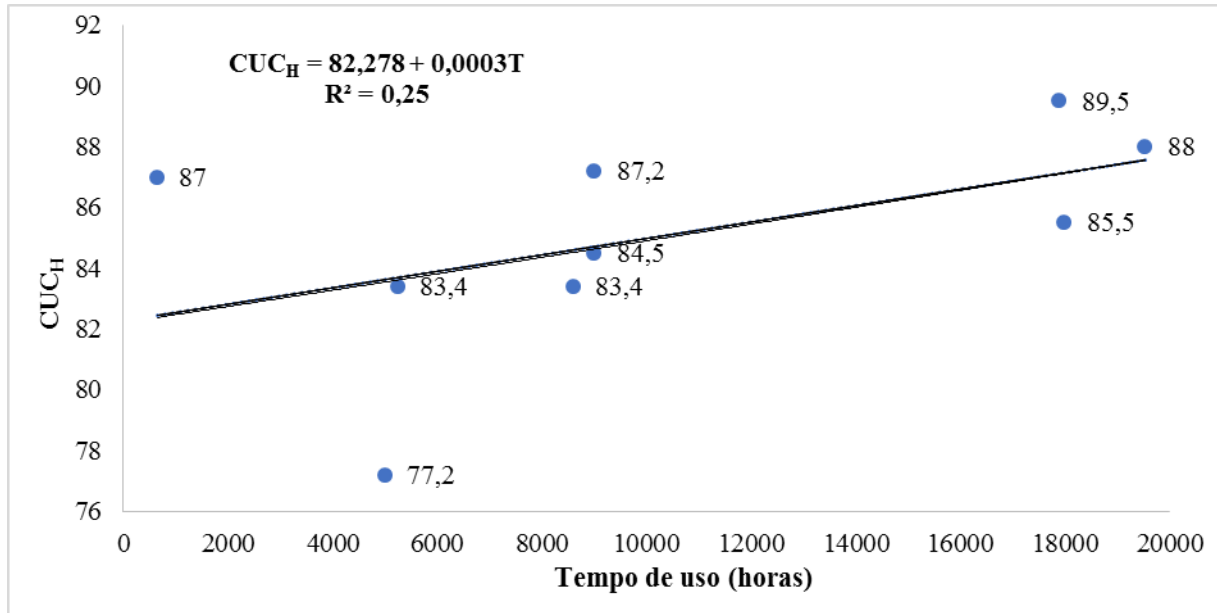
Portanto, pode-se dizer que existe uma relação de associação de 50% entre o CUC_H e o tempo de uso do equipamento em horas, no entanto, o teste “t” de Student se mostrou não significativo para a correlação entre esses parâmetros. Para o CUD_H obteve-se uma associação de 82% em relação ao tempo de uso do equipamento em horas, e para esses parâmetros o teste “t” de Student foi significativo.

Foram ajustadas equações de regressão linear e plotados gráficos de dispersão dos valores de CUC_H e CUD_H em função do tempo de uso dos equipamentos. Embora o teste de significância tenha sido não significativo para o CUC_H em relação ao tempo de uso, apresentou-se mesmo assim a equação de regressão linear e o gráfico de dispersão para esses parâmetros afim de mostrar o comportamento dos dados.

Os valores do CUC_H e do tempo de uso em horas dos equipamentos foram plotados

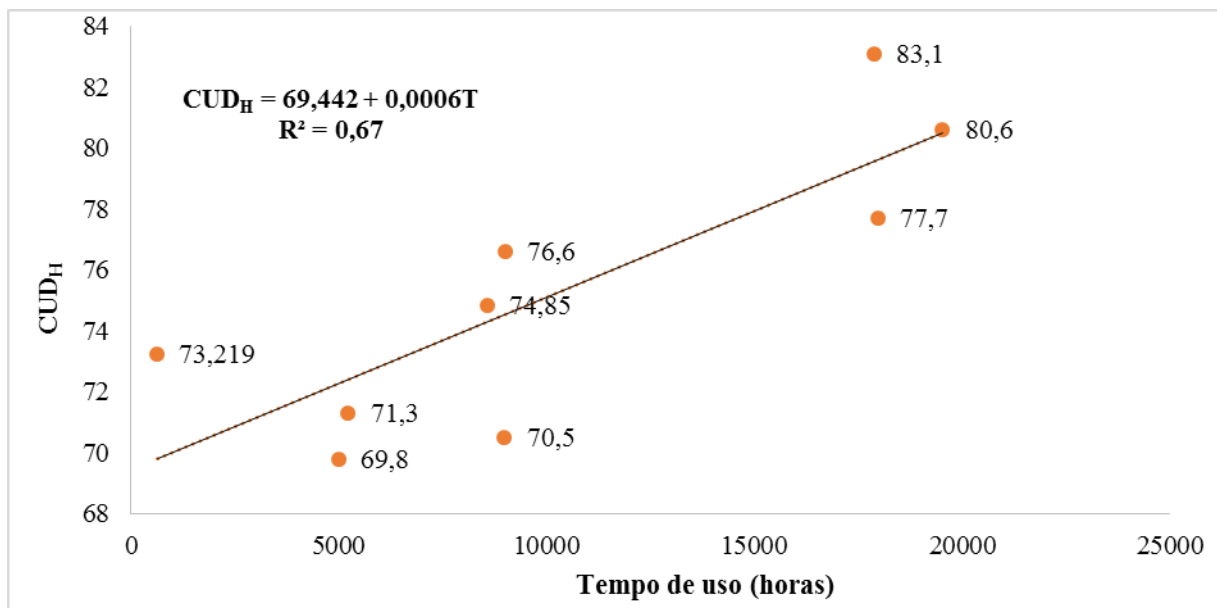
no gráfico da Figura 18. Analisando o gráfico vemos que apenas 25% da variação do CUC_H está relacionada ao tempo de uso dos equipamentos.

Figura 18- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen em função do tempo de uso.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 19- Coeficiente de Uniformidade e Distribuição em função do tempo de uso.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Isso pode ser explicado por fatores como a troca do kit de aspersão, que independente do número de horas de operação do sistema, poderia aumentar a uniformidade dos equipamentos. Portanto, uma equação de regressão com melhor ajuste poderia ser obtida a partir do CUC_H em função do tempo de uso do kit de aspersores levando em consideração que para o cálculo do CUC_H são utilizados todos os valores da lâmina coletada.

Em contrapartida, em análise do gráfico da Figura 19 nota-se que 67% da variação dos valores do CUD_H estão relacionados ao tempo de uso dos equipamentos. A partir desse ajuste da equação de regressão obtemos maior precisão para estimar o CUD_H em função do tempo de uso dos equipamentos.

Contudo, podemos observar que os equipamentos com menor tempo de uso apresentaram valores baixos para o CUD_H . Isso pode nos levar ao pensamento que equipamentos mais novos apresentaram menor uniformidade em relação aos equipamentos mais velhos.

No entanto, devemos nos atentar para o fato de que para o cálculo do CUD_H não se utiliza todos os valores amostrais da lâmina coletada. O que mostra que o menor quartil das lâminas coletadas é a parcela que tem maior relação com o tempo de uso dos equipamentos.

Todavia, esse parâmetro não se manifesta de forma significativa no CUC_H , no qual, para o cálculo utiliza-se todos os valores de lâmina, o que torna esse parâmetro mais eficiente para a caracterização da uniformidade.

4.5. Produtividades das áreas irrigadas

As produtividades das áreas irrigadas por pivô central presentes nesse estudo referem-se à última safra realizada anteriormente a avaliação e foram obtidas em entrevistas com os irrigantes, sendo, portanto, não uma avaliação e sim, uma informação em que acreditamos ser verdadeira para a elaboração desse trabalho e os dados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Produtividades (Kg/ha) na safra 2015/2016 nos pivôs centrais avaliados.

Nº de Ordem	Milho Silagem	Milho Grão	Feijão	Soja	Tomate
237	-	10165	2975	-	-
170	-	10165	2975	-	-
186	37500	9917	-	-	-
212	-	10413	2231	3900	95000
131	-	11157	2479	4200	110000
57	-	10200	2700	4500	90000
269	40000	-	-	-	80000
415	-	-	-	-	-
208	-	9669	2355	4029	-
Média	38.750	10.241	2.619	4.081	93.750

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme as Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo,

Ano Agrícola 2015/2016 (IEA-SP,2016) realizada pelo Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo, a previsão de produtividade de tomate era de 81.844 Kg/ha, de Milho 9.617 Kg/ha, de Soja 3859 Kg/ha e de Feijão 2.001 Kg/ha. A partir desses dados pode-se caracterizar as produtividades das principais culturas produzidas pelos irrigantes na região Noroeste Paulista.

Observa-se que até mesmo os equipamentos com menores coeficientes de uniformidade e classificados como ruins apresentam produtividades acima da média estimada para o estado. Isso corrobora para a afirmação de que mesmo utilizando sistemas de irrigação com coeficientes de uniformidade abaixo do desejável, os irrigantes conseguem atingir boas produtividades ocasionando em margens de lucro satisfatórias.

Cabe ressaltar que a irrigação é um trato cultural que de fato garante a produtividade das culturas, mas não dispensa a boa execução das demais operações de tratos culturais como a adubação e o trato fitossanitário. Estes, também podem ser realizados por meio da quimigação necessitando, portanto, da máxima uniformidade possível do sistema de irrigação.

Além disso, o correto manejo da irrigação, dispondo de avaliações periódicas dos sistemas e manejo via solo ou atmosfera possibilita ao irrigante aplicar a lâmina que mais se aproxima da evapotranspiração das culturas possibilitando uma melhor alocação dos recursos. Ainda, a avaliação dos sistemas pode auxiliar no controle de um dos custos que mais incide sobre a agricultura irrigada, a energia elétrica, por meio do combate de desperdícios e vazamentos e assim levar o irrigante a obter margens de lucro ainda mais satisfatórias que compensem o investimento em consultorias.

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos e o contexto da execução do trabalho conclui-se que:

- O difícil contato inicial com os irrigantes e o convencimento de que é importante avaliar o sistema para se conhecer a uniformidade, além da execução diurna do ensaio de precipitação são fatores que, muitas vezes, impossibilitam a execução da avaliação de sistemas de irrigação.
- Variações abruptas na aplicação da lâmina são ocasionadas pelo mau funcionamento das válvulas reguladoras de pressão que inserem perda de carga localizada nos outlets conferindo aos emissores a mesma vazão. O não funcionamento da válvula reguladora de pressão pode ocasionar em aplicação excessiva de água no solo causando escoamento superficial.
- Comparando-se as características de projeto e atuais para os itens pressão e vazão conclui-se que uma baixa variação de pressão atual comparada a de projeto acarreta em uma baixa variação de pressão atual comparada a de projeto. Portanto a pressão atua na vazão o que justifica o uso das válvulas reguladoras de pressão.
- O equipamento 212 apresentou classificações ruins para os coeficientes de uniformidade, sendo necessária uma verificação da necessidade do redimensionamento do kit de aspersão. Enquanto os equipamentos 237, 131, 57, 186 e 415 obtiveram classificações positivas quanto ao coeficiente de uniformidade.
- Obteve-se correlação significativa entre o CUD_H e o tempo de uso dos equipamentos, o que mostra que o menor quartil das lâminas coletadas é a parcela que tem maior relação com o tempo de uso dos equipamentos. Contudo, esse comportamento não se manifestou no CUC_H , que leva em consideração todos os valores de lâmina na execução de seu cálculo.
- Os equipamentos com menores coeficientes de uniformidade e classificados como ruins apresentam produtividades acima da média estimada para o estado. O que fortalece a afirmação de que mesmo utilizando sistemas de irrigação com coeficientes de uniformidade abaixo do desejável, os irrigantes conseguem atingir boas produtividades ocasionando em margens de lucro satisfatórias, o que os faz não dar importância para este critério que se bem observado aumentaria ainda mais a margem de lucro.
- Equações de regressão e correlações com melhores coeficientes e significância poderiam ser obtidas a partir do CUC_H e do CUD_H em função do tempo de uso do kit de aspersores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AMENDOLA, E. C. **Evolução da Agricultura Irrigada por pivô central no Noroeste Paulista**. 2016. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.

BERNARDO, S.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Impr. Univ. UFV, 2006. 611p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual da irrigação**. 2008. Viçosa - MG. Editora UFV. 625 p.

BRASIL. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente (Ed.). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2016**. Brasília: Ana, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014: Relatório síntese**. Brasília: Ana, 2016.

BRENNAN, D.; CALDER, T. **The economics of sprinkler irrigation uniformity: A case study of lettuce on the Swan Coastal plain**, CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship. 2006. p33.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. **California Agricultural Experimental Station Bulletin**, Berkeley, n. 670, 1-124, 1942.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHUCKELY, D. G. **Methods for evaluation irrigation systems**. Washington, USDA, 1956.24p. (Agricultural Handbook, 82).

CSEI - ABIMAQ. **Atualização da área irrigada no Brasil**. São Paulo: Abimaq, 2014.

CSEI - ABIMAQ. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas: Unicamp, 2002.

EMBRAPA. **Mapeamento da Agricultura Irrigada do Brasil por Pivôs Centrais - 2013**. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/mapas-sobre-irrigacao>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

FEALQ. Ministério da Integração Nacional. **ANÁLISE TERRITORIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL**. Piracicaba: Fealq, 2014.

FEITOSA, D. G. **DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO COQUEIRO NO NOROESTE PAULISTA**. 2010. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

FRIZZONE, J. A. **OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO**. Piracicaba: Esalq - Usp, 2012. 32 slides, color.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53 p. (Série Didática, 3).

GIACOMONI, M. H.; MENDES, C. A. B. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 33-42, 2008.

GOMIDE, R. L.; BERNARDO, S.; VIEIRA, M.; SEDUYAMA, G. C. Análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. **Revista Ceres**, v.27, n.153, p.457-470, 1980.

HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. Performance characteristics of self propelled center pivot sprinkler irrigation system. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-15, 1968.

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.

HEINEMANN, A. B. **Influência do espaçamento entre coletores, do número de linhas radiais e altura do emissor no Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para pivô central**. 1996. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidades da fertirrigação. In: Simpósio Brasileiro sobre Fertilizantes Fluidos, 1994. Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ, CENA; POTAFOS, 1994. p. 215-25.

IICA. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Brasília: Esperança, 2008. 132 p.

KANEKO, F. H.; HERNANDEZ, F. B. T.; SHIMADA, M. M. & FERREIRA, J. P. Estudo de caso - Análise econômica da fertirrigação e adubação tratorizada em pivos centrais considerando a cultura do milho. Dourados: **Revista Agrarian**, 5:161-165, 2012.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KINCAID, D. C., HEERMANN, D. F. Pressure distribution on a center pivot sprinkler irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, n. 13, V. 11, p. 558, 1970.

KRANZ, W. L.; IRMAK, S.; MARTIN, D. L.; and YONTS, C. D. Flow control devices for center pivot irrigation systems. **NebGuide G888**. UNL Extension Division. 2007

LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, M. A. R.; GOMES, A. W. A. Comportamento de Reguladores de Pressão para Pivô Central Após

Modificação Interna. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p.9-14, jun. 2007.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. 3 ed. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 285 p.

OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, C. A. Avaliação do Desempenho de Pivôs Central na Região Oeste da Bahia. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 2, p.126-135, maio 2004.

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

SÃO PAULO. Instituto de Economia Agrícola. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2015/16**. 2016. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14040>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

TANGERINO, F. B.; FERREIRA, M. I.; HIDALGO, M. A. M.; PLAYÁN, E.; CALVO, I. P.; SINOBAS, L. R.; TARJUELO, J. M.; SERRALHEIRO, R. Visión del regadío. **Ingeniería del Agua**, Valência, v. 1, n. 18, p.39-53, ago. 2014.

ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J. A.; VANZELA, L. S. **Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30. 2001. Foz de Iguaçu. Irrigação: trabalhos. Foz de Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.