

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO  
DO TIPO PIVÔ CENTRAL MÓVEL**

**ADENILSON DOS SANTOS LIMA**

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP

Setembro - 2003

*Ao meu filho Renann,*

*A minha esposa Luciane pela compreensão e  
paciência,*

*Aos meus pais Samuel e Sirlei pelo incentivo  
e aos meus irmãos Reginaldo e Rafael.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar todas as etapas da minha vida.

Ao Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar, pela orientação.

Ao Sr. Alfonso Sleutjes e seu irmão Walter Sleutjes, proprietários da Fazenda Buriti Mirim, por terem viabilizado a execução deste trabalho.

Aos colegas de Pós-graduação, funcionários e professores do Departamento de Engenharia Rural, da Unesp de Botucatu – SP.

Em especial aos grandes amigos Márcio, Marizélia, Carlos e Wagner pelo apoio e amizade.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

1 - RESUMO .....	6
2 – SUMMARY.....	8
3 - INTRODUÇÃO.....	10
4 - REVISÃO DE LITERATURA.....	13
4.1 - Sistema de irrigação por aspersão Pivô Central.....	13
4.2 - Fatores que afetam o desempenho do sistema de irrigação.....	14
4.2.1 – Fatores climáticos .....	14
4.2.2 – Fatores não climáticos .....	16
4.2.2.1 – Influência da topografia .....	16
4.2.2.2 – Influência da pressão de operação.....	16
4.2.2.3 - Influência da velocidade de operação .....	17
4.2.2.4 - Influência na vazão do sistema.....	18
4.3 - Avaliação do sistema de irrigação.....	18
4.3.1 – Lâmina Média aplicada .....	18
4.3.2 - Uniformidade de distribuição.....	19
4.3.3 – Eficiência da irrigação .....	23
4.3.4 - Modelos matemáticos da distribuição da água .....	26
5 - MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1 - Localização geográfica.....	29
5.2 - Características do equipamento de irrigação.....	30

5.2.1 - Características do pivô central avaliado.....	30
5.2.2 - Características do conjunto motobomba .....	31
5.3 - Coleta de dados para avaliação do sistema .....	32
5.3.1 - Características eletro-mecânicas .....	32
5.3.2 - Levantamento Planialtimétrico.....	33
5.3.3 - Determinações de pressão .....	34
5.3.4 - Distribuição da água .....	35
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
6.1 - Avaliação do conjunto de recalque .....	37
6.1.1 - Vazão.....	37
6.1.2 - Altura manométrica e pressão no pivô.....	39
6.1.3 - Altura de sucção da bomba centrífuga - NPSH.....	41
6.2 - Características operacionais do equipamento.....	41
6.2.1 - Tempo por Volta.....	41
6.2.2 - Lâmina média aplicada .....	42
6.3 - Avaliação da qualidade da irrigação .....	43
6.3.1 - Uniformidade de distribuição.....	43
7 - CONCLUSÕES.....	51
8 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
APÊNCICE .....	61

## **1 - RESUMO**

Um sistema de irrigação deve possibilitar o manejo eficiente da lâmina de água aplicada. Para tal, é necessário avaliar o desempenho do sistema em operação. Este trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central rebocável operando em duas áreas com condições de desníveis e comprimento de adutora distintas. O ensaio foi realizado na fazenda Buriti Mirim, no município de Angatuba – SP, com duas regulagens no relê percentual, a 15% e 100%, com os pluviômetros espaçados de três em três metros, colocados em média a 0,50m de altura em relação ao solo. Para a avaliação do desempenho do sistema, utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), baseados a partir das lâminas de água coletadas em pluviômetros instalados sob os emissores do equipamento. Verificou-se que todos os valores do CUC ficaram abaixo dos valores mínimos recomendados demonstrando baixa

eficiência na distribuição de água do equipamento, e que as mudanças de posição afetaram os valores de lâmina d'água aplicados em relação aos valores de projeto.

## **2 – SUMMARY**

### **EVALUATION IRRIGATION SYSTEM REMOVABLE CENTER PIVOT**

**Botucatu, 2003, 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) –  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author: Adenilsom dos Santos Lima**

**Adviser: Antonio Evaldo Klar**

An irrigation system must possibilities the handling of the water with the maximum efficacy. For such, is necessary to evaluate the performance of the system in operation. Some parameters are used in the evaluations, the most important are: the uniformity of water distribution (CUD), and the Christiansen uniformity coefficient (CUC). So, the study had for objective to evaluate the uniformity of water distribution sprinkler system of central pivot removable that operates in three different areas, in different levels

and distinct length of main line, comparing and quantifying the values of uniformity and water table average applied in two positions of operation of the equipment, as well as the operational conditions of the system in function of these changes.

The study was carried through at Buriti-Mirim farm, in Angantuba - SP, with two regulations in rereads percentage, 15% and 100%, with the rain gauges spaced three meters each, distributed 0,50m average above soil surface. For the evaluation of the performance of the system, the Christiansen uniformity coefficient was used (CUC), based from the water table collected in rain gauges installed under the equipment sprinklers.

It was verified that all the values for the uniformity coefficients had been below of the recommended minimum values demonstrating low efficiency in the water distribution of the equipment, and that the position changes had affected the values water table applied in relation to the values of project.

---

Keywords: Uniformity coefficient, uniformity of distribution, central pivot.

### **3 - INTRODUÇÃO**

O aumento de produtividade da agricultura é um dos maiores desafios do Brasil para os próximos anos. A necessidade de aumentar a produção de alimentos vem naturalmente devido ao crescimento da população mundial e da necessidade de aumentar as exportações, haja vista, que a manutenção da balança comercial favorável é primordial para o desenvolvimento e crescimento do país.

Na agricultura, é essencial a aplicação correta da água às culturas, pois seu desenvolvimento está ligado a esta condição. A irrigação destaca-se como uma das principais técnicas, hoje disponível, a serem implantadas, para elevar os níveis de produtividade no país.

No dimensionamento e manejo da irrigação, faz-se necessário o conhecimento de parâmetros que expressem e quantifiquem a qualidade da operação. Basicamente além da uniformidade de aplicação, a qualidade de uma irrigação pode ser

definida por dois outros parâmetros de desempenho: pela eficiência e pelo grau de adequação.

A eficiência de distribuição e de armazenamento estão entre os parâmetros mais utilizados na avaliação da performance da irrigação. A eficiência de distribuição mede a quantidade de água armazenada na zona radicular em relação à lâmina infiltrada, enquanto a eficiência de armazenagem indica a adequação do reabastecimento na profundidade efetiva.

O grau de adequação é definido como a fração da área que recebe a quantidade de água capaz de manter a qualidade do produto e a produtividade vegetal no nível econômico desejado pelo agricultor (Frizzone, 1998). Como essa definição é muito ampla e requer a especificação da cultura, do solo e das condições de mercado, o grau de adequação é geralmente definido de forma simplificada, como a porcentagem da área que recebe, no mínimo, a lamina real necessária (Cuenca, 1989).

Algumas simplificações são adotadas na análise da qualidade da irrigação. Na prática, Fietz et al. (1999) afirmam que toda irrigação apresenta certo grau de desuniformidade, que resulta em áreas irrigadas com excesso ou com déficit; Na área sem déficit hídrico, a quantidade de água que se infiltra no solo em excesso é considerada perdida por percolação, mas na área com déficit hídrico, considera-se que toda a água infiltrada é armazenada na zona radicular; além disso, assume-se que a lâmina real necessária é constante em toda a área irrigada, desprezando-se a variabilidade espacial do armazenamento de água no solo.

A distribuição da água de irrigação por aspersão é função dos fatores climáticos, operacionais e de projeto. Uma medida da qualidade de uma irrigação é sua

uniformidade de aplicação de água. Esta uniformidade tem sido comumente expressa em termos de um coeficiente de uniformidade. Este coeficiente de uniformidade tem sido freqüentemente a base para comparação do desempenho de aspersão (Walker, 1979).

Solomon, (1979) citando Nogueira & Souza (1987), afirma que o valor do coeficiente de uniformidade de um determinado sistema de aspersão depende principalmente de variáveis de projeto, como tamanho e tipo de bocal, pressão e espaçamento de aspersores e de uma variável incontrolável, a velocidade do vento. Outros fatores são também mencionados como influentes no valor do coeficiente de uniformidade: medições imprecisas, diferenças físicas entre aspersores de mesmo modelo e marca, direção do vento, variabilidade do vento e demanda evaporativa do ar.

Uma análise real da qualidade de irrigação só é possível quando são associados os conceitos de eficiência com medidas de uniformidade, adequação da irrigação e perdas. Entretanto, ainda não é prática comum, nos dias atuais, avaliar os sistemas de aspersão após sua implantação. Somente através de avaliação é possível verificar o desempenho do sistema com o estabelecido no projeto, permitindo assim, identificar a necessidade de aplicação de uma técnica de manejo para sua adequação.

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar as variações de uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, tipo pivô central rebocável, que opera em duas áreas com condições de desnível e comprimento de adutora distintas, bem como caracterizar os problemas operacionais em função das mudanças de posição do equipamento.

## **4 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 - SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO PIVÔ CENTRAL**

Um sistema de irrigação por aspersão pivô central é constituído de vários componentes: sistema adutor, sistema central de comando, sistema de condução de água, sistema estrutural, sistema de movimentação e o de aplicação de água.

O sistema de movimentação do pivô central é feito a partir de um sistema propulsor que cada torre possui sendo constituído de um motorreductor (sistema formado por um motor elétrico, normalmente com  $\frac{3}{4}$ " a 1.5" cv e um conjunto de engrenagens) que transmite movimento às rodas através de um eixo cardã. A velocidade de rotação da torres define a lâmina a ser aplicada, sendo regulada através de um relê percentual na caixa de controle central, que comanda a velocidade da última torre. O sistema de aplicação de água de um pivô central é feito por meio de aspersores ou difusores

de diferentes tipos e tamanhos, sendo sua quantidade definida pelo tipo do pivô (Santana, 2000).

## **4.2 - FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

A irrigação por aspersão tem por objetivo distribuir água sobre a superfície do solo, de modo a permitir a infiltração sem escoamento superficial; além disso, a água deve ser distribuída de maneira mais uniforme possível, de forma a se obter uma adequada uniformidade de aplicação em condições de campo.

Muitos fatores podem interferir no nível de uniformidade de distribuição da água e podem ser classificados em climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento. Os fatores não-climáticos são relacionados ao equipamento e ao método de avaliação.

Quanto ao equipamento, os fatores são: pressão, de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento, e altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas por evaporação e deriva. Quanto ao método de avaliação, os fatores são: o espaçamento e o número de linhas radiais de coletores.

### **4.2.1 – Fatores climáticos**

Dentre as variáveis climáticas a irrigação por aspersão é influenciada principalmente pela ação do vento. Vários trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o

aumento da velocidade do vento provoca a diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta pelo aspersor e, conseqüentemente, pela diminuição da sobreposição dos jatos de água. (Ribeiro, 1982).

A influência da direção do vento sobre a distribuição de água do aspersor é bastante controversa na literatura. Alguns trabalhos têm relatado que o efeito encontrado sobre o CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen) foi muito pequeno, ou nulo (Wierma, 1995; Nogueira & Souza, 1987). Ptacek, citado por Moynahan (1972), verificou não existir orientação única na linha lateral em relação ao vento que possa resultar em maior CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen); outros autores afirmaram que o melhor posicionamento da linha lateral é perpendicular à direção do vento (Shull & Dylla, 1976); finalmente, que o melhor posicionamento da linha lateral é o paralelo à direção do vento (Vories & Bernuth, 1986).

Ribeiro (1982) menciona que o vento é o fator climático responsável pelas maiores variações na uniformidade e na eficiência de aplicação da água, sob irrigação por aspersão. Bernardo (1987), menciona que, além da velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar também exercem influência marcante no uso da irrigação por aspersão. Segundo Santana (2000) citando Withers & Vipond (1992), o efeito do vento no perfil de distribuição da água do aspersor pode ser atenuada pela diminuição do espaçamento entre aspersores, no sentido perpendicular a direção do vento.

Colombo et al. (1988) citado por Santana (2000), estudaram a influência da evaporação sobre os valores das lâminas coletadas, obtidas em ensaios noturnos e diurnos realizados em dois pivôs distintos, ambos de baixa pressão e dotados e

difusores, concluíram que são pequenas as diferenças entre lâminas aplicadas pelo equipamento nos dois períodos, indicando que as perdas por evaporação são inferiores a 2%, para as lâminas aplicadas entre 7 e 20mm por revolução.

## **4.2.2 – Fatores não climáticos**

### **4.2.2.1 – Influência da topografia**

A topografia do terreno influi também na seleção do sistema. As irregularidades do relevo na direção radial do equipamento podem provocar avarias à estrutura do pivô, e nestes casos os sistemas com trechos (distâncias entre torres) curtos se adaptam melhor do que os sistemas de trechos longos. Com relação às declividades do terreno na direção tangencial do equipamento, os pivôs podem funcionar com desníveis de até 20%. Entretanto, de uma maneira geral, se recomenda que a declividade da superfície a irrigar não ultrapasse 15%, para evitar escoamentos sobre o terreno. (Gomes, 1997).

### **4.2.2.2 – Influência da pressão de operação**

O uso de difusores, de acordo com Longley et al (1983), implica em menor altura manométrica total necessária, com conseqüente diminuição no custo de bombeamento. Bernuth & Gilley (1984) estimam que, nos Estados Unidos, cerca de 90% dos equipamentos instalados em 1984 foram projetados para trabalhar a pressões inferiores a 240kPa.

Segundo James et al (1982) e Bernuth & Gilley (1983), os difusores de baixa pressão apresentam maior sensibilidade às variações de pressão, especialmente em

terrenos declivosos, o que acarreta um custo adicional por dispositivos capazes de uniformizar a pressão ao longo da linha lateral.

Para verificação e controle da pressão do sistema pivô central, na prática se empregam normalmente manômetros metálicos tipo bourdon (Streeter & Wylie (1982). Entretanto, Gill (1984) cita alguns erros usuais de manômetros tipo bourdon, tais como erro devido a histerese, propagação dos erros e erro de angularidade.

#### **4.2.2.3 - Influência da velocidade de operação**

A velocidade angular de deslocamento da ala do pivô depende da velocidade da última torre, situada na periferia do circuito, a qual está regulada pela caixa de controle do equipamento, localizada na estrutura central do pivô.

Durante a irrigação a ala gira lentamente ao redor da estrutura central, mantendo-se e linha reta, devido a um dispositivo de alinhamento existente nas torres. Caso se reproduza um desalinhamento acentuado em alguma das torres, em virtude de algum obstáculo que impeça ou dificulte o movimento, o sistema de segurança imobiliza o equipamento para evitar que ocorram danos na estrutura da máquina. (Gomes, 1997).

Rodrigues et al (1992), analisando o desempenho de um pivô central de baixa pressão, equipado com tubos de decida em três velocidades de deslocamento, concluíram que houve diferença entre o tempo medido e o nominal para o giro completo do equipamento, com implicações na determinação da lâmina real aplicada. Esse mesmos autores citam, ainda, que para se fazer um planejamento racional do manejo da irrigação, torna-se imprescindível o conhecimento da lâmina aplicada e que a simples aceitação e

utilização dos valores nominais de velocidade de giro do projeto, sem uma prévia verificação por meio de testes de campo, implicam na imprecisão das lâminas aplicadas.

#### **4.2.2.4 - Influência na vazão do sistema**

O equipamento pivô central possui uma diminuição do fluxo de água ao longo da lateral, seguido de uma distribuição de pressão a partir do ponto do pivô em direção ao final da lateral, para que o equipamento como um todo aplique a mesma lâmina de água, a vazão de cada emissor aumenta a partir do ponto do pivô em direção á sua extremidade final (Rolland, 1982).

Russel (1942) recomenda a utilização de tubo de pitot para maior precisão fazendo determinações separadas da velocidade média a cada nova taxa de fluxo. Spink (1967) e Streeter & Wyllie (1982) confirmam que o tubo de pitot é um dos métodos mais eficientes para medição de vazão em tubulações, pois mede a velocidade num ponto do conduto. Recomendam que, para se obter medidas confiáveis, o tubo de pitot deve ser instalado a uma distância de 50 metros ou mais a partir de curvas, registros ou quaisquer outras singularidades.

### **4.3 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

#### **4.3.1 – Lâmina Média aplicada**

O planejamento racional de um sistema de irrigação, exige o conhecimento da lâmina (ou volume) aplicado bem como a distribuição da água pelo

equipamento de irrigação e o melhor meio para se obter esses dados é determiná-los nas condições normais de funcionamento (Olitta, 1977).

A lâmina média aplicada depende da vazão do sistema, da performance do sistema de movimentação das torres do pivô central, ou seja do tempo necessário para aplicar a lâmina desejada e da área irrigada.

Em trabalho realizado por Guerra (1988), avaliando quatro pivôs centrais, encontrou 13% a menos de valores de lâmina média aplicada em dois dos equipamentos, e para os demais 16% a mais da lâmina necessária do projeto, que era de 8,89mm.

#### **4.3.2 - Uniformidade de distribuição**

A aplicação de água por um sistema de irrigação, de acordo com Peri et al. (1979) e Walker (1979), é naturalmente desuniforme e para alguns métodos, altas uniformidades somente serão obtidas com o acréscimo de investimento ou elevação nos custos de operação.

Segundo Jensen et al. (1967), quando o perfil de distribuição de um sistema é conhecido, ele pode ser utilizado para avaliar a adequação de um equipamento de irrigação ou fornecer um valor numérico para ajustar a duração da irrigação, a fim de obter-se a lâmina desejada, de modo a garantir que a área receba uma irrigação adequada dividindo a lâmina média necessária pelo coeficiente de uniformidade.

Ring & Heermann (1978) afirmam que é necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação para poder avaliar a uniformidade de distribuição da água, que é uma característica bastante útil para comparar sistemas. Uma uniformidade

deficiente resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água para a obtenção do mesmo nível de produção e, paralelamente, se dois sistemas distribuem o mesmo volume, maior eficiência no uso da água tem o sistema que melhor distribuí a água na área.

Vários coeficientes de uniformidade tem caracterizado a distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador a estudar a uniformidade de distribuição em aspersão, quantificando-o através de um índice estatístico conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para o qual utilizou o desvio médio como medida de dispersão, expresso por:

$$CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_n|}{n \times y_n} \right] \quad (1)$$

Onde:

**CUC** = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

**y<sub>i</sub>** = Lâmina coletada no pluviômetro i;

**y<sub>n</sub>** = Lâmina média coletada;

**n** = Número de coletores.

Heermann & Hein (1968) afirmam que uma grande diferença de pressão pode causar redução significativa na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão convencionais. Entretanto, no pivô central, a uniformidade da lâmina não é somente função da diferença de pressão, mas também do

aumento do diâmetro dos bocais dos aspersores à medida que se afasta em relação ao centro da área irrigada. Os autores propuseram uma modificação na equação de Christiansen, para calcular a uniformidade de distribuição de água em sistemas de pivô central, que pode ser expressa por:

$$CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |y_i - y_p|}{\sum_{i=1}^n S_i \times y_i} \right] \quad (2)$$

em que:

$S_i$  = Distância do ponto do pivô ao ponto  $i$ , ou número do coletor;

$y_p$  = Lâmina média ponderada.

A lâmina média ponderada pode ser calculada por:

$$y_p = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n y_i \times S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad (3)$$

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (1985), outra forma de analisar a distribuição de água é examinando a uniformidade na porção da área irrigada que recebe menos água pela irrigação.

Conforme Davis (1966), o coeficiente de uniformidade de distribuição deve considerar a parte da área coberta pelos aspersores que fornecem as

precipitações mais baixas, isto é, deve-se considerar a média dos 25% menores valores da precipitação, em relação a média geral. Esse coeficiente é definido por:

$$CUD = \frac{y_{25}}{y_p} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

**CUD** = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

**Y<sub>25</sub>** = Média ponderada das menores precipitações correspondente a 25% da área.

Tooyamani et al. (1987) ao analisar sistemas de irrigação pivô central com difusores constatou alta uniformidade com qualquer difusor desde que os bocais sejam espaçados adequadamente.

Vários pesquisadores, ao avaliarem a uniformidade de distribuição em sistemas pivô central operando a baixa pressão encontraram coeficientes de uniformidade (CUC) acima de 80% e o coeficiente de distribuição (CUD), acima de 75% (Cotrim, 1988; Santos, 1988; Furukawa, 1991; Rezende, 1992).

A uniformidade de aplicação em pivô central pode ser melhorada consideravelmente se a redistribuição de água no perfil do solo for considerada (Tooyamani et al., 1987). De acordo com Hart citado por Santana (2000), existe uma redistribuição horizontal na camada superficial da água aplicada ao solo, ocorrendo um sensível acréscimo da uniformidade da umidade do solo. Segundo Perrens (1984), a intensidade de

redistribuição de água no solo está relacionada com a textura e ele obteve, num período de dois dias um aumento na uniformidade de 60% para 67% em solos de textura arenosa e de 60% para 73% em um solo do tipo areno-siltoso.

#### 4.3.3 – Eficiência da irrigação

Segundo Penaforte et al. (1993), a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação. A determinação desses parâmetros permite verificar se o sistema atende as características de projeto, possibilitando assim, estabelecer correções que possam melhorar o seu desempenho.

Para Israelsen & Hansen (1962), a eficiência de irrigação indica a adequação com que a água requerida é utilizada e pode ser subdividida em eficiência de aplicação ( $E_a$ ), eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) e a perda por percolação profunda ( $P_p$ ).

A eficiência de aplicação é um indicador da água aplicada em excesso ou déficit na área, durante a irrigação, sem dar a idéia da adequação, quanto ao reabastecimento da zona das raízes, expressa por:

$$E_a = \frac{V_s}{V_a} \quad (5)$$

Onde:

$V_s$  = Volume armazenado na zona radicular, em mm;

$V_a$  = Volume da água aplicado, em mm.

A eficiência de armazenamento é indicador do reabastecimento, sendo expressa por:

$$E_s = \frac{V_s}{V_r} \quad (6)$$

Onde:

$V_s$  = Lâmina armazenada, na zona radicular, em mm;

$V_r$  = Lâmina de água requerido, pelas plantas, em mm

A água que percola, ultrapassando a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas nos mostram as perdas existentes, podendo ser expressa por:

$$P_p = \frac{V_e}{V_a} \quad (7)$$

Onde:

$V_a$  = Lâmina de água aplicado, em mm;

$V_e$  = Lâmina de água aplicado, em excesso, em mm.

Além desses parâmetros anteriormente definidos, Scaloppi (1984), define a eficiência de distribuição da água ( $E_d$ ), como a relação entre a quantidade de água armazenada na zona efetiva das raízes e a quantidade de água infiltrada ou coletada.

Entretanto Hart et al. (1979) concluíram que o desempenho de um sistema de irrigação pode ser plenamente descrito por quatro parâmetros: a fração de água armazenada na zona radicular, a fração do requerimento apropriado, a fração de água distribuída que foi absorvida e a fração de água infiltrada que percola abaixo da lâmina de infiltração média.

Estes autores sugeriram limites para os quatros parâmetros por eles definidos, denominados de níveis dos parâmetros da qualidade da irrigação e a partir desses níveis sugerem seis categorias de desempenho da irrigação.

Ainda Bernardo (1989) define a eficiência, em potencial de aplicação (Epa), como a estimativa da porcentagem total da água aplicada pelo sistema que atinge a superfície do solo e ou das plantas. Esta eficiência expressa as perdas por evaporação e pela deriva ocasionada pelo vento, sendo um parâmetro que relaciona a quantidade de água necessária à cultura com a quantidade de água a ser aplicada pelo sistema.

A eficiência de aplicação em potencial, de um sistema de irrigação, conforme Merriam & Keller (1979), pode ser expressa por:

$$Epa = \frac{L_c}{L} \quad (8)$$

Onde:

**Epa** = Eficiência de aplicação em potencial (%);

**Lc** = Lâmina média coletada;

**L** = Lâmina média aplicada por rotação.

Avaliando sistemas de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão, Cotrim (1988) estimou que os valores de Epa encontrados variaram entre 77 e 90%, quando a velocidade média do vento variou entre 0,0 e 0,95 m.s<sup>-1</sup>.

Ao estimar a eficiência em potencial de aplicação para um pivô de baixa pressão, Santos (1988) observou que para uma mesma velocidade operacional do sistema, quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar, maior foi a perda por evaporação, conseqüentemente, menor foi a eficiência. A velocidade média do vento variou

entre 0,6 e 2,2m.s<sup>-1</sup> e a umidade relativa do ar entre 60% e 67%. Os valores de Epa encontrados variaram para estas condições de 66 a 78%.

#### **4.3.4 - Modelos matemáticos da distribuição da água**

A tendência da pesquisa, segundo Leme (1986), é ajustar aos dados obtidos nos ensaios à campo uma função matemática (ou modelo matemático) e, a partir desta função, estabelecer os parâmetros que determinam o desempenho do sistema, ou seja estimar o coeficiente de uniformidade e a eficiência de irrigação (Ea, Es e Pp). Este aspecto é reforçado por Elliot et al. (1980) e Frizzone (1992), que afirmam que uma vez definida a distribuição de água aplicada na área, torna-se possível determinar a eficiência de aplicação, que analisada com outros fatores determina a adequabilidade da irrigação.

Segundo Walker (1979), dois são os modelos utilizados para descrever a distribuição de água num sistema de irrigação por aspersão; o modelo normal de Hart (1961) e o modelo linear de Karmeli (1978).

Segundo Souza & Ribeiro (1984), o modelo normal de Hart apresenta certa complexidade para a sua utilização e, por isso, optaram pelo uso do modelo de Karmeli, num estudo para gerar informações para planejamento e avaliação de um sistema de irrigação por aspersão. Segundo esses autores, o modelo de Karmeli é um método preciso, de fácil aplicação, capaz de estabelecer um padrão de distribuição no sistema de irrigação por aspersão e também de fornecer outros parâmetros como eficiência e perda.

Ao comparar outros modelos de distribuição estatísticos como o beta, normal e linear, Elliot et al (1980) concluíram que o modelo de distribuição beta ajustou melhor às lâminas de aplicação de água do que os modelos linear e uniforme. Para coeficientes acima de 65%, a distribuição normal forneceu melhor ajuste que modelo linear e para baixos coeficientes de uniformidade o oposto se verifica. Ainda citam que, o cálculo dos volumes de água necessários na determinação das eficiência de irrigação, os modelos normal e linear são mais práticos para o uso que o modelo beta.

Conforme Karmeli (1978), para bons valores de uniformidade de distribuição de água, tanto o modelo linear quanto o normal estimaram adequadamente os dados de campo. Para baixos valores de uniformidade de distribuição de água, isto é para coeficientes de uniformidade de Christiansen menores que 55%, o modelo linear comportou-se melhor em suas estimativas.

Segundo Frizzone (1992), para avaliar a adequabilidade da irrigação deve-se utilizar uma distribuição de frequência acumulada, que é constituída com lâminas coletadas durante os ensaios de uniformidade de distribuição e com a fração da área total representada por cada um dos coletores. Os modelos linear de Karmeli (1978) e o normal de Hart (1961) utilizam a adimensionalização das lâminas coletadas, relacionando-as com a lâmina média coletada.

De acordo com Hart (1961) e Hart & Reynolds (1965), após o estudo de vários testes realizados com aspersores, concluíram que o modelo de distribuição de água é definido pela função de distribuição normal e desde que a média e o desvio padrão dos dados obtidos sejam conhecidos, pode-se determinar os parâmetros relacionados a aplicação de água e fração da área molhada. Citam ainda que a curva de frequência

adimensionalizada para aspersores tem, normalmente, a forma de “S”, quando o modelo tende à distribuição normal e se o coeficiente de variação (Cv) tem um valor relativamente baixo, a distribuição ocorre em torno da média e a uniformidade é elevada. De outra maneira, quando o coeficiente de variação aumenta o modelo de distribuição é menos uniforme.

Após utilizar dados de distribuição de aspersores, com vários coeficientes de variação, Karmeli (1978) concluiu que com o uso do modelo linear se consegue boas estimativas para a maioria das situações e recomendam o seu uso quando o coeficiente de variação da distribuição dos dados obtidos em ensaios estiver acima de 0,62.

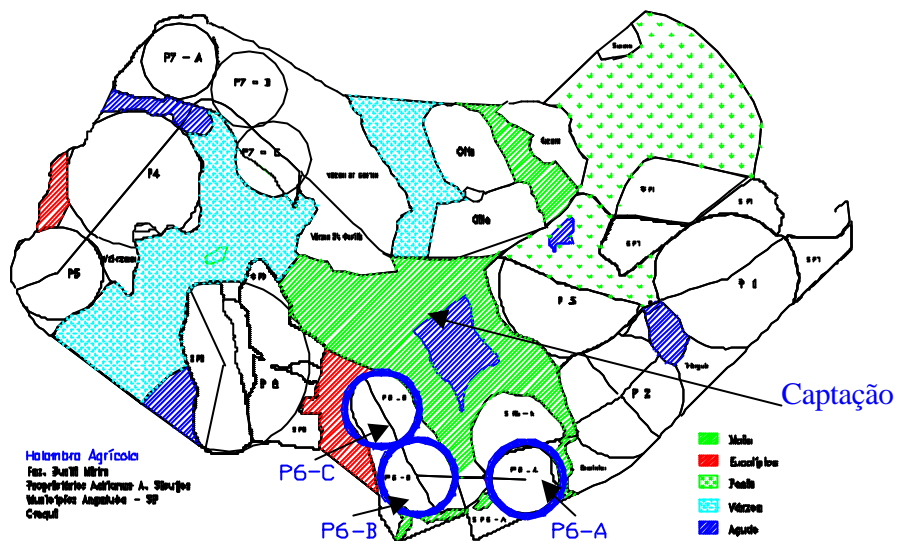
Souza & Ribeiro (1984) aplicam o modelo linear de Karmeli e apresentam as equações que permitem determinar os parâmetros para avaliar a qualidade da irrigação e o mesmo é feito por Walker (1979) e Leme (1986), em relação ao modelo normal de Hart.

## **5 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, no município de Angatuba, distante 200Km de São Paulo aproximadamente, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: latitude de 23°4' sul e longitude 49° oeste e 630m de altitude.

Dentre os oito equipamentos de irrigação do tipo pivô central instalados na fazenda para a realização deste ensaio, foi avaliado um dos dois modelos rebocáveis existentes na fazenda, denominado P-6, sendo que este trabalha em três posições denominadas P6-A, P6-B e P6-C, (Figura 1). Foram avaliadas duas posições distintas de trabalho do equipamento, uma mais próxima do ponto de captação com 45m de desnível até o centro do pivô e distante 763m de distância da casa de bombas, denominada de P6-C, e outra no ponto mais distante com 62m de desnível até o centro do pivô e 1307m de distância da casa de bombas, denominada P6-A.



**Figura 1.** Mapa da fazenda com a localização dos pontos de operação do pivô, P6-A, P6-B e P6-C.

## 5.2 - CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO

### 5.2.1 - Características do pivô central avaliado

O sistema de irrigação avaliado é do tipo pivô central rebocável, de fabricação da empresa Hidro Power, modelo HP-600 PM 4-638/L3 com canhão final, trabalhando em três posições, operando em baixa pressão, com quatro lances de 54,50m, lance em balanço de 20,10m e alcance do canhão final de 25m, tendo 238,10m de comprimento total o equipamento e raio efetivo irrigado de 263,10m, totalizando uma área circular irrigada de 21,75 ha por posição, com área total irrigada na três posições de 65,25

ha. A altura livre entre o terreno plano e as torres é de 2,90m, o conjunto de aspersão é importado da marca Nelson com difusores e reguladores de pressão, e assim como o pivô, estão instalados há quatro anos (Figura 2 e 3).

### 5.2.2 - Características do conjunto motobomba

O sistema de bombeamento é constituído por uma bomba da marca IMBIL, modelo BEW 100/4, rotor com 265mm de diâmetro, acoplado por meio de luva elástica a um motor elétrico de marca WEG modelo IP-54, fator de serviço 1,0, com 100cv a 1780 rpm.



**Figura 2.** Vista do equipamento e coletores durante o ensaio de precipitação.



**Figura 3.** Vista do equipamento e coletores durante o ensaio de precipitação.

### **5.3 - COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA**

#### **5.3.1 - Características eletro-mecânicas**

Dentre as características eletro-mecânicas a serem avaliadas em um pivô central, a que mais se destaca é a velocidade de rotação, uma vez que existe uma relação entre esta e a lâmina aplicada.

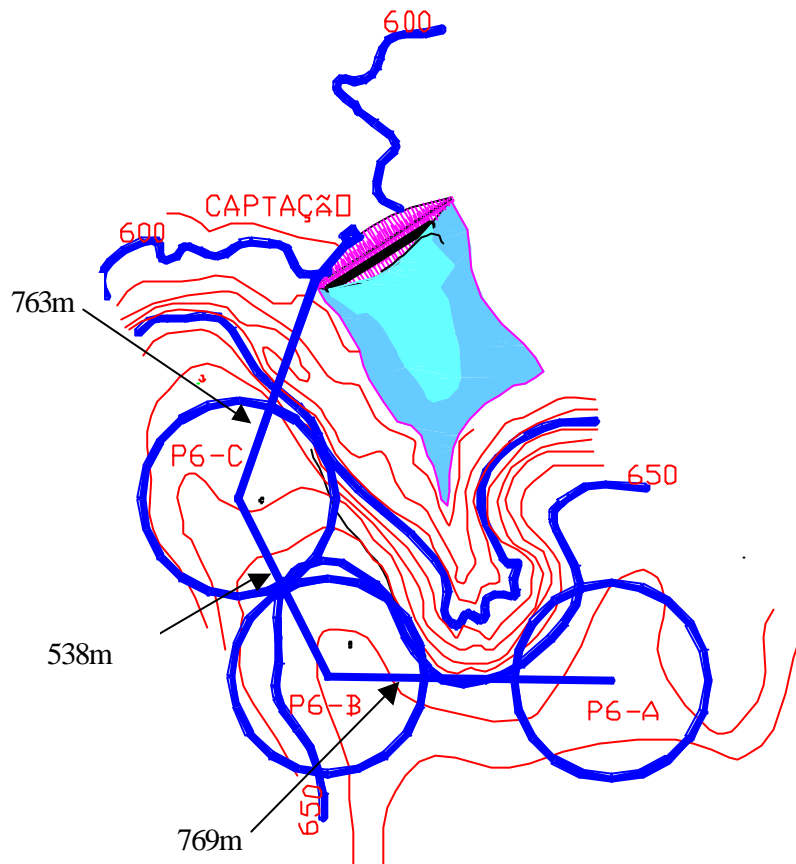
Para à avaliação do sistema foram utilizados dois ajustes no relê percentual que comanda a velocidade do equipamento. Um ajuste utilizado tomou como base o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas n°: 04:015.08-008, que determina que o equipamento deve ser operado a uma velocidade tal, que aplique uma

lâmina média não inferior a 15mm, em função disso o relê percentual foi ajustado a 15% e de acordo com tabela de lâmina fornecida pelo fabricante estaria aplicando 18,5mm. O segundo ajuste foi feito com relê percentual a 100% aplicando uma lâmina de 2,8mm, de acordo com Tabela do fabricante (Apêndice A).

Para determinação da velocidade de rotação do equipamento foram demarcados três distâncias com dez metros cada na trajetória da última torre e foi medido o tempo para o equipamento percorrer essas distâncias. Sendo este ensaio realizado com o equipamento na posição P6-C.

### **5.3.2 - Levantamento Planialtimétrico**

Os dados planialtimétricos necessários a avaliação do projeto, foram obtidos através do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo com levantamento aerofotogramétrico realizado em 1977, com escala de 1:10.000, com equidistância de curvas de nível de 5,0m. Sobrepondo o levantamento planimétrico da fazenda geograficamente referenciado, ao levantamento aéreo, obtêm-se os dados necessários ao projeto, como a diferença de nível entre a extremidade do equipamento na posição de maior acíve e o centro do pivô, assim como do centro do pivô ao ponto de captação (Figura 4).



**Figura 4.** Planta planialtimétrica dos pontos de operação do pivô.

### 5.3.3.- Determinações de pressão

Com o equipamento em operação, tanto na posição P6-C como posição P6-A, foram medidas no conjunto motobomba as pressões com o registro totalmente fechado (shut-off) e com o registro totalmente aberto para a posição P6-A e parcialmente aberto para a posição P6-C (4,5 voltas no registro, de acordo com recomendação do funcionário responsável pelo manejo do equipamento na fazenda), para avaliar as condições mecânicas da bomba, comparando-se os dados do projeto inicial, com

as condições reais do equipamento. Essa condição de abrir parcialmente o registro para as posições B e C justifica-se em função do limite de amperagem do motor. Em contrapartida, essa redução na abertura do registro da bomba limita a vazão do sistema, comprometendo o desempenho em qualquer situação, sendo o equipamento novo ou usado. Também foram medidas as pressões no centro (no tubo de subida da torre central) e na extremidade do equipamento (no tubo de descida do aspersor, antes do regulador de pressão) nos pontos de maior aclave de cada posição, sendo as medidas feitas com um manômetro tipo bourdon. A determinação das diferenças de nível entre a extremidade final do pivô, no centro do pivô e saída da bomba permite calcular as perdas de carga entre os pontos. A determinação das diferenças de nível entre os pontos citados permite determinar a perda de carga na tubulação podendo comparar essas variáveis com as fornecidas pelo fabricante.

#### **5.3.4 - Distribuição da água**

Para determinação da uniformidade e do perfil de aplicação de água, foram instaladas duas linhas radiais de coletores, em ângulo de 3 (três graus), com espaçamento entre coletores de 3,0m (Figura 5 e 6). Os coletores utilizados são de plástico e possuem diâmetro de 0,08m, sendo instalados em suportes metálicos em média a 0,5m de altura em relação ao solo. Os volumes coletados foram medidos com o auxílio de uma proveta graduada. Os ensaios foram executados posicionando-se o equipamento na posição de maior aclave do terreno. Procurou-se realizar os ensaios nos horários de menor demanda evapotranspirativa (neste caso, sempre no início da manhã), para evitar perdas por pelo vento e evaporação. As avaliações foram feitas com dois ajustes no relê percentual, a 100% e 15%.

A avaliação de uniformidade de distribuição de água de um mesmo equipamento operando em três áreas distintas, permite caracterizar os problemas operacionais como por exemplo os ajustes de pressão a serem feitos na saída da bomba em função das mudanças de posição, bem como a performance e eficiência da máquina, possibilitando sugerir mudanças necessárias ao bom desempenho do equipamento, corrigindo os pontos irregulares, objetivando racionalizar a utilização de água, energia e insumos via irrigação.

## **6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

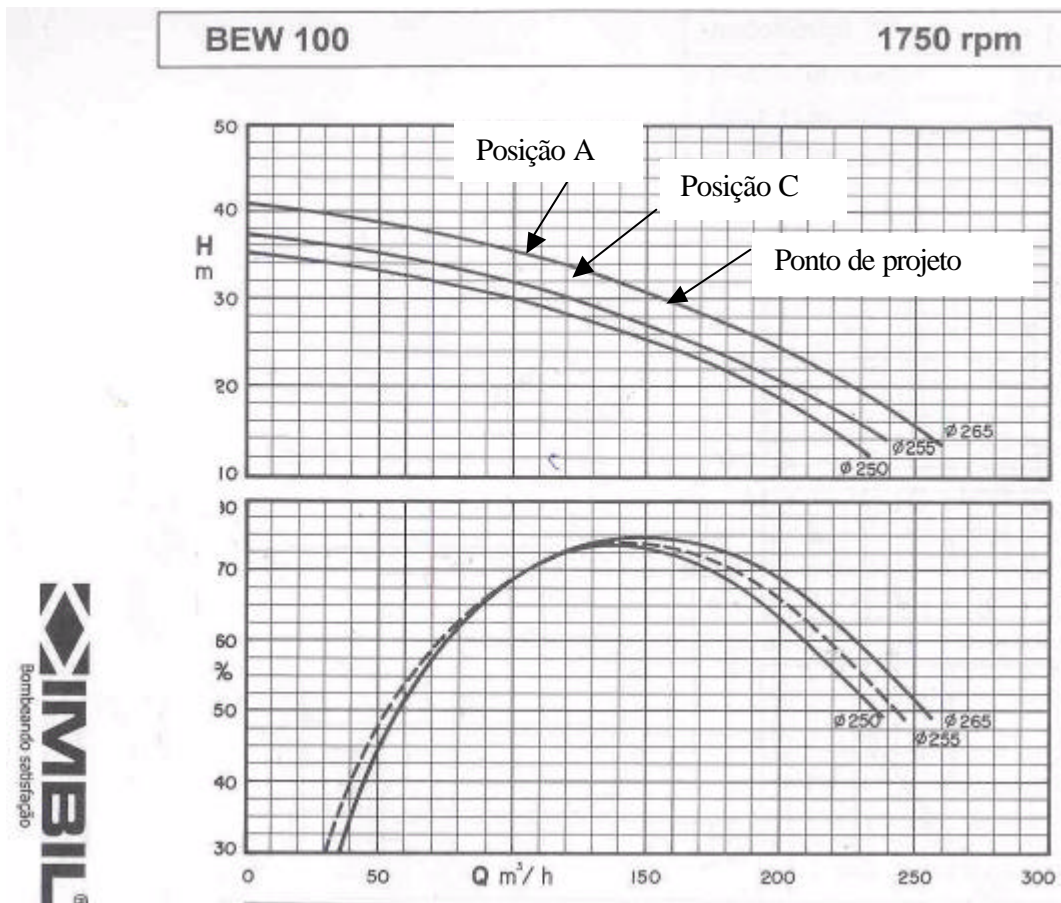
### **6.1 - AVALIAÇÃO DO CONJUNTO DE RECALQUE**

#### **6.1.1 - Vazão**

Comparando os valores de pressões medidos no campo com os valores médios de pressões de projeto, verifica-se através da curva característica da bomba utilizada, que houve uma redução nos valores da vazão do equipamento, de 34,16% e 22,87% para as posições A e C respectivamente (Tabela 1). Indicando provavelmente um desgaste no conjunto de reguladores de pressão fazendo com que ocorra uma mudança no ponto de trabalho da bomba.(Figura 5). Santana (2000), avaliando dois pivôs com kit de aspersão usados e novos, encontrou diferenças de 1% e 15,37% nas vazões dos equipamentos avaliados em relação aos valores de projeto.

**Tabela 1.** Desvio da vazão e da lâmina de projeto (por posição), estimadas com base na curva característica da bomba instalada.

	Pressões (m.c.a)	Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	Lâmina bruta por posição (mm)
Projeto	114	159,48	15,39
Posição A	140	105,00	10,13
Posição C	135	123,00	11,87



**Figura 1.** Curva de aplicação da bomba instalada.

Avaliando um sistema de irrigação por aspersão, tipo pivô central, em quatro diferentes posições da linha lateral e três velocidades de deslocamento, Zanini et al (1993) encontraram que, a maior variação da vazão foi de 3,67%, quando foram comparadas as posições de aclave com as de declive máximo. Tomazela (1991), analisando o desempenho hidráulico de um pivô central operando em condições de topografia variável, concluiu que para posições de aclave e declives máximos da linha lateral, houve um variação de 3,7% na vazão total do sistema ( $187$  e  $194\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) diferindo do valor adotado em projeto ( $182\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ). Também Rezende (1992), em trabalho semelhante aos anteriores, observou que houve 2,34% de variação de vazão total quando foram comparadas as posições em nível e em aclave máximos da linha lateral.

Heinemann et al. (1995) citado por Santana (2000), comentam que o volume de água necessário será maior em sistemas de irrigação por aspersão que possuam valores baixos de uniformidade, e que um incremento de CUC de 14% proporcionou uma economia de vazão aplicada da ordem de 11,6 %.

### **6.1.2 - Altura manométrica e pressão no pivô**

Na Tabela 2, verificam-se os valores de pressões observadas no equipamento trabalhando nas posições A e C, comparando com os valores médios de pressões de projeto.

**Tabela 2.** Dados da avaliação de pressão do equipamento, comparando os dados de projeto com os dados medidos na posição A e posição C.

Pressões	Projeto (m.c.a)	Posição na posição A (m.c.a)	Posição na posição C (m.c.a)
Motobomba	114,00	140,00	138,00
Centro do pivô	35,20	30,00	42,00
Extremidade do pivô	20,00	14,00	22,00

Através dos valores da Tabela 2, verifica-se que em relação a posição de projeto (posição A), que fica mais distante do ponto de captação, as diferenças de pressões no centro e na extremidade do pivô mostram um desvio 14,7% e 30% respectivamente em relação as pressões de projeto. No entanto a pressão na saída da bomba teve um acréscimo de 18,57% em relação a pressão de projeto, o que caracteriza um mal funcionamento das válvulas reguladoras de pressão, já que comparando a pressão medida com o registro fechado (shut-off), com a curva característica da bomba, observou-se no valor de pressão medida uma diferença de 1,17% a mais em relação a curva, caracterizando um bom desempenho do conjunto motobomba.

Em relação a posição C, embora as pressões medidas estejam acima das pressões de projeto, esses valores não indicam bons resultados de uniformidade de distribuição, conforme poderemos verificar pelos resultados de coeficiente de uniformidade e uniformidade de distribuição.

### 6.1.3 - Altura de sucção da bomba centrífuga - NPSH

O conjunto motobomba encontra-se instalado de maneira cumumente chamada de “sucção afogada” ou sucção positiva, isto significa que o eixo da bomba encontra-se abaixo do nível água, eliminando um dos problemas mais comum em sucções negativas, que a cavitação

## 6.2 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO EQUIPAMENTO

### 6.2.1 - Tempo por Volta

Na Tabela 3, verificam-se os valores de lâmina média aplicada com base na velocidade de deslocamento da última torre medida em campo, comparando-os com valores de velocidade e de lâminas de projeto.

**Tabela 3.** Comparação entre os valores de velocidade da última torre medida em campo com os valores de projeto.

	Percentímetro (%)	Perímetro (m)	Velocidade da última torre ( $m.h^{-1}$ )	Tempo por volta (h)	Lâmina (mm)
Projeto	100	1369,73	360	3,80	2,80
Medido	100	1369,73	378	3,62	2,65

Verifica-se pelos valores da Tabela 3, que o tempo necessário para o equipamento dar uma volta completa foi menor que o tempo especificado em projeto, consequentemente a lâmina a ser aplicada pelo equipamento tende a ser menor que a especificada em projeto. Essa redução no tempo para completar uma volta pode ocorrer em

função de vários motivos, como por exemplo tipo de solo, dimensão e pressões dos pneus etc.

### 6.2.2 - Lâmina média aplicada

Pela Tabela 4, verificam-se as variações encontradas para as lâminas médias dos pivôs nas posições A e C em relação aos valores de projetos, trabalhando com duas velocidades distintas.

**Tabela 4.** Comparação entre valores de lâminas médias calculadas com as lâminas médias de projeto.

Percentímetro (%)	Lâmina Média Aplicada (mm)		
	Projeto	Posição A	Posição C
15	18,5	20,95	21,26
100	2,8	2,63	3,12

Para a posição A, observa-se pelos valores da Tabela 4, que houve um desvio de 6,07% para uma velocidade de 100% e 13,24% para uma velocidade de 5% na posição A. Esses valores indicam que na posição A, a velocidade de operação influenciou em uma lâmina aplicada maior em relação a lâmina média de projeto já que esse foi o único parâmetro diferenciado, pois a pressão na extremidade do pivô manteve-se constante em 14mca durante os dois ensaios. O que não ocorreu durante o ensaio na posição C, pois a variação nos desvios de lâmina média aplicada ficaram acima dos valores de projeto, mostrando um desvio de 11,42% e 14,91% para as velocidades a 100% e 15% respectivamente. Em ensaios realizados em sete pivôs centrais SAAD et al.(1987),

encontraram desvios entre a lâmina média aplicada real e a de projeto variando entre 5 e 15%.

## **6.3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA IRRIGAÇÃO**

### **6.3.1 - Uniformidade de distribuição**

A CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (1993), conduzindo estudos para avaliar pivôs centrais, verificou que, dentre 11 pivôs analisados, um apresentou CUC de 63%, três estavam com CUC abaixo de 80% e os sete restantes com CUC maiores de 80 %. Merriam et al (1973), recomendavam valores de distribuição de água (CUC > 88%) para culturas de alto valor econômico e com sistema radicular raso, já para o caso de árvores frutíferas e culturas com sistema radicular profundo, admite-se uniformidade menores (70% < CUC > 80%).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 12:02.08-005, os parâmetros do Tabela 5 devem ser utilizados quando da avaliação do desempenho de um equipamento de irrigação por aspersão mecanizada (Pivô central ou lateral móvel).

**Tabela 5.** Classificação da uniformidade de distribuição de água segundo a ABNT, para pivô central.

CUC (%)	Classificação da uniformidade de distribuição de água
Menor que 80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
Acima de 90	Muito boa

Na Tabela 6, verificam-se os dados relativos aos coeficientes de uniformidade (CUC) obtidos na avaliação do pivô na posição A e posição C, com o relê percentual ajustado em 15% e 100%.

**Tabela 6.** Coeficientes de uniformidade de distribuição (CUC), obtidos após processamento dos dados dos ensaios nas posições A e C, com variação da posição de ensaio e velocidade de deslocamento.

Pivô	Posição	Percentímetro (%)	CUC (%)	LMP (mm)	Lmin. (mm)
P6	A	15	80,7	20,95	14,01
P6	C	15	83,9	21,26	12,63
P6	A	100	76,2	2,63	0,82
P6	C	100	82,6	3,12	1,74

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen; LMP: lâmina média ponderada do ensaio; Lmin.: lâmina mínima ponderada do ensaio

Os valores do CUC obtidos com os ensaios demonstram que, de acordo com a classificação da ABNT, o desempenho do equipamento avaliado consta como regular, sendo que na avaliação do pivô na posição 6-A, testado com relê percentual a 100%, o resultado demonstrou um desempenho ruim com um desvio de 5,57% em relação ao teste feito na mesma posição, porém com relê percentual ajustado a 15%. De qualquer modo, mesmo trabalhando na melhor condição de operação com pressão de trabalho necessária ao bom desempenho do emissor que seria a posição C, podemos observar ainda, um desvio no CUC de 1,54% entre as duas velocidades testadas, classificando a uniformidade do sistema como regular. Comparando os valores de CUC com as mesmas velocidades porém em posições diferentes, verificamos os desvios de 3,81% com o ajuste do relê percentual a 15% e 7,74% com o relê ajustado a 100% entre as posições A e C respectivamente.

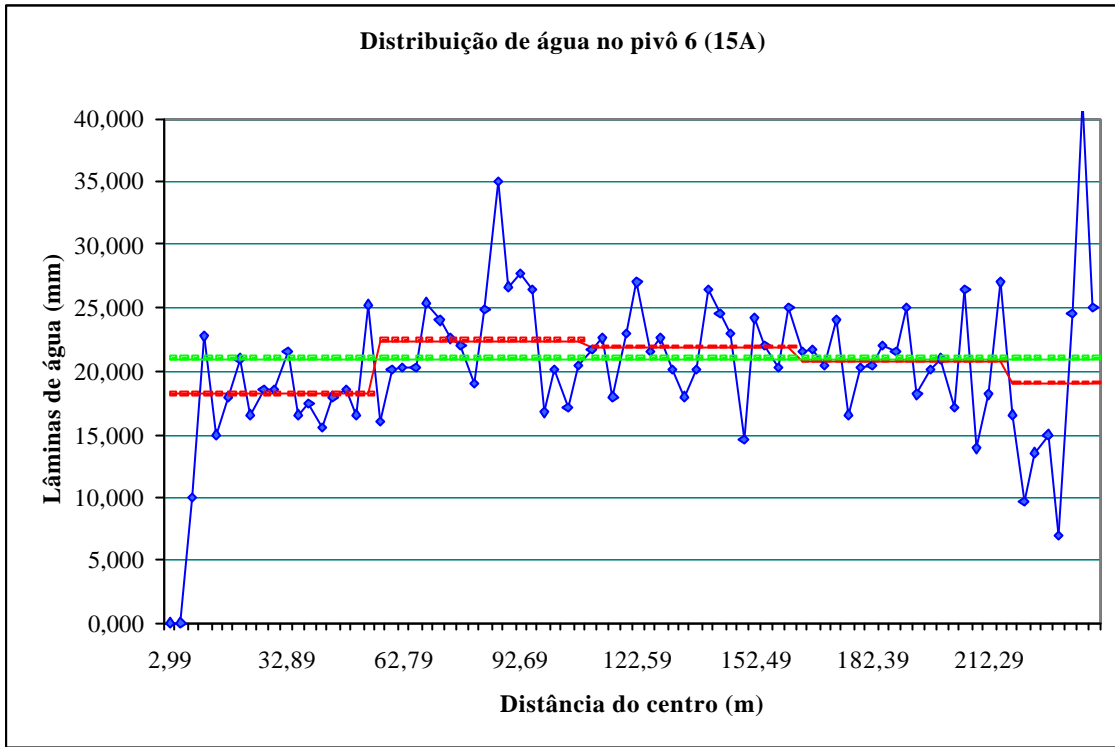
Com base nos valores da Tabela 7, observam-se os coeficientes referente a distribuição de água na área irrigada nas duas posições de ensaio. Esses coeficientes de distribuição de água (CUD) juntamente com os coeficientes de variação, representam quanto da área recebe pelo menos a lâmina mínima, e qual a variação acima ou abaixo das lâminas coletadas em relação a lâmina média.

**Tabela 7.** Coeficientes de distribuição (CUD), obtidos após processamento dos dados dos ensaios nas posições A e C, com variação da posição de ensaio e velocidade de deslocamento.

Pivô	CUD(%)	CV(%)	LMP(mm)	Lmin.(mm)
P6 15 A	66,9	155,5	20,95	14,01
P6 15 C	59,4	109,1	21,26	12,63
P6 100 A	31,2	28,5	2,63	0,82
P6 100 C	55,6	19,0	3,12	1,74

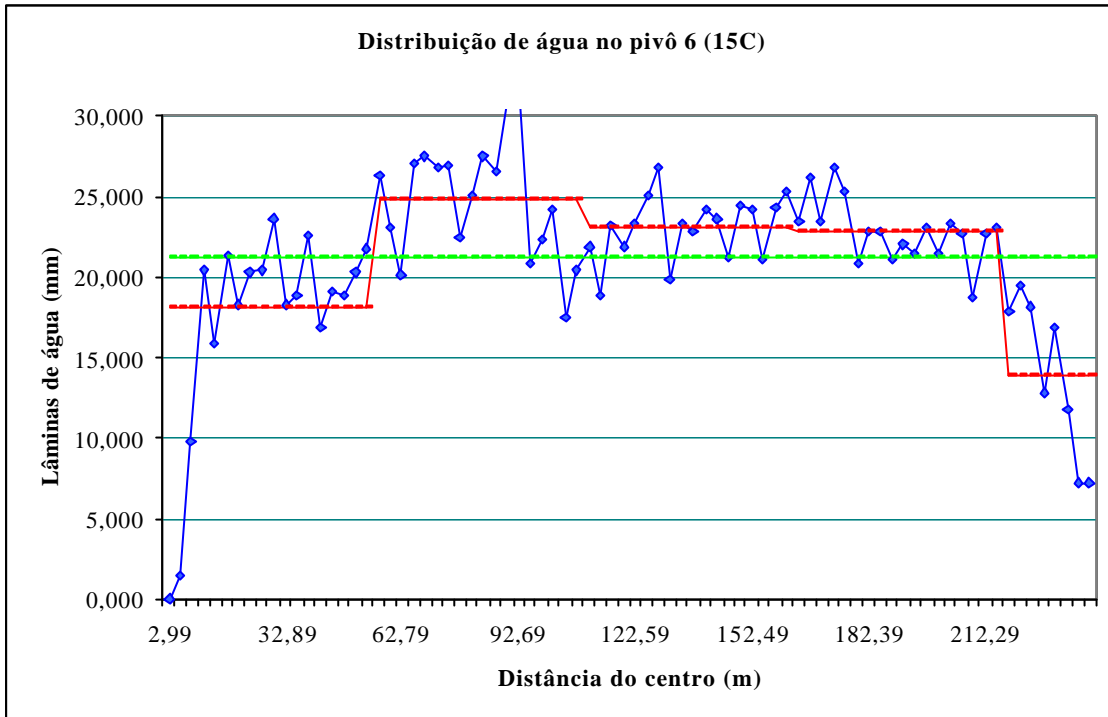
CUD: Coeficiente de uniformidade de distribuição; CV: coeficiente de variação; LMP: lâmina média ponderada do ensaio; Lmin.: lâmina mínima ponderada do ensaio

Podemos observar na Tabela 7, que os valores de coeficiente de distribuição de água para o ensaio nas duas posições A e C estão muito abaixo do valores mínimos recomendados para esse parâmetro, que é de no mínimo 80%. Podemos observar também, essa irregularidade através das Figuras 6, 7, 8 e 9, onde verifica-se o perfil de distribuição da água ao longo do pivô através da lâmina média ponderada do ensaio, lâmina coletada no campo e a lâmina média ponderada em cada lance.



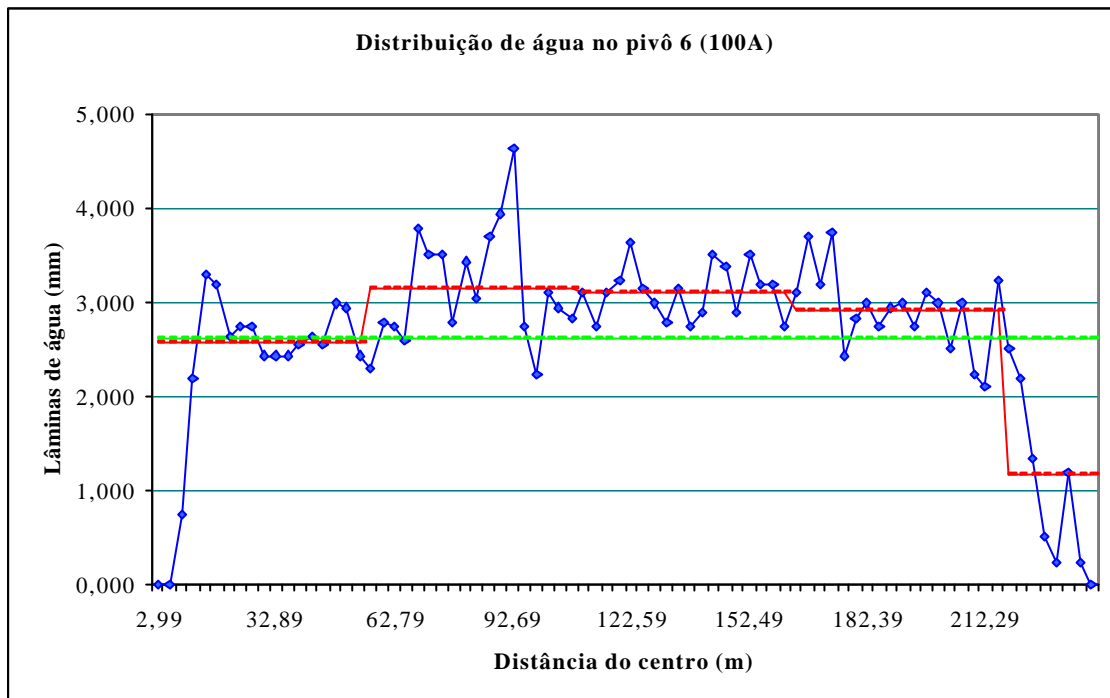
- Lâmina média ponderada do ensaio;
- Lâminas coletadas do campo;
- Lâmina média ponderada do vão.

**Figura 6.** Distribuição de água na posição A, com relê percentual a 15%.



- Lâmina média ponderada do ensaio;
- Lâminas coletadas do campo;
- Lâmina média ponderada do vão.

**Figura 7.** Distribuição de água na posição C, com relê percentual a 15%.

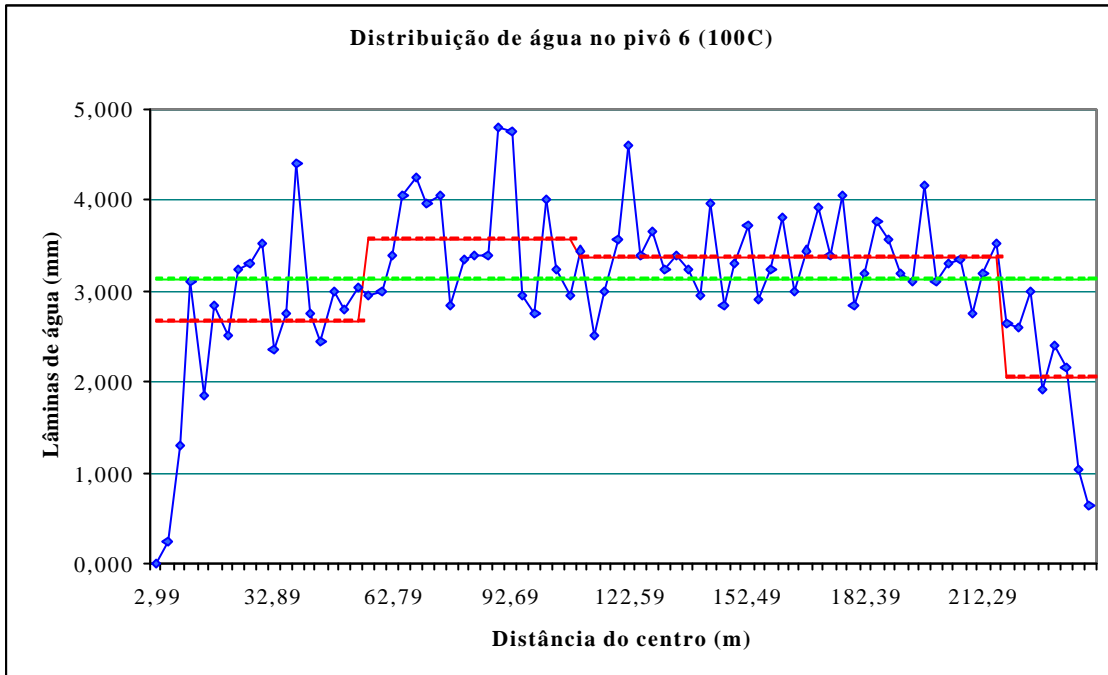


— Lâmina média ponderada do ensaio;

— Lâminas coletadas do campo;

— Lâmina média ponderada do vão.

**Figura 8.** Distribuição de água na posição A, com relê percentual a 100%.



- Lâmina média ponderada do ensaio;
- Lâminas coletadas do campo;
- Lâmina média ponderada do vão.

**Figura 9.** Distribuição de água na posição C, com relê percentual a 100%.

## **7 - CONCLUSÕES**

Com base nos resultados encontrados no ensaio, verificou-se que a mudança de posição, e conseqüentemente as características de dimensionamento do equipamento para a condição crítica, influenciaram nos valores de uniformidade de distribuição de água nas diferentes posições de trabalho, estando os valores em ambas as posições abaixo de 80% que é o mínimo recomendado.

Verificou-se o desgaste do conjunto de aspersão, pois no valor de pressão medida do conjunto motobomba (shut-off), constatou-se uma diferença de 1,17% a mais de pressão em relação a curva característica da bomba, caracterizando um bom desempenho do conjunto.

Em relação as condições operacionais, pode-se observar que um problema característico desses sistemas ocorre quando há a necessidade de mudança do

equipamento de base, havendo a necessidade de ajustes de pressão na saída da bomba, alterando a pressão e vazão do equipamento.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização e desempenho, método de ensaio. **Projeto de Norma 12:02.08-005**. Rio de Janeiro, 1985. 22p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1987. 488p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BERNUTH, R.D.; GILLEY, J.R. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 5, n. 27, p. 1435-1441, 1984.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Estudo de Otimização Energética: Setor irrigação – Pivô central**. Belo Horizonte, 22p., 1993.

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley University of Califórnia, 1942. 142p.

COTRIM, C.E. **Análise de uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão**. 1988. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COTRIM, C.E.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; SOARES, A.A.; DENICULI, W. **Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão**. Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM, Brasília, n.33, p.21-27, 1988.

CUENCA, R.H. **Irrigation systems desing: an engeneering approach**. New Jersey. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989. 552p.

DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinkler. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 5, n. 22, p. 94-97, 1966.

ELLIOT, R.L.; NELSON, J.D.; LOFTIS, J.C.; HART, W.E. Comparison of sprinkler uniformity models. **Journal of Irrigation and Drenaige Division**, Ann Arbor, v. IR4, p. 321-33, 1980.

FIETZ, C.R., FOLEGATTI, M.V., VIEIRA, S.R., FRIZZONE, J.A. Efeito da variabilidade do armazenamento da água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 150-153, 1999.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1992. 53p. Apostila.

FRIZZONE, J.A. **Uniformidade e eficiência da irrigação**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998. 40p. Apostila.

FURUKAWA, C. **Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde -GO**. 1991. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GILL, A.B. **Power plant performance**. London: Butterworth, 1984. 638p.

GUERRA, H.O.C. **Irrigação por pivô central no serviço de produção de sementes básicas (Bebedouro II)**. Avaliação Técnica. Petrolina: EMBRAPA, 1988. p. 1-43. Apostila.

HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 7, n. 42, p. 354-500, 1961.

HART, W.E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. IR3, n. 105, p. 275-888, 1979.

HART, W.E.; REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 10, n. 8, p. 83-90, 1965.

HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 1, n. 11, p. 11-50, 1968.

ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V. **Irrigation: principles and practices**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1962.

JAMES, L.G.; EVANS, R.G.; THOMPSON, R.G.; FOLLOWS, R.L. A comparasion low pressure center pivot irrigation system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p. 82–94, 1982.

JENSEN, M.E.; SWARNER, L.R.; PHELAN, J.T. Improving irrigation efficiencies. In: \_\_\_\_\_ Irrigation of agriculture lands. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, p. 1120-1142, 1967.

KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, n. 21, p. 662, 1978.

LEME, E.J.A. Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação através dos modelos normal e linear. **Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, n. 27, p. 11-14, 1986.

LONGLEY, T.S.; GARIUN, P.C.; STARK, J.C. Wind drift effects on evaporatranspiration under low pressure sprinkler. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p. 83-90, 1983.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1979. 271p.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system avaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 232p.

MOYNAHAN, M.D. **The use of sprinkler profiles to predict field performance.** 1972. 79 f. Masters Dissertation. Logan Utah.

NOGUEIRA, L.C., SOUZA, F. Avaliação de dois sistemas de irrigação por aspersão II – Análise da uniformidade de distribuição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1987, Jundiaí, **Anais...Jundiaí**, 1987. v. 1, p. 139-148.

OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação.** São Paulo: Nobel, 1977. 267p.

PENAFORTE, A.B.; SILVA, A.M.; FARIA, M.A.; LIME, L.A.; OLIVEIRA, M.S. Análise de performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus, **Anais...Ilhéus**, 1993.

PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.J. Optimal irrigation depths – a method of analysis, New York, v. 184, n. 105, p. 341-355, 1979.

PERRENS, S.J. Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation. **Journal Agricultural Engineering Research**, Cambridge, n. 30, p. 23-27, 1984.

RESENDE, R. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto a uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo.** 1992. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RIBEIRO, A.F.L. **Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear.** 1982. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RING, L.; HEERMANN, J.F. **Determining center-pivot sprinkler uniformities.** Logan: USDA, 1978. n.p. (USDA. Paper, 78-2001).

RODRIGUES, B.H.N.; SILVA, W.L.C.; FIETZ, C.R. Desempenho de um pivô central sob condições dos tabuleiros litorâneos do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1992, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, 1992. p. 997-1018.

ROLLAND, L. **Mechanized sprinkler irrigation.** Rome: FAO, 1982. 408p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 35).

RUSSEL, G.E. Flow through pipes. In: \_\_\_\_\_ **Hidraulics.** 5ed. New York: Henry Holt, 1942. p.180-266.

SAAD, A.M.; ALBINO, J.A.S.; COLOMBO, A. Irrigação: Por que avaliar o desempenho dos equipamentos. *Maquinaria Agrícola*, n.2, v.4, p.1-4, 1987.

SANTANA, R.C. **Influencia do redimensionamento hidráulico de precisão na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação do tipo pivô central.** 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SANTOS, N.C. dos. **Uniformidade de distribuição e a eficiência potencial de aplicação de água em um sistema de irrigação do tipo pivô central, em condições de cerrado.** 1988. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCALOPPI, E.J. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. **Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, Brasília, n. 16, p. 37-47, 1984.

SHULL, H., DYLLA, A.S. Wind effects on water application. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 3, p. 501-504, 1976.

SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; JUNIOR, L.T.; SCHNEIDER, A. Desempenho e otimização de um sistema de irrigação do tipo pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria, **Anais...**Santa Maria, 1992. p. 836-845.

SOUZA, F.; RIBEIRO, J.F. Aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão. **Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, n.16, p.7-10, 1984.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 5, n. 22, p. 1034-1038, 1979.

SPINK, L.J. **Principles and practice of flow water engineering**. 8. ed. Foxboro: The Foxboro Company. 1967. 575p.

STREETER, V.L.; WYLIE, E.B. **Mecânica dos fluidos**. 7. ed. São Paulo: McGraw-hill do Brasil, 1982. 585p.

TOMAZELA, C. **Desempenho hidráulico de um pivô central de baixa pressão em terreno com topografia variável.** 1981. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOOYAMANI, K.P.; NORUM, D.L.; DUBETZ, S. Application rates and uniformity under center-pivot sprinkler irrigation system using spray nozzles. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 2, n. 29, p. 49-54, 1987.

WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficient model. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 182, n. 105, p. 129-136, 1979.

WIERMA, J.L. **Effects of Wind variation on water distribution from rotating sprinkler. Brookling.** South Dakota Agricultural Experiment Station, 1955. 180p.

WITHERS, B., VIPON, S. **Irrigação: Projeto e prática:** São Paulo. E.P.U., 1977. 339p.

ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; BELLINTANI, C.A.; STORINO, M. Avaliação de um sistema de irrigação pivô central quanto a alguns aspectos hidráulicos e uniformidade de distribuição de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus, **Anais...Ilhéus**, 1993.

**APÊNCICE**

## FICHA TÉCNICA

Nome: <b>ADRIANUS A. M.SLEUTJES</b>	Proposta: <b>WR1-127/99</b>	Opção: <b>PR-6</b>
Propriedade: <b>FAZENDA BURITI MIRIM</b>	Local: <b>ANGATUBA - SP</b>	

### PIVÔ REBOCÁVEL

#### HP 600 PM 4-638/L3 CANHÃO

Baixa pressão, com 04 torres de sustentação

Composição do Equipamento			Alturas Manométricas		
comprimento vão inicial	638 ( 54,55 m)	54,55 m	pressão no extremo da tubulação do Pivô	20,00	mca
comp. vão intermediário	638 ( 54,55 m)	163,65 m	desnível ponto Pivô ao ponto mais alto	5,00	m
comp. vão intermediário	638 ( 54,55 m)	0,00 m	perda friccional no tubo Pivô	3,60	mca
comp. vão intermediário	638 ( 54,55 m)	0,00 m	altura dos aspersores	4,60	m
comprimento total dos raios (R.U.T.)		218,20 m	<b>Pressão na entrada do Pivô</b>	<b>33,20</b>	<b>mca</b>
comprimento do lance em balanço		20,11 m	desnível motobomba ao centro do pivô	60,00	m
comprimento total do equipamento(CTE)		238,31 m	perda friccional na adutora	16,37	mca
<b>Área Irrigada</b>			altura de sucção	0,00	m
alcance efetivo do canhão final		25,00 m	perdas diversas	1,00	mca
raio efetivo da área irrigada		263,31 m	<b>Altura Manométrica Total</b>	<b>110,57</b>	<b>mca</b>
área circular irrigada ( 360° )		21,78 ha			
número de posições		2,00 unid.	<b>Número out-lets do equipamento</b>	<b>104</b>	<b>pcs</b>
área total irrigada ( 360° )		43,56 ha			
<b>Características Técnicas</b>			<b>Unidade de Bombeamento</b>		
lâmina bruta a aplicar		7,70 mm/dia	vazão exigida	159,73	m³/h
tempo máximo de operação diário		21,00 h	pressão exigida	110,57	mca
vazão necessária		159,73 m³/h	<b>Informações Complementares</b>		
velocidade da última torre a 100%		180,00 m/h	desnível ponto do pivô ao ponto mais baixo	25,00	m
tempo mínimo para 1 volta a 100%		7,62 h	Ventosa Sim ( ) Não ( ) Válvula de alívio Sim ( ) Não ( )		
lâmina bruta mínima para 1 volta a 100%		2,79 mm			

#### Tubulação Adutora

Trecho	Comprimento	Diam.(mm)	Material	Coef.	Vazão m³/h	hf total (mca)	Veloc. (m/s)
A	480	200,0	AZ 8	137	159,73	4,53	1,41
B	1540	204,2	PVC 200/125	145	159,73	11,84	1,35
C							

Bomba	EXISTENTE	Motor Elétrico	EXISTENTE
marca	IMBIL	marca	WEG
modelo	BEW 100/4	modelo	IP-54
nº estágios	04	potência nominal	100,00 cv Fator
diâmetro dos rotores	265,00 mm	nº de fases	III fases
vazão prevista	159,73 m³/h	nº de pólos	IV pólos
pressão prevista	114,00 mca	rotação	1.750 rpm
rendimento	74,50 %	tensão	380 V
rotação	1.750 rpm	freqüência	60 Hz
potência absorvida no eixo	90,53 cv	eficiência	90,00 %
		consumo	74,03 Kwh

#### Fonte de Alimentação Trifásica (Recomendações)

Transformador da Unidade de Bombeamento		Transformador do Pivô Central	
potência	112,50 kva	Grupo Gerador	Transformador
tensão	380 v	potência	15,00 kva
		tensão	480 v
Distribuidor:	IRRIGAÇÃO CARRIEL	De acordo / Cliente:	
Enq. Responsável:		Nome:	ADRIANUS A. M.SLEUTJES
N.º CREA:		C.P.F.:	
		I.P.:	
Assinatura:	18/06/99	Assinatura:	18/06/99