

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
UM PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

LUCAS HOHENBERGER

ALEGRETE - RS

**Alegrete, RS, Brasil
2016**

AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS

Lucas Hohenberger

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Rita Costenaro Parizi

ALEGRETE - RS

Alegrete, RS, Brasil
2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
Pelo (a) autor (a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

H717a Hohenberger, Lucas

AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
UM PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS / Lucas
Hohenberger.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AGRÍCOLA,
2016.

"Orientação: Ana Rita Costenaro Parizi".

1. Coeficiente de Uniformidade de Chirstiansen. 2.
Coeficiente de Uniformidade de Hart. 3. Coeficiente de
Uniformidade Estatístico. 4. Coeficiente de
Uniformidade de Distribuição. 5. Eficiência de
Aplicação. I. Título.

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola**

A comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso II

**Avaliação de uniformidade de distribuição de água em um pivô central no
município de Alegrete-RS**

elaborado por
Lucas Hohenberger

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA

Ana Rita Costenaro Parizi, Dr^a
(Orientadora - Unipampa)

Ana Carla dos Santos Gomes, Dr^a
(Co - Orientadora, IF Farroupilha)

Elton Pilar Medeiros
(IF Farroupilha)

Alegrete, 06 de Julho de 2016

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus, pela fé que me mantém vivo e de cabeça erguida, aos meus pais Donisete e Isabel, por investirem nos meus estudos e acreditarem no meu potencial. A minha noiva pela compreensão nas horas que não pude estar presente e pelo apoio. Aos professores pelas orientações dadas e pelo apoio a este trabalho.

“Não creio que haja uma emoção, mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando. Essa emoção faz você esquecer de comer, de dormir, de tudo”

Nikola Tesla

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso II

Curso de Engenharia Agrícola

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil

Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS

Autor: Lucas Hohenberger

Orientadora: Ana Rita Costenaro Parizi, Dr^a

Co – Orientadora: Ana Carla dos Santos Gomes, Dr^a

Alegrete, 06 de Julho de 2016.

Com a alta competitividade do setor agrícola, cada vez se torna mais necessário o uso da irrigação para tornar as práticas de cultivo rentáveis. Os sistemas de irrigação apresentam uma vida útil elevada, logo, deve-se considerar os custos de energia e manutenção dos equipamentos. A utilização da água de forma inadequada, devido a dimensionamentos deficientes e a falta de manutenção dos mesmos contribuem para as deficiências dos equipamentos, que necessitam de avaliação constante para se verificar sua eficiência e identificar possíveis falhas e soluções. Diante disso, busca-se identificar, através de coeficientes de uniformidade, possíveis problemas na aplicação de água em sistema de irrigação através de pivô central. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação de sistemas de irrigação tipo pivô central, no município de Alegrete-RS, visando otimizar o desempenho do sistema. Foram avaliados quatro tipos de coeficientes de uniformidade, os mais conhecidos e utilizados na literatura, que são: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) e o Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH). Outro parâmetro importante que foi determinado foi a eficiência de aplicação (Ea). Assim como a velocidade de deslocamento do sistema que foi de 4 m/min e a área total irrigada do sistema, que foi de 55,41 hectares. Além da plotagem de um mapa com os equipamentos avaliados. Com este estudo observou-se que o sistema de irrigação está operando com uma boa uniformidade de distribuição de água, apesar da lâmina calculada pela vazão do sistema ser maior que a lâmina coletada. Os valores

encontrados para os coeficientes de uniformidade demonstram que o equipamento apresenta bom desempenho, mas para o CUH e o CUE tiveram uma baixa eficiência. Deste modo foi possível apresentar ao produtor, desta área, quais são as condições de funcionamento de seu sistema de irrigação, afim de que o mesmo possa tomar as medidas necessárias para as melhorias em seu sistema. A eficiência de aplicação apresentou um bom desempenho, ficando com 80,7% de eficiência.

Palavras-Chave: eficiência, coeficientes, irrigação.

ABSTRACT

Conclusion of course work

Course of Agricultural Engineering

Federal Institute of Education, Science and Technology Farroupilha, RS, Brazil

Federal University of Pampa, RS, Brazil

EVALUATION OF UNIFORMITY OF WATER DISTRIBUTION IN ONE CENTER PIVOT IN THE CITY OF ALEGRETE RS

Author: Lucas hohenberger

Adviser: Ana Rita Costenaro Parizi

Alegrete, July 06, 2016.

With the high competitiveness of the agricultural sector, it is becoming more necessary to use irrigation to make profitable farming practices. Irrigation systems have a long service life, so one must consider the energy costs and maintenance of equipment. The use of improperly water, because of poor sizing and lack of maintenance of them contribute to the shortcomings of equipment that require constant evaluation to verify their efficiency and identify possible faults and solutions. Therefore, we seek to identify, through uniformity coefficient, potential problems in the application of water in the irrigation system through central pivot. The objective of this study is to evaluate the uniformity of water distribution and the application efficiency of irrigation type center pivot systems in the municipality of Alegrete-RS to optimize system performance. Will be evaluated four types of uniformity coefficient, the most known and used in the literature, which are: coefficient of uniformity of Christiansen (CUC), distribution uniformity coefficient (CUD), statistical uniformity coefficient (CUE) and uniformity coefficient Hart (CUH). Another important parameter to be determined is the application efficiency (A_e). As well as the speed of displacement of the system of 4 m/min and the total area under irrigation system, which was 55,41 hectares. In addition to plotting a map with the equipment assessed. With this study it was observed that the irrigation system is operating with a good uniformity of water distribution, despite the blade calculated by the system flow rate be greater than the blade collected. The values found for the coefficients of uniformity, demonstrate that the equipment offers good performance, but for the CUH MAN and the CUE had a bad efficiency. In this way it was possible to present to producers, this area, what are the operating conditions of your irrigation system, in order that it may take the

necessary measures for improvements in your system. The efficiency of application presented a good performance, getting with 80.7% efficiency.

Keywords: efficiency, coefficient, irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Esquema da disposição e dos parâmetros dos coletores para realização do teste de uniformidade.....	22
Figura 02 - Posicionamento dos coletores com angulação.....	23
Figura 03 - Vista da área de abrangência de irrigação do pivô central estudado.....	25
Figura 04 - Aspensor instalado no pivô, modelo i-Wob Wobbler da Senninger.....	26
Figura 05 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na primeira torre...34	
Figura 06 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na segunda torre...34	
Figura 07 - Lâmina média ponderada e Precipitação coletada na irrigação na terceira torre....34	
Figura 08 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na quarta torre.....35	
Figura 09 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na quinta torre.....35	
Figura 10 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na sexta torre.....35	
Figura 11 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na sétima torre.....36	
Figura 12 - Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação no balanço com canhão.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
CUE	Coeficiente de Uniformidade Estatístico
CUH	Coeficiente de Uniformidade de Hart
Ea	Eficiência de Aplicação
Cm	Centímetros
Ha	Hectares
ANA	Agência Nacional de Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Dados de caracterização do pivô central.....	31
Tabela 02 - Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com a NBR 14244 (1998) da ABNT.....	32
Tabela 03 - Classificação e medidas dos coeficientes de uniformidade de acordo com a NBR 14244 (1998).....	32
Tabela 04 - Análise de variância para as lâminas aplicadas.....	32
Tabela 05 - Análise estatística das precipitações.....	33
Tabela 06 - Lâminas armazenadas (mm) até a profundidade de 30 cm do solo conforme o ponto de coleta.....	37
Tabela 07 - Análise estatística sob as lâminas armazenadas (mm) até a profundidade de 30 cm do solo conforme o ponto de coleta.....	38
Tabela 08 - Análise de variância nas lâminas armazenadas no perfil do solo.....	38

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVO	15
2.1	Geral	15
2.2	Específico.....	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Importância da Irrigação.....	16
3.2	Irrigação no Brasil.....	17
3.3	Sistema de Irrigação Tipo Pivô Central	18
3.3.1	Importância da Uniformidade.....	19
3.3.2	Coeficientes de Uniformidade	21
3.3.3	Eficiência de aplicação (Ea)	22
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.	CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

A irrigação está se tornando uma prática fundamental para o acréscimo de produtividade nas lavouras. O Brasil apresenta uma área de irrigação de aproximadamente 4,45 milhões de hectares, mas existe ainda um vasto perímetro a ser explorado sem a necessidade de abrir novas áreas para a agricultura.

O Rio Grande do Sul é caracterizado pela irrigação por inundação, devido a sua grande área produtora de arroz, em torno de 813.193,43 ha, mas apresenta um alto potencial de crescimento para irrigação através do método de irrigação por aspersão tipo pivô central, sendo que este se tornou uma ferramenta de suma importância, pela sua simplicidade e robustez, como ferramenta para auxiliar na irrigação de grandes extensões.

O manejo da irrigação é uma ferramenta crucial para que a irrigação seja eficiente e de qualidade. Para isso, dentre os vários fatores a serem considerados destaca-se a uniformidade de distribuição de água, caso esta não seja satisfatória, acaba-se diluindo os rendimentos da lavoura, devido à água não atingir adequadamente seu objetivo.

Uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente se confirmam no campo. Para tanto, deve-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas. Os coeficientes de uniformidade são ferramentas que auxiliam a visualização de como a água está sendo distribuída sobre o solo, tornando-se mecanismos de avaliação dos sistemas de irrigação.

Na realidade, a avaliação de sistemas de irrigação é um tema que os agricultores pouco têm dado importância. Mesmo tendo acesso à tecnologia, muitos não a utilizam de forma adequada, por falta de orientação e conhecimento.

Dentro deste contexto, vislumbrou-se a necessidade de verificar a uniformidade de distribuição de água em um área irrigada com sistema pivô central, na região Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente em um equipamento instalado no município de Alegrete-RS.

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Avaliar a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação de um sistema de irrigação tipo pivô central, no município de Alegrete, RS, visando otimizar o desempenho do sistema.

2.2 Especifico

- Realizar, para a área irrigada estudada, o ensaio de uniformidade de distribuição de água, através dos seguintes coeficientes: Coeficiente de distribuição de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, Coeficiente de Uniformidade Estatístico, Coeficiente de Uniformidade de Hart.
- Comparar os resultados de uniformidade de distribuição de água, encontrados pelos diferentes métodos;
- Verificar a eficiência de aplicação de água, na área analisada;
- Aferir a velocidade da última torre do pivô central;
- Determinar a área irrigável do sistema;
- Plotar um mapa com o pivô estudado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Seguindo o contexto, serão abordados assuntos referentes à importância da irrigação na agricultura. O cenário da irrigação no Brasil e no Estado do Rio Grande do Sul, e a capacidade de expansão de áreas irrigáveis. A importância da determinação da eficiência de aplicação e dos coeficientes de uniformidade, a fim de auxiliar a aplicação de água de forma consciente.

3.1 Importância da Irrigação

Segundo GOMES (1997), a irrigação se constitui basicamente pelo fornecimento de água as culturas, quando as precipitações não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das mesmas. A irrigação é uma atividade imprescindível para qualquer agricultura rentável, em quase todas as regiões e climas de nosso planeta, principalmente para quem visa um alto rendimento por unidade de área.

De frente ao cenário de alavancar o rendimento por área cultivada, da crescente necessidade de uso racional dos recursos hídricos, dos elevados custos de energia e dos insumos empregados na produção agrícola, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente conforme a necessidade da cultura (HEINEMANN et al., 1998).

O adequado manejo das irrigações tem por objetivo maximizar a produção agrícola racionalizando o uso de mão-de-obra, energia e água, evitando a ocorrência de problemas fitossanitários relacionados as aplicações excessivas ou deficientes de água e o desperdício de fertilizantes (PIRES et al., 1999).

FAGGION et al. (2009), ressaltam que em grande parte das áreas agrícolas irrigadas o volume de água utilizado é superior ao realmente necessário, ou muitas vezes o volume utilizado se torna muito inferior para a produção satisfatória de alimentos. Dessa forma, torna-se importante a utilização de equipamentos projetados adequadamente, que apresentem boa otimização da quantidade de água a ser aplicada e manejo adequado (quando e quanto aplicar) como medidas de uso racional da água.

O bom manejo da irrigação visando o uso racional da água em sistemas de irrigação tipo pivô central requer, além do conhecimento de parâmetros climáticos, de características das culturas, dos solos e dos recursos hídricos, o conhecimento da distribuição e quantidade de água aplicada e das eficiências de aplicação e distribuição, tudo isso decorrente do conhecimento do equipamento (PINTO et al., 2006).

Visando a produção, a água e os nutrientes são os que limitam os rendimentos com maior frequência; assim, o controle da irrigação e da fertilidade do solo constituem critérios essenciais para o êxito da agricultura, além de gerar um equilíbrio do processo de produção (FRIZZONE, 1987).

3.2 Irrigação no Brasil

O Brasil possui uma estimativa de 29.564.000 ha com potencial para o uso de irrigação (CHRISTOFIDIS, 1999), sendo que, em 2006 (censo 2006) estavam sendo explorados aproximadamente 15% deste potencial (4.453.925ha).

Com os números atuais o Brasil assume o 16º lugar entre os países com maior área irrigada no mundo, detendo pouco mais de 1% da área mundial irrigada, que é cerca de 277 milhões de hectares (ANA, 2009).

O Brasil é um dos países com menor relação “área irrigada/área irrigável”, além de exibir baixíssima taxa de hectares irrigados/habitante (0,018 ha/habitante), a menor da América do Sul (ANA, 2009). Esta baixa relação área irrigada/área irrigável justifica-se, em parte, pela boa distribuição de chuvas em boa parte do território nacional ao longo de determinadas épocas do ano, apesar de períodos de estiagem.

CHRISTOFIDIS (2006), menciona que um país como o Brasil tem muito à aperfeiçoar na eficiência do manejo da irrigação, na drenagem agrícola, na efetiva aplicação dos tradicionais instrumentos de gestão da água além da otimização do uso dos equipamentos, elevar o índice de área total sob produção em cada safra reduzindo-se as áreas ociosas, sem a necessidade de se abrir novas fronteiras agrícolas.

Segundo CHRISTOFIDIS (2003), a região Sul do Brasil apresenta um potencial de 15,2% de expansão sustentável da sua área irrigada. O Estado do Rio Grande do Sul é responsável por mais de 80% da irrigação na região sul e dos 984.085 ha irrigados no Estado 82,6% são irrigados pelo método de inundação (IBGE, 2006).

O Estado apresenta uma área irrigada através do sistema pivô central de 44.787,02 ha. O principal método de irrigação no Estado é por inundação, onde se tem uma área estimada de 813.193,43 ha irrigados, segundo o IBGE (2006).

Segundo estudos de CHRISTOFIDIS (2013), o Estado tem uma capacidade de expansão sustentável da área irrigada de aproximadamente 2.165.000 ha. Esse valor poderá sofrer variações de expansão conforme estiver a situação de mercado e os fomentos disponibilizados pelo governo.

3.3 Sistema de Irrigação Tipo Pivô Central

O pivô central foi construído pela primeira vez em 1948. Em 1949, seu inventor, Frank L. Zybach submeteu o invento para ser analisado e finalmente foi patenteado em 1952, no Colorado, Estados Unidos. O pivô central girava acionado por mecanismos de pistões movidos hidráulicamente pela água. O inventor produziu unidades até 1954, quando vendeu os direitos de fabricação para empresa americana Valley, localizada no Estado de Nebraska. A partir de 1968, outra empresa (Lindsay) também iniciou a fabricação de pivôs centrais e atualmente dividem a liderança do mercado mundial de pivôs centrais (KLEMP, 2009).

O sistema de irrigação tipo pivô central chegou ao Brasil na década de 1970, mas apenas nas décadas seguintes se consagrou como sistema de irrigação, impulsionado, sobretudo por programas governamentais. De fácil operação, alta eficiência (cerca de 90%) no uso da água e baixo custo operacional, os pivôs centrais rapidamente conquistaram a preferência do agricultor irrigante (SCHMIDT, 2004).

O pivô central é um dos sistemas de irrigação por aspersão mais automatizados que existe no mercado. Essa automação pode variar desde simples acessórios a componentes que permitem colocá-lo em funcionamento a distância, por meio de ondas de rádio ou telefone celular, através de aplicativos. Existem também pivôs que são totalmente controlados por estações computadorizadas capazes de coletar dados (umidade do solo, evapotranspiração, pluviometria, por exemplo), analisá-los e avaliar o momento ideal e a exata quantidade de água que deverá ser aplicada para suprir a demanda da cultura (VILELA, 1999).

PEREIRA (2001) em seus trabalhos explica o funcionamento básico de um sistema de irrigação tipo pivô central, onde o deslocamento de toda linha lateral do pivô central no campo é comandado pelo movimento da torre mais externa. Segundo o autor, supondo-se inicialmente que todas as torres encontram-se alinhadas e apenas a última se movimenta, o

acionamento do moto-reductor da torre subsequente processa-se quando o vão em movimento deflete-se em relação aos demais. Continuando o processo entre todos os vãos adjacentes, promove-se a movimentação de toda a linha de irrigação pelo funcionamento intermitente dos moto-redutores das torres. O autor comenta ainda que embora a velocidade angular de deslocamento do pivô central seja constante, a velocidade média de deslocamento de cada torre deve ser progressivamente maior a partir do ponto central do pivô, de maneira a induzir o movimento circular do equipamento na área.

Segundo BERNARDO (2015) a irrigação por aspersão do tipo pivô central tem-se expandido de forma mais significativa, em relação aos demais métodos, pelas seguintes razões: boa uniformidade de distribuição de água, quando bem planejado; fácil controle da lâmina d'água aplicada; grande versatilidade para as diversas condições de topografia e tipos de solo; menor dispêndio de mão-de-obra e maior divulgação por parte de fabricantes e vendedores.

A análise e a avaliação de um sistema de irrigação do tipo pivô central requerem, entre outras informações, o conhecimento da distribuição da água aplicada, uma vez que uma baixa uniformidade de distribuição pode levar a resultados insatisfatórios, reduzindo a eficiência de aplicação (RODRIGUES et al., 1997).

3.3.1 Importância da Uniformidade

O principal objetivo ao se implantar um sistema de irrigação é proporcionar condições para se produzir economicamente, o que se consegue com aumento de produtividade e redução dos custos por unidade produzida. Neste aspecto, os parâmetros que expressam a qualidade e desempenho da irrigação devem ser entendidos como decisórios no planejamento e operação dos sistemas de irrigação (ZOCOLER et al., 2001).

SCHONS et al. (2014), SANDRI et al. (2009) e ARRUDA et al. (2008), reforçam em seus trabalhos que quanto menos variação de aplicação de água o sistema de irrigação tiver, maior será o controle sobre a lâmina de água aplicada, conseqüentemente as perdas serão menores, custos serão minimizados e a produção será mais uniforme e maior.

Conceitualmente, considera-se área adequadamente irrigada, a porcentagem da área que durante uma irrigação, recebe uma lâmina d'água igual ou superior à lâmina real necessária (KELLER e BLIESNER, 1990).

Quando se aplica somente a lâmina de irrigação necessária em uma área, sendo esta uma lâmina média, acarretará inevitavelmente o excesso em parte da área e déficit em outra. Na fração em excesso, uma parte fica armazenada na zona das raízes, disponíveis às plantas e outra parte é perdida por percolação profunda, transportando consigo parte dos nutrientes daquela camada. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considerada infiltrada na zona radicular, porém em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas (ZOCOLER et al., 2001).

SCHONS (2006) classifica os vários fatores que influem na distribuição de água nos sistemas de irrigação por aspersão, podendo ser agrupados em fatores climáticos, fatores aerodinâmicos, fatores ligados ao aspersor, ao sistema de distribuição e ao manejo do sistema.

Segundo MERRIAM et al. (1973), para as culturas de alto rendimento econômico e com sistema radicular raso, o sistema de aspersão deve apresentar um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) acima de 80% ou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) acima de 88%. Para culturas com sistema radicular médio, o CUD pode variar de 70 a 80% e CUC de 82 a 88%.

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros de desempenho da irrigação que muitos especialistas da área consideram importante para avaliar a qualidade de irrigação. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho, associados à variabilidade da lâmina de água aplicada na superfície da área desejada (CASTIBLANCO, 2009).

A qualidade da irrigação é avaliada por meio da uniformidade com que a água é aplicada. Vários coeficientes foram desenvolvidos com a finalidade de quantificar a uniformidade de aplicação da água (FRIZZONE e DOURADO NETO, 2003).

Conforme COSTA (1994) a uniformidade de aplicação na irrigação é influenciada por uma série de fatores: pressão de serviço; diâmetro dos bocais, geometria e rugosidade dos orifícios; inclinação e velocidade de lançamento do jato; altura do emissor em relação ao solo; estabilidade da haste de sustentação do emissor, que deve ser mantida sempre na vertical; distância dos microaspersores ao caule das plantas e a interferência na interceptação do jato.

BERNARDO et al. (2006) afirmam que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação. A desuniformidade de distribuição de água gera áreas com déficit e áreas com excesso de umidade, mas a melhoria na uniformidade de aplicação está associada a

um aumento nos custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas. Entretanto, os custos são convertidos em um maior rendimento da área se bem trabalhados.

Quando se menciona em aumento de área irrigada pelo equipamento, logo vem à mente a utilização do canhão final, visto que, a obtenção de uma melhor uniformidade de distribuição da água aplicada pelo canhão final quando a sua seleção é feita com base no seu perfil radial estacionário. SCHENKEL (1992) em seus trabalhos demonstra exemplos de seleção de canhão final.

Em vista que há sistemas mal projetados os mesmos apresentam baixa eficácia de distribuição de água conforme relatam FRIZZONE e NETO (2003). Nesses casos, e naqueles sistemas cuja eficácia nunca foi avaliada, o ensaio de uniformidade constitui uma via para o levantamento dos dados necessários à tomada de decisão sobre melhorias a introduzir para elevar a eficiência do sistema de irrigação.

SILVA et al. (1997) afirmam que frequentemente é necessário avaliar o desempenho de um sistema de irrigação através da determinação dos coeficientes, a fim de determinar sua aplicabilidade em certas condições.

3.3.2 Coeficientes de Uniformidade

BERNARDO et al. (2006) citam três principais coeficientes de uniformidade: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de Uniformidade Estática (CUE) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), como os coeficientes mais utilizados para determinação da uniformidade de aplicação e distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão convencional.

HART (1961) propôs um coeficiente de uniformidade usando também o desvio-padrão como medida de dispersão, chamado de Coeficiente de Uniformidade de Hart.

Segundo COELHO (1990), caso os valores coletados tenham uma distribuição normal, então o valor de CUC é igual ao valor de CUH. RODRIGUES et al. (1997), realizaram uma pesquisa visando avaliar a sensibilidade de alguns coeficientes de uniformidade, concluíram que o CUC, proposto por CHRISTIANSEN (1942) e o CUH, proposto por HART (1961), foram os coeficientes menos sensíveis a essas mudanças.

CRIDDLE et al. (1956), introduziram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada, o chamado Coeficiente de

Uniformidade de Distribuição (CUD). Este é mais recomendado para quantificar a uniformidade de distribuição de água para sistemas do tipo pivô central.

KRUSE (1978), a denominou de uniformidade de distribuição, mas conhecida como Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

WILCOX e SWAILES (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75%, denominado Coeficiente de Uniformidade Estatístico.

3.3.3 Eficiência de aplicação (Ea)

A razão entre a lâmina d'água armazenada em uma dada camada de solo e a lâmina d'água aplicada nos fornece a “Eficiência de Aplicação de Água no Solo (Ea)” (MERRIA et al., 1983). Esta relação indica a fração de água aplicada que é armazenada, em função de suas características físicas e umidade residual do solo, fornecendo apenas uma ideia das perdas, já que em irrigações deficientes, pode alcançar valores de 100%, ou seja, toda água aplicada foi armazenada. BONOMO (1999) relata que a Ea não indica se a quantidade de água aplicada foi suficiente para suprir a água evapotranspirada pela cultura.

A eficiência de aplicação global de um sistema de irrigação por aspersão é um termo usado por KELLER e BLIESNER (1990) para incluir o efeito das perdas devido a desuniformidade de aplicação, percolação, evaporação, deriva e vazamento da tubulação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Alegrete, RS, através de uma visita em uma propriedade que utiliza como método de irrigação o pivô central. A visita foi pré-agendada com o proprietário que se disponibilizou-se a ceder seu equipamento para o referido estudo.

O estudo foi desenvolvido na fazenda Arara, localizada aproximadamente á 30 km da cidade de Alegrete-RS. A propriedade conta com dois sistemas de irrigação do tipo pivô central, um com 55 hectares e outro com 30 hectares. A propriedade está localizada nas coordenadas de latitude $29^{\circ}37'24.37''\text{S}$ e longitude $55^{\circ}38'25.56''\text{O}$.

O equipamento estudado está situado na latitude $29^{\circ}37'33.32''\text{S}$ e longitude $55^{\circ}37'45.20''\text{O}$.

Na área estudada, foi instalado duas linhas radiais com os coletores, os alinhamentos das linhas dar-se-á de tal forma a se obter o ângulo de 3° entre as duas linhas conforme mostra a Figura 1. O alinhamento foi realizado com o deslocamento da própria linha do pivô, onde inicialmente foi instalado os coletores na posição inicial do pivô após a instalação completa da primeira linha de coletores o equipamento de irrigação foi configurado para deslocar 3° da sua posição de origem. Após o deslocamento foi instalado a segunda linha de coletores, conforme podemos observar na Figura 2.

O último passo após a instalação completa dos coletores foi deslocar o pivô de forma que o mesmo passasse sobre os coletores já fazendo a aplicação da lâmina de irrigação.

As coletas das lâminas aplicadas de água foram realizadas com auxílio de copos coletores, com área de $51,53\text{ cm}^2$, instalados a 60 cm do solo, suspensos por hastes de alumínio, espaçado entre si a cada 3 metros, posicionados em duas linhas.

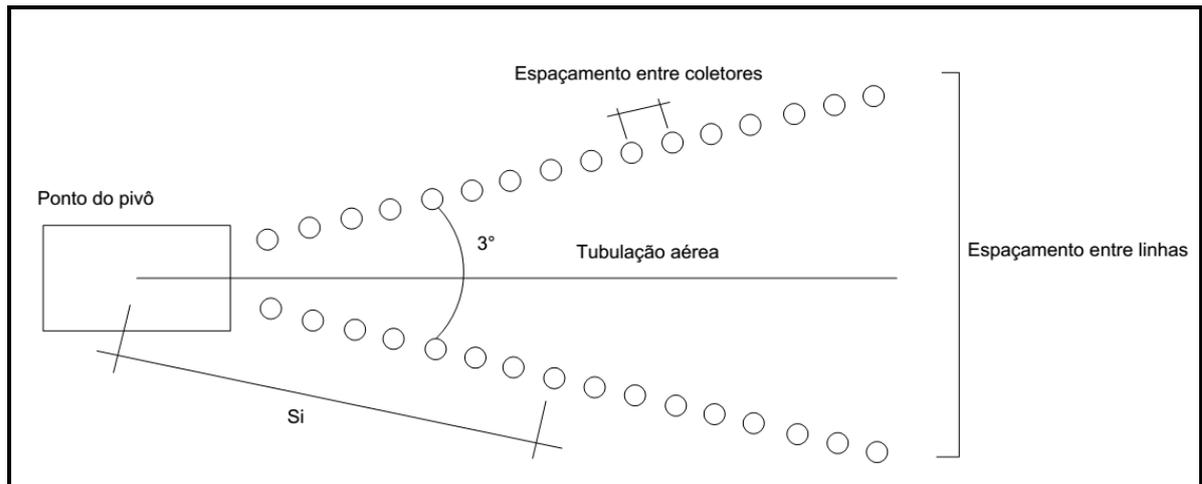


Figura 01 – Esquema da disposição e dos parâmetros dos coletores para realização do teste de uniformidade. Fonte: SCHONS, 2006.



Figura 02 – Posicionamento dos coletores com angulação. Fonte: Hohenberger, L. (2016).

O equipamento de irrigação já estava na parte mais elevada do terreno, área na qual se localiza o ponto mais crítico da irrigação, onde pode ocorrer a deficiência de pressão.

Foram mensurados o raio de irrigação do pivô e coletados pontos com coordenadas geográficas com um receptor de GPS onde foi elaborado um mapa da área de abrangência do

pivô estudado, conforme pode-se observar na Figura 3. Também foi registrado o tipo de bico aspersor instalado no equipamento, conforme pode-se observar na Figura 4.



Figura 03 – Vista da área de abrangência de irrigação do pivô central estudado. Fonte: Google Earth

A relé percentual foi aferida a 100%, logo a última torre do pivô trabalhou com sua velocidade de deslocamento máxima.

A velocidade de deslocamento foi determinada com a relé percentual a 100% onde foi medido o tempo de deslocamento da última torre em um percurso de 20 metros.



Figura 04 – Aspersor instalado no pivô, modelo i-Wob Wobbler da Senninger. Fonte: Hohenberger, L. (2016).

Foram coletadas amostras de solo indeformadas, com auxílio anéis coletores, antes e após a irrigação, para verificar a lâmina real armazenada. As amostras foram retiradas em três pontos da linha radial do pivô, na primeira torre, na última e no centro da linha radial de irrigação. As amostras foram retiradas em três profundidades, de 0 – 10 cm, de 10 – 20 cm e de 20 - 30 cm de profundidade.

Para a determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, foi utilizada a equação (1) descrita por BERNARDO et al. (2006), que é expressa por:

$$CUC = 100 * \left(1 - \sum \frac{(X_i - \bar{X})}{n * \bar{X}} \right) \quad (1)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em %;

X_i – Precipitação coletada no pluviômetro de ordem i , em mm;

n = Número de coletores;

\bar{X} = Média das precipitações coletadas, em mm.

Para a determinação da lâmina média ponderada foi utilizada a equação (2) proposta por BERNARDO et al. (2006).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i \cdot n_i}{\sum n} \quad (2)$$

Em que:

n_i = Coletor de ordem i .

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), foi determinado pela equação (3) proposta pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, como segue abaixo:

$$CUD = \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

Em que:

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, em %;

\bar{X} = Média das precipitações coletadas, em mm;

$X_{25\%}$ = Média das 25% menores precipitações, em mm.

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) proposto por WILCOX e SWAILES (1947) foi calculado pela equação (4):

$$CUE = 100. \left(1 - \frac{Sd}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

Em que:

CUE = Coeficiente de Uniformidade Estatístico, em %;

Sd = Desvio-padrão dos valores de precipitação, em mm;

\bar{X} = Lâmina média de todas as observações, em mm.

O coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) proposto por HART (1961) foi determinado pela equação (5):

$$CUH = 100. \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} * \left(\frac{Sd}{\bar{X}} \right) \right) \quad (5)$$

Em que:

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart, em %;

Sd = Desvio-padrão dos valores de precipitação, em mm;

\bar{X} = Lâmina média de todas as observações, em mm.

Pode se observar de acordo com os segmentos que não houve valores significativos para variação em 5% de probabilidade.

A lâmina aplicada (L_{apl}) na irrigação foi calculada pela equação (6) proposta por BALLADÃO (2012):

$$L_{apl} = \frac{1000. Q. n_r. T}{A} \quad (6)$$

Em que:

L_{apl} = Lâmina aplicada, em mm;

Q = Vazão do sistema, em $m^3 h^{-1}$;

n_r = Número de revoluções;

T = Tempo de cada revolução, em h;

A = Área irrigada, em m^2 .

A lâmina armazenada em uma fração do solo (L_{arm}) será determinada pela equação (7):

$$L_{arm} = Z. U_v \quad (7)$$

Em que:

L_{arm} = Lâmina armazenada, em cm;

Z = Profundidade do sistema, em cm;

U_v = Umidade à base de volume.

Para a determinação da umidade à base de volume (U_v), será utilizado a equação (8):

$$U_v = U_g \cdot D_g \quad (8)$$

Em que:

U_v = Umidade à base de volume;

U_g = Umidade à base de massa seca, em g de água.g⁻¹ de sólido;

D_g = Massa específica global do solo, em g.cm⁻³.

Como fonte para o cálculo da umidade à base de volume necessita-se determinar a umidade à base de massa seca (U) ou gravimétrica, que será determinada através da equação (9):

$$U_g = \frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (9)$$

Em que:

U_g = Umidade à base de solo seco;

M_{su} = Massa de solo úmido, em g;

M_{ss} = Massa de solo seco, em g.

A massa específica global do solo (D_s) será determinada pela equação (10):

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (10)$$

Em que:

D_s = Massa específica global do solo, em g.cm^{-3} ;

M_s = Massa dos sólidos, em g;

V_t = Volume total do solo, em cm^3 .

A eficiência de aplicação (E_a) será determinada pela equação (11) proposta por MIRRIAN et al. (1983):

$$E_a = \frac{L_{arm}}{L_{apl}} \cdot 100 \quad (11)$$

Em que:

E_a = Eficiência de aplicação, em %;

L_{arm} = Lâmina de água armazenada na zona radicular, em mm;

L_{apl} = Lâmina aplicada, em mm.

A análise estatística dos dados foi realizada com auxílio do programa SASM-Agri. Para interpretação dos resultados foi realizada a análise da variância usando-se o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No momento dos testes foram coletados os dados de temperatura, a temperatura foi observada durante todo o período da irrigação, sendo o valor obtido de aproximadamente 20 a 23° C, a velocidade do vento com auxílio de um anemômetro digital portátil, teve seu pico de velocidade em 3,3 m/s durante o teste, onde o pivô estava aplicando a lâmina. Além destes, foi instalado fora da área de irrigação três coletores com uma lâmina de água conhecida para verificar a evaporação da água durante a irrigação, o valor evaporado foi de 1,46 mm.

A Tabela 1 apresenta a caracterização do projeto do pivô central com dados referente ao raio de abrangência de irrigação, a vazão de projeto e a velocidade de deslocamento da última torre com o percentímetro em 100%.

Tabela 01 – Dados de caracterização do pivô central.

Raio (m)	Área (ha)	Tempo de percurso (h)	Velocidade (m/min)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina ponderada (mm)	Lâmina aplicada (mm)	Vazão do projeto (m³/h)
420	55,418	10,39	4	3,104	3,094	3,94	210

Na Tabela 02 estão dispostas as medidas dos coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), de Uniformidade Estatística (CUE), de Uniformidade de Distribuição (CUD) e de Uniformidade de Hart (CUH).

De acordo com a Tabela 02, pode-se observar, que o CUC apresentou uma boa uniformidade e já o CUE foi o que apresentou a menor uniformidade.

O CUC é universalmente conhecido e seus valores servem de referência na avaliação de um equipamento de irrigação (SILVA et al. 1997), já o CUD é uma medida frequentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição de água (FRIZZONE, 1992).

WILCOX E SWAILES (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75% (CUE).

A Tabela 2 apresenta a classificação para o coeficiente de uniformidade de Christiansen segunda a NBR 14244 (1998).

Tabela 02 – Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com a NBR 14244 (1998) da ABNT.

CUC (%)	Classificação
< 80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
> 90	Muito Boa

Tabela 03 – Classificação e medidas dos coeficientes de uniformidade de acordo com a NBR 14244 (1998).

Coeficiente de Uniformidade	Valores dos Coeficientes (%)	Classificação
CUC	85,183	Bom
CUD	80,274	Regular
CUE	70,897	Ruim
CUH	76,705	Ruim

Conforme mostra a Tabela 03, o sistema de irrigação avaliado apresenta uma boa distribuição de água, uma vez que os valores de CUC encontram-se acima de 85% e CUD acima de 80%, o que é considerado satisfatório por grande número de autores, inclusive MERRIAM et al (1973).

Segundo COELHO (1990), caso os valores coletados tenham uma distribuição normal, então o valor de CUC é igual ao valor de CUH. Tendo em vista essa colocação pode-se observar que o resultado de CUH foi considerado ruim, sabendo-se que o mesmo utiliza para o seu cálculo o desvio padrão, logo, se a lâmina de aplicação foi muito desuniforme maior será o desvio padrão, logo menor será o valor de CUH.

A Tabela 04 apresenta a análise estatística realizada das precipitações coletadas na linha do pivô ao longo da linha radial do pivô (ponto inicial, central e final).

Tabela 04 – Análise de variância para as lâminas aplicadas.

Causa da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F Calculado	F (5%)
Tratamentos	3	2,92	0,97	1,10	2,67
Resíduo	136	120,10	0,88		
Total	139	123,02			
C.V.	30,49%				

De acordo com a Tabela 04, pode-se observar que as lâminas de irrigação não apresentaram efeito significativo nos 3 pontos do teste.

Para a análise os valores das precipitações foram subdivididos em quatro segmentos, do ponto central do pivô sendo o primeiro segmento e o final o quarto segmento, conforme observa-se na Tabela 05. Cada segmento conta com 25% das precipitações, logo, cada segmento conta com 35 observações.

Tabela 05 – Análise estatística das precipitações.

Tratamento	Média
1º Segmento	3,25 a
4º Segmento	3,19 a
3º Segmento	2,98 a
2º Segmento	2,89 a
C.V.	30,49 a

De acordo com a Tabela 05, observa-se que as precipitações não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

A lâmina de água aplicada calculada foi de 3,94 mm com as configurações do pivô já citadas. Com o percentímetro a 100%, ou seja, a última torre não pára e com a vazão de projeto.

Quando o pivô irriga uma porcentagem da área com uma lâmina menor que a média real medida em campo ocorre uma deficiência, em termos de vazão, entre o que foi projetado e o que foi executado, logo, não estão proporcionando uma vazão adequada ao projeto, culminando em uma grande zona sob déficit hídrico comenta FARIAS et al. (2008).

A lamina de água precipitada ao longo do pivô foi subdividida nas diferentes torres do mesmo (total de 7), mais o balanço com canhão.

Desta forma, foram plotados gráficos (Figuras 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, e 12) com o objetivo de se obter uma melhor visualização da precipitação coletada no trabalho.

FARIAS et al. (2008), fala que uma das medidas mais rápidas para solucionar o problema diferença de lâmina, além de discuti-lo com o fabricante, é o redimensionamento da curva de controle do equipamento, levando em consideração vazão atual e real do pivô central. O procedimento calibra o equipamento no sentido de tornar a irrigação mais precisa e mais eficiente, entretanto não dispensa a modificação do projeto a fim de corrigir os erros.

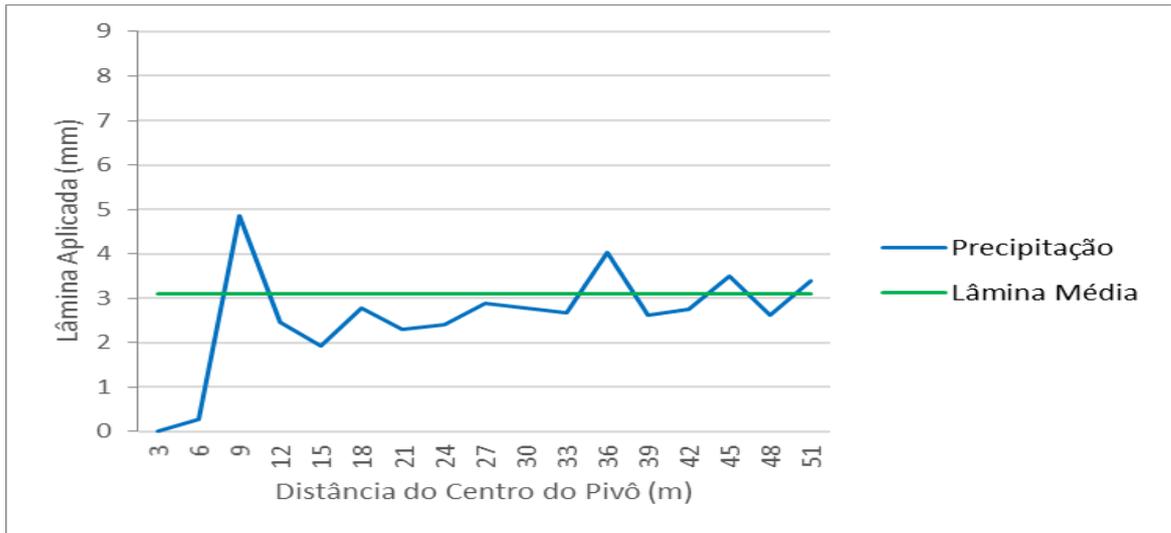


Figura 05 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na primeira torre.

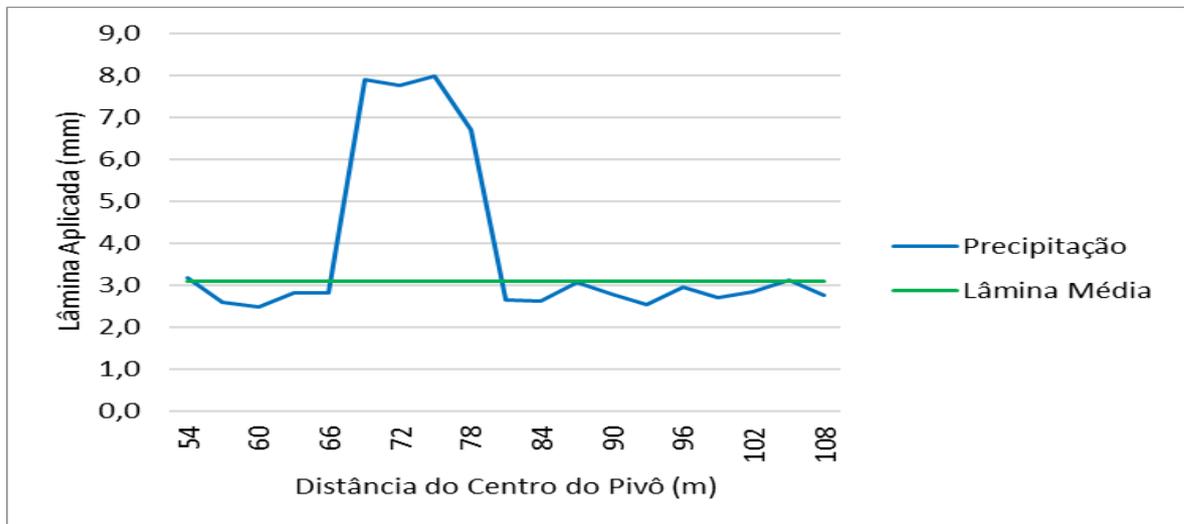


Figura 06 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na segunda torre.

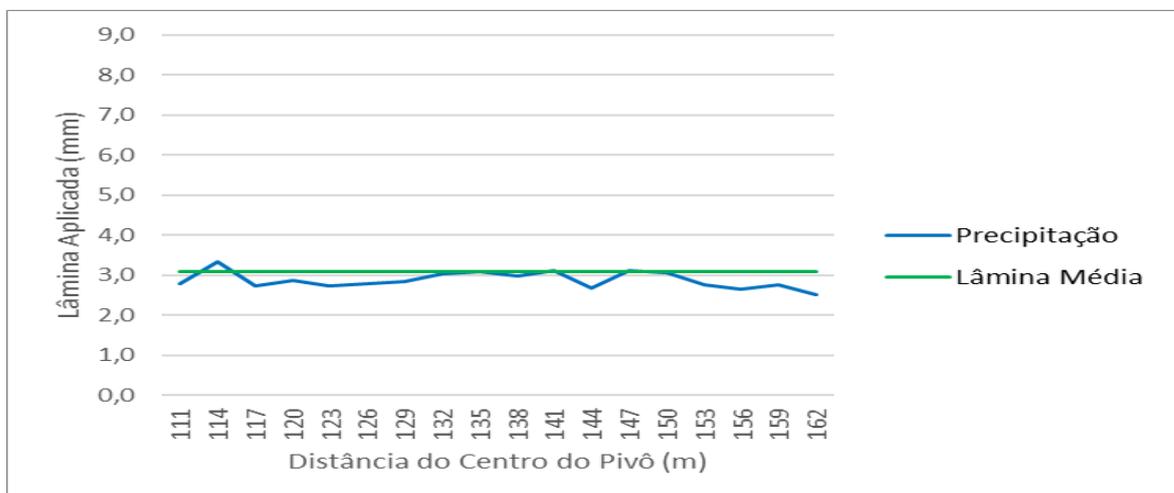


Figura 07 – Lâmina média ponderada e Precipitação coletada na irrigação na terceira torre.

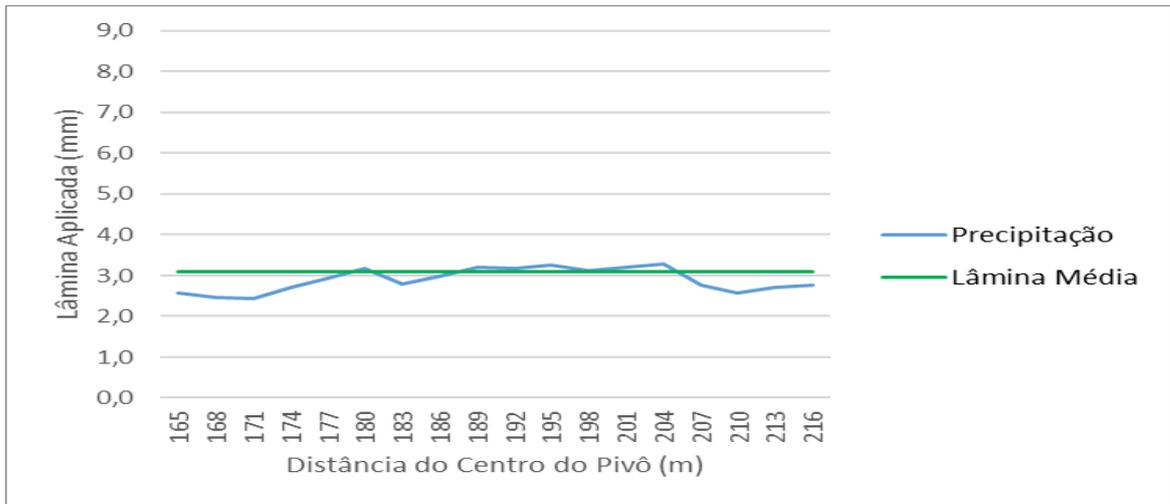


Figura 08 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na quarta torre.

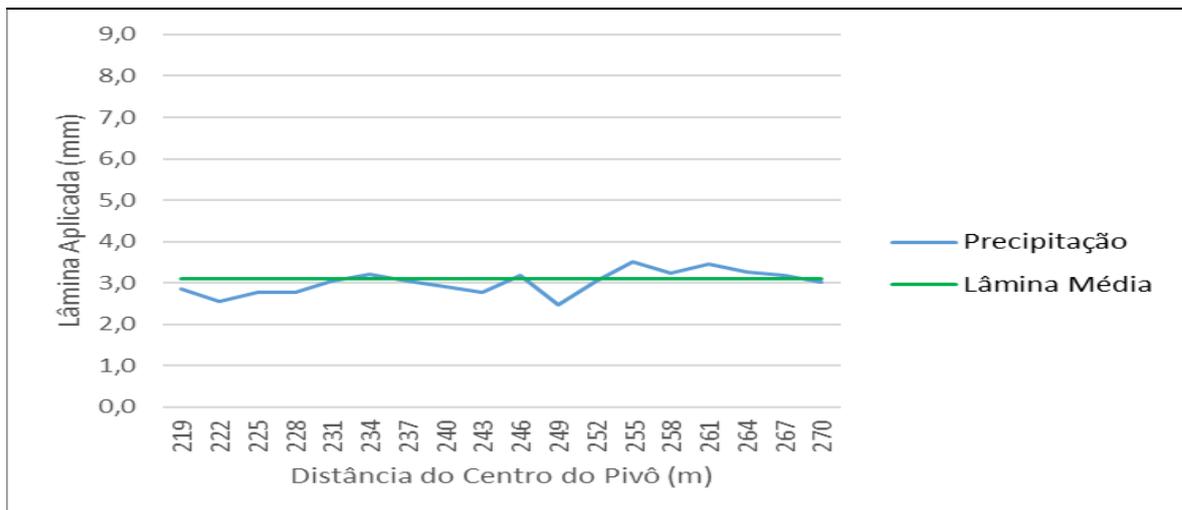


Figura 09 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na quinta torre.

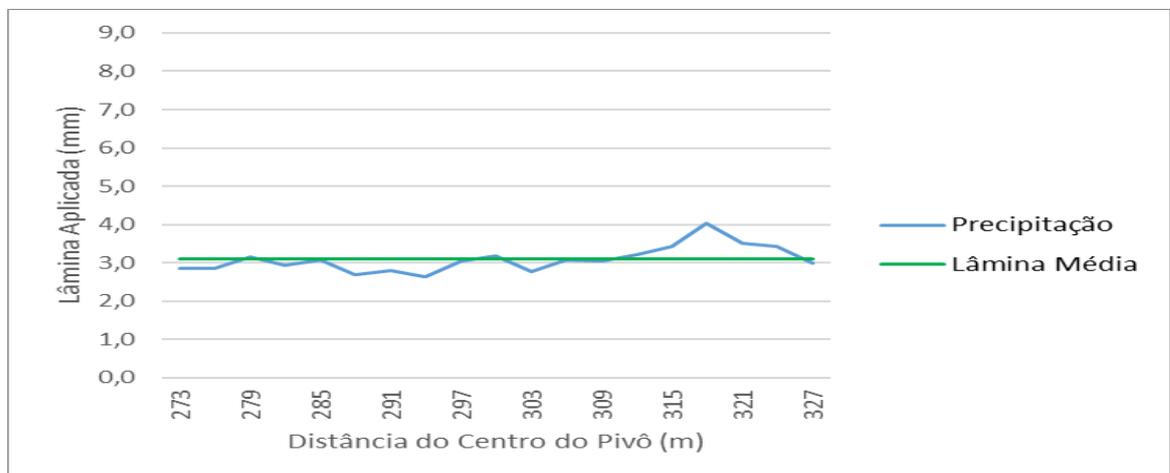


Figura 10 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na sexta torre.

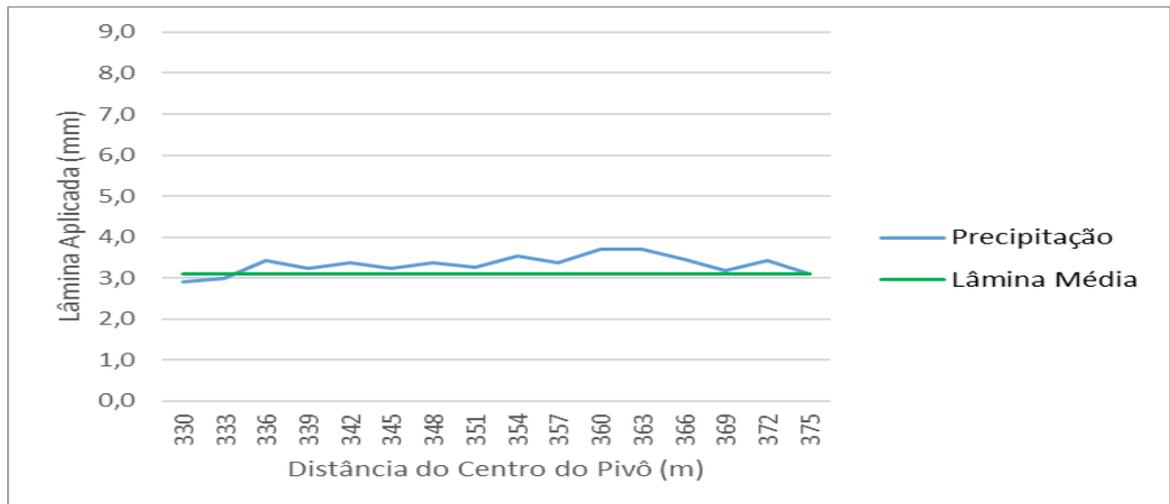


Figura 11 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação na sétima torre.

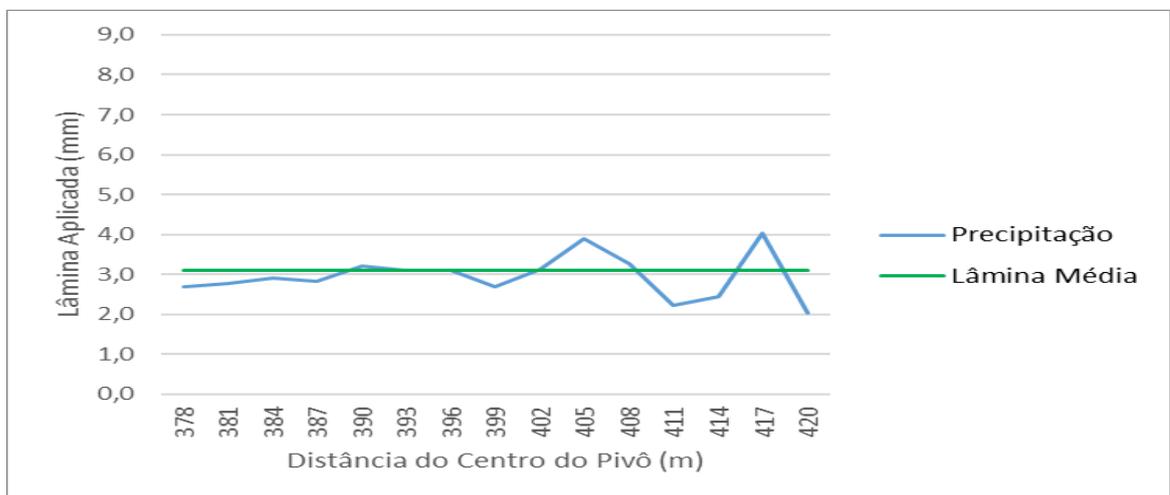


Figura 12 – Lâmina média ponderada e precipitação coletada na irrigação no balanço com canhão.

De acordo com as Figuras apresentadas, pode-se observar nitidamente a variabilidade ocorrida dentro da mesma sequência ou torre.

FARIAS et al. (2008), fala que o dimensionamento hidráulico do sistema proporciona a visualização do comportamento teórico do sistema que, quando comparado, ao comportamento real, posto em execução, pode servir de auditoria para fins de correção das possíveis falhas, sejam de projeto e fabricação ou de execução.

Desta forma, o fato da variabilidade ocorrida interferiu na lâmina armazenada no solo, as coletas foram feitas aproximadamente 3 horas após a irrigação. No momento da coleta do solo, foram separadas em três pontos, sendo inicial (relativos a 3 lances), médio (relativo a mais 3 lances) e final (último lance).

A seguir são demonstradas as Tabelas (06 e 07) com as informações referente a lâmina armazenada no solo (mm) antes e após a irrigação. Também apresenta os valores de densidade de solo (g/cm^3), umidade gravimétrica (g/g) e umidade volumétrica (g/cm^3), parâmetros necessários para o cálculo da água armazenada.

Tabela 06 – Lâminas armazenadas (mm) até a profundidade de 30 cm do solo conforme o ponto de coleta.

Profundidade (cm)	Lâmina armazenada antes da irrigação (mm)				Lâmina armazenada após a irrigação (mm)		
	Ug (g/g)	Ds (g/cm^3)	Uv (g/g)	Lâm. (mm)	Ug (g/g)	Uv (g/g)	Lâm. (mm)
0 - 10							
Média	0,1367	1,4833	0,2000	20,1567	0,1900	0,2800	27,9000
Desvio padrão	0,0058	0,0252	0,0000	0,4693	0,0000	0,0100	0,8546
10 a 20							
Início Média	0,170	1,417	0,243	24,437	0,203	0,290	29,020
Desvio padrão	0,000	0,122	0,025	2,464	0,006	0,026	2,631
20 a 30							
Média	0,193	1,420	0,270	27,173	0,230	0,330	32,817
Desvio padrão	0,006	0,020	0,010	0,930	0,000	0,010	0,677
0 a 10							
Média	0,207	1,413	0,293	28,910	0,240	0,337	33,727
Desvio padrão	0,006	0,068	0,015	1,486	0,000	0,012	1,182
10 a 20							
Médio Média	0,217	1,447	0,313	31,243	0,220	0,317	31,777
Desvio padrão	0,012	0,064	0,012	1,333	0,000	0,012	1,433
20 a 30							
Média	0,230	1,463	0,340	33,983	0,227	0,333	33,217
Desvio padrão	0,000	0,067	0,017	1,807	0,006	0,015	1,417
0 a 10							
Média	0,22	1,40	0,30	30,49	0,24	0,33	33,40
Desvio padrão	0,02	0,08	0,01	0,97	0,00	0,02	1,75
10 a 20							
Final Média	0,227	1,383	0,313	31,213	0,227	0,310	31,107
Desvio padrão	0,006	0,067	0,006	0,749	0,021	0,020	2,158
20 a 30							
Média	0,230	1,443	0,330	33,030	0,240	0,340	34,290
Desvio padrão	0,000	0,029	0,010	0,891	0,017	0,017	1,803

Tabela 07 – Análise estatística sob as lâminas armazenadas (mm) até a profundidade de 30 cm do solo conforme o ponto de coleta.

	Profundidade			
	(cm)	Inicial	Central	Final
Lâmina armazenada (mm)	0 a 10	7,02 a	5,27 ab	0,49 b
		9,27 a	4,54 ab	3,38 b
		6,95 a	4,65 ab	4,89 b
	10 a 20	4,87 a	1,78 b	0,00 b
		4,64 a	0,97 b	0,00 b
		4,24 a	0,00 b	2,37 b
	20 a 30	5,36 a	0,00 b	0,53 b
		5,85 a	0,00 b	4,10 b
		5,72 a	0,05 b	0,00 b

Analisando os resultados das lâminas armazenadas (Tabela 07) pode-se observar sua grande variabilidade, com valores oscilando de 0 mm à 9,27 mm. Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm o grau de variação é ainda mais elevado.

Essa grande variabilidade de resultados das lâminas armazenadas se deve pela variação da lâmina aplicada, em cada ponto. Observando nos gráficos das precipitações pode-se verificar que mesmo em cada torre há uma grande variação da lâmina de irrigação. Essa variação trouxe essas grandes discrepâncias de resultados.

Tabela 08- Análise de variância nas lâminas armazenadas no perfil do solo.

Causa da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F Calculado	F (5%)
Tratamentos	2	51,342	25,671	4,292	3,402
Resíduo	24	143,524	5,98		
Total	26	194,866			
C.V.	75,95%				

De acordo com a Tabela 08, pode-se observar que as lâminas armazenadas apresentaram efeito significativo. Para a eficiência de aplicação de água obteve-se 80,72% de eficiência. Isso mostra um valor aceitável devido a perdas de evaporação, deriva, relevo e outros parâmetros que podem interferir nos resultados do estudo.

Os valores da eficiência em potencial de aplicação de água proposto por BERNARDO et al. (2005) apresentam valores entre 74,49 e 97,83%, justificados pela metodologia de cálculo que considera a vazão de projeto, o que pode acarretar diferenças elevadas entre a lâmina coletada e a lâmina aplicada calculada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ O presente trabalho foi de grande valia, pois pode-se conhecer na prática as uniformidades de distribuição de água em pivôs;
- ✓ O produtor deve tomar providências em substituir o bico do aspersor da torre dois, onde o mesmo está aplicando uma lâmina superior à média da torre;
- ✓ O CUC apresentou uma uniformidade boa, mesmo o sistema tendo canhão aspersor no final. O canhão tem como característica a sua baixa uniformidade de distribuição de água, conseqüentemente sua distribuição da lâmina de irrigação não é tão uniforme, podemos observar isso nos gráficos anteriores;
- ✓ Em relação à lâmina aplicada calculada e a lâmina coletada observa-se uma diferença, isso se deve a utilização para o cálculo, a vazão de projeto do pivô, pois os pivôs instalados não apresentam as mesmas condições de dimensionamento do projeto de fábrica;
- ✓ A comparação entre a vazão real e a vazão de projeto é uma informação de máxima importância na correção dos possíveis erros de montagem do equipamento, isso vai proporcionar ao produtor uma reconfiguração em seu manejo de irrigação;
- ✓ Após a análise dos dados obtidos, o CUC apresentou uma boa uniformidade já o CUE e o CUH apresentaram uma uniformidade classificada como ruim;
- ✓ A lâmina coletada foi inferior a lâmina calculada, isto pode ocorrer devido as características de projeto;
- ✓ As lâminas armazenadas apresentaram valores muito discrepantes, uma hipótese para isso se deve provavelmente a variação da lâmina aplicada;
- ✓ Este trabalho abriu várias portas para futuras pesquisas na área de irrigação sobre o sistema de irrigação do tipo pivô central.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA F. B.; PIRES, R. C. DE M.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. DE O.; BRUNINI, O. **Agricultura irrigada**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. IAC-APTA. Campinas – SP, 2008.

ALTHAUS, R. A., CANTERI, M. G., GIGLIOTI, E.A. **Tecnologia da informação aplicada ao agronegócio e ciências ambientais: sistema para análise e separação de médias pelos métodos de Duncan, Tukey e Scott-Knott**. Anais do X Encontro Anual de Iniciação Científica, Parte 1, Ponta Grossa, p. 280 - 281, 2001.

BALLADÃO, V. A. C. **Uniformidade de distribuição de água de um pivô central no município de Goiânia-GO**. Universidade Estadual de Goiás – UnUCET. ANÁPOLIS – GO, 2012. (Monografia).

BELAN, H. C., CANTERI, M. G. **AGROSTAT - Sistema de Análise e separação de médias em experimentos agrícolas**. XIII Encontro Anual de Iniciação Científica, Londrina, 2004.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989, 596p.

CASTIBLANCO, C. J. M.; **Economia de Energia em Irrigação por Pivô Central em Função da Melhoria da Uniformidade da Distribuição de água**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado) – Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 p. Tese (Doutorado em irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 1999.

BRASIL, **Agência Nacional de Águas**. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 21 outubro de 2015.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. Não paginado. (University of California. California Agricultural Experiment Station. Bulletin, 670).

CHRISTOFIDIS, D. **Água, irrigação e agropecuária sustentável**. Revista de política agrícola, ano xxii – n. 1. Brasília, DF, 2013.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: Gênesis, Gênero e Sustentabilidade Alimentar no Brasil**. Brasília, DF, 2006.

CHRISTOFIDIS, D. **Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental**. Bahia: Análise e Dados, Salvador, v. 13, n. especial, p. 371-382, 2003.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos Hídricos e Irrigação no Brasil**. Brasília: CDS – UnB, 1999.

COELHO, R. D. **Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas**. 1990. 14f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

COSTA, M. C. **Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso**. 1994. 109 p. Tese (Mestrado em Agronomia). ESALQ/USP, Piracicaba, 1994.

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

CUNHA, F. N.; CAMPOS, R. DE O.; BASTOS, F. J. DE C.; TEODORO, J. P. R.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. **Análise de coeficientes de uniformidade em pivôs centrais instalados na região sudoeste de Goiás**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, nº. 3, p. 181 – 190. 2013.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; DEMÉTRIOS, C. **Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária**. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava, v.2, n. 1, 2009.

FARIAS, C. H. de A.; de Oliveira, G. S.; de Sousa, F. L.; Tomaz, H. V. de Q.; Filho, FF.de Q. P. **Dimensionamento e avaliação da qualidade da irrigação de uma linha lateral de pivô central rebocável para irrigação em cana-de-açúcar**. Caatinga (Mossoró,Brasil), v.21, n.1, p.134-137, janeiro/março de 2008.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. **Avaliação do deslocamento de um pivô central de grande porte e baixa pressão**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127,1998.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. **Avaliação de sistemas de irrigação**. In: MIRANDA, J. H de.; PIRES, R. C. de M. Irrigação (Série Engenharia Agrícola). Piracicaba: FUNEP, 2003. p.573-651.

FRIZZONE, C. R. F.; **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Engenharia Rural, 1992. 53p. (Série Didática, 3).

FRIZZONE, J. A. **Funções de Resposta do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao Uso de Nitrogênio e Lâmina de Irrigação**. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA

AGRICULTURA, 1., 1987, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 123 – 133.

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2.ed. Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba, 1997. 390 p.

HART, W. E.; Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**, v. 42, n. 7, p. 83-89, 1961.

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

HEINEMANN, A. B.; et al. **Decision Model for Determination of Water Great blade for Sweet Corn Culture in Sete Lagoas Region**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: SBEA, 1998. V.2, p.4-8.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

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

KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrigation. Drainage Division**. ASCE, New York, v.104, n.1R1, p.35-41, 1978.

KLEMP, S. M.; ZEILHOFER, P.; **Análise preliminar da dinâmica de implantação de pivôs de irrigação central, de 1985-2005 na bacia hidrográfica do Alto rio das Mortes – MT, Brasil**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4731-4738.

MERRIAN, J. L.; SHEARER, M. N.; BURT, C. M. **Evaluating irrigation systems and practices**. In: JENSEN, M. E. Design and operation of farm irrigation systems. St Joseph. ASAE, 1983. P 721-762. (Monograph, 3).

MERRIAM, J.L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973.

PIRES, R. C. DE M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; CALHEIROS, R DE O. **Métodos e Manejo da Irrigação**. Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônômico. FUNDAG – FEHIDRO, 1999.

PINTO, J. M.; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. **Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho da irrigação de um pivô central no Oeste Baiano**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.76-85, 2006.

PEREIRA, A.S. **Desenvolvimento de um protótipo aplicador de produtos químicos para um sistema de irrigação pivô central**. 2001. 64f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PAIVA, J. B. D. de. **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão.** 1980. 125f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade de distribuição de água abaixo e acima da superfície do solo.** Engenharia na Agricultura, Série Irrigação e Drenagem, Viçosa, v.1, n.1, p. 1-7, 1993.

RODRIGUES, L. N.; et al. **Coefficientes de uniformidade: sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais.** IRRIGA, v.2, n.2, p.90-99, 1997.

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H. S.; DE CARVALHO, J. M.; GONÇALVES, A. O.; MATSURA, E. E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.187-191, 2001.

SANDRI, D.; CORTEZ, D. DE A. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 271-278, jan./fev., 2009.

SCHMIDT, W.; COELHO, R. D.; JACOMAZZI, M. A.; ANTUNES, M. A. H.; Distribuição espacial de pivô centrais no Brasil: I – Região Sudeste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 330-333, 2004. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – [http:// www.agriambi.com.br](http://www.agriambi.com.br).

SCHENKEL, R. **Distribuição de água do canhão final em sistemas de irrigação por pivô central.** 1992. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

SCHONS, R. L.; **Avaliação de Parâmetros de Desempenho de Sistemas de Irrigação por Pivô Central Visando sua Otimização Operacional.** 2006. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

SCHONS, R. L.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. Caracterização e avaliação de áreas irrigadas no Rio Grande do Sul. **Revista Tecnologia. & Ciência Agropecuária.**, João Pessoa, v.8, n.1, p.55-59, mar. 2014.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; MARTINEZ, M.A.; DENÍCULI, W. Uniformidade de Distribuição de Água em Sistemas de Aspersão, com Utilização de Aspensor Fixo com placa Defletora Auxiliar. **Engenharia Agrícola.**,V.5, n.4, p. 281-292, 1997.

VILELA, L. A. A. **Irrigação por autopropelido e pivô central.** Lavras: FAEPE, 1999.82p.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinkler. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p. 565-583, 1947.

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.

ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A. **Modelo de otimização de sistemas elevatórios de água** – OSEA – aplicado em um sistema para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central, XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBEA, 2001.