UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

USO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL E SEU EFEITO NA LÂMINA E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

ADENILSOM DOS SANTOS LIMA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

USO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL E SEU EFEITO NA LÂMINA E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

ADENILSOM DOS SANTOS LIMA

Orientador: Prof. Dr. João Luís Zocoler

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Lima, Adenilsom dos Santos, 1975-
L732u Uso de inversor de freqüência em sistema de irrigação do tipo pivô central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água / Adenilsom dos Santos Lima. - Botucatu : [s.n.], 2009.
ix, 104 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009
Orientador: João Luís Zocoler
Inclui bibliografia

1. Irrigação agrícola. 2. Irrigação. 3. Água - Distribuição. I. Zocoler, João Luís. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu) Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"USO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL E SEU EFEITO NA LÂMINA E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA"**

ALUNO: ADENILSON DOS SANTOS LIMA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO LUÍS ZOCOLER

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. JOÃO LUÍS ZOCOLER

PROFª. DRª. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

PROF. DR. MARCIO FURLAN MAGGI

PROFª DRª MARITANE PRIOR

Data da Realização: 23 de janeiro de 2009.

Aos meus pais Samuel e Sirlei pelo amor incondicional,
carinho e incentivo. Agradeço a Deus pela minha família que
mesmo a distância estiveram sempre presentes...

OFEREÇO

Aos meus irmãos Reginaldo e Rafael,
pela torcida por mais essa realização...

AGRADEÇO

Aos meus filhos Renann e Otávio,
meus maiores incentivos na busca por realizações.
A minha esposa Luciane por ter me apoiado e incentivado
em todos os momentos importantes da minha vida...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar todas as etapas da minha vida.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Prof. Dr. João Luís Zocoler pela compreensão, confiança e orientação.

Aos Srs. Gilberto e Marco Tonon, proprietários da Fazenda Nossa Senhora Aparecida, por terem viabilizado a execução deste trabalho.

Ao Toninho e sua família, por terem me recebido em sua casa e ajudado na execução do trabalho de campo.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro concedido na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela atenção dispensada sempre que necessário.

Ao Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela disposição e importante ajuda na realização do Estágio Docência.

Ao pessoal da Seção de Pós-Graduação em especial à Marilena, Marlene e Kátia pela boa vontade e educação com que sempre me atenderam.

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

Enfim, a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a concluir este trabalho.

Meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS.....VII
LISTA DE FIGURAS.....VIII
RESUMO 1
SUMMARY 3
1 INTRODUÇÃO.....5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7
2.1 Características gerais do pivô central 7
2.2 Fatores que afetam o desempenho do sistema de irrigação por aspersão.....13
2.3 Avaliação de sistemas de irrigação.....14
2.4 Considerações gerais sobre bombas hidráulicas.....20
2.5 Verificação das Relações de Rateaux 24
2.6 Utilização de inversores de freqüência em sistemas de irrigação.....25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....31
3.1 Localização geográfica 31
3.2 Caracterização do sistema de irrigação.....32
3.2.1 Características do equipamento avaliado.....32
3.2.2 Determinação da velocidade de deslocamento do pivô central 35
3.2.3 Características do conjunto motobomba.....35
3.2.4 Inversor de freqüência 36
3.3 Coleta de dados para avaliação do sistema.....38
3.3.1 Levantamento planialtimétrico 38
3.3.2 Divisão dos ensaios 39
3.3.3 Posição das linhas coletoras 40
3.3.4 Ponderação das lâminas de água coletadas e delineamento experimental.....42
3.3.5 Dados climáticos.....43
3.3.6 Determinações de pressão.....44
3.3.7 Parâmetros do inversor de freqüência.....46

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....48
4.1 Dados climáticos registrados na área de ensaio.....48
4.2 Rotação do conjunto motobomba nos ensaios 1 e 2.....49
4.3 Coeficiente de uniformidade de aplicação.....51
4.4 Lâmina de irrigação.....53
4.4.1 Lâminas de irrigação para o Ensaio 1.....53
4.4.2 Lâminas de irrigação para o Ensaio 2.....55
4.5 Potência desenvolvida pelo motor elétrico.....57
4.6 Redução do consumo de energia devido ao uso da chave inversora.....59
5 CONCLUSÕES.....61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....63
APÊNDICE.....67

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1: Classificação da uniformidade de distribuição de água segundo a Norma Brasileira 14244. 19
Tabela 2. Valores de velocidade do vento e da evaporação durante os ensaios 1 e 2. 49
Tabela 3. Efeito da posição relativa da linha lateral na rotação do conjunto motobomba no ensaio 1. 50
Tabela 4. Efeito da posição relativa da linha lateral na rotação do conjunto motobomba no ensaio 2. 50
Tabela 5. Coeficiente de uniformidade de distribuição no ensaio 1. 52
Tabela 6. Coeficiente de uniformidade de distribuição no ensaio 2. 52
Tabela 7. Lâmina de irrigação no ensaio 1. 54
Tabela 8. Lâmina de irrigação no ensaio 2. 56
Tabela 9. Valores de potência do conjunto motobomba no ensaio 1. 58
Tabela 10. Valores de potência do conjunto motobomba no ensaio 2. 59

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Protótipo do sistema de irrigação tipo pivô central (1a) com detalhe da torre de sustentação da linha (1b). 8

Figura 2. Esquema ilustrativo de alguns componentes de um sistema de irrigação do tipo pivô central: (a) anel coletor; (b) estrutura de treliça dos vãos; (c) emissor de água; (d) "canhão" final; (e) torre do ponto pivô; (f) painel de controle; (g) torre móvel; (h) junta articulada e caixa de controle de alinhamento; (i) conjunto motorredutor. 8

Figura 3. Representação do movimento das torres do pivô. (a) torres alinhadas; (b) desalinhamento causado pelo deslocamento da última torre; (c) correção do desalinhamento com a última torre e conseqüentemente propagação do desalinhamento..... 11

Figura 4. Curvas características das bombas hidráulicas..... 22

Figura 5. Consumo de energia elétrica do sistema de irrigação em função do número de linhas abertas (ARAÚJO, 2003). 28

Figura 6. Esquemas elétrico e hidráulico do sistema de irrigação convencional e com a utilização de inversor de freqüência (ARAÚJO, 2003). 29

Figura 7. Croqui da área da fazenda com a localização dos equipamentos. 32

Figura 8. Sistema de bombeamento com associação de bombas em série. 36

Figura 9. Quadro de comando do inversor de freqüência. 37

Figura 10. Transdutor de pressão..... 38

Figura 11. Mapa planialtimétrico da área de localização do pivô central. 39

Figura 12. Disposição dos coletores de água na posição em aclive. 41

Figura 13. Disposição dos coletores de água em nível. 41

Figura 14. Disposição dos coletores de água em declive. 42

Figura 15. Termo-Anemômetro digital..... 43

Figura 16. Coletores de evaporação..... 44

Figura 17. Verificação da pressão na saída do conjunto motobomba. 45

Figura 18. Verificação da pressão no tubo de subida do pivô central. 45

Figura 19. Verificação da pressão na extremidade do pivô central. 46

Figura 20. Pontos de operação H_{man} (mca) x Vazão ($m^3.h^{-1}$) de acordo com pressões medidas no conjunto motobomba e vazões calculadas a partir da lâmina média ponderada para o Ensaio 1. 54

Figura 21. Pontos de operação H_{man} (mca) x Vazão ($m^3.h^{-1}$), de acordo com pressões medidas no conjunto motobomba e vazões calculadas a partir da lâmina média ponderada para Ensaio 2. 56

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 e lâmina de água aplicada por um equipamento de irrigação do tipo pivô central em função da variação da velocidade de rotação no conjunto motobomba com o uso de um inversor de freqüência e o efeito da posição da linha lateral nesses parâmetros. O trabalho foi realizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, no município de Coronel Macedo – SP. Foram testadas duas condições de operação: Ensaio 1 com pressão constante na saída do conjunto motobomba e Ensaio 2 com rotação variável de acordo com a necessidade de altura manométrica. Para cada condição de operação foram testadas três posições de linhas coletoras de água: aclive de 3,45%, nível e declive de 11,78%. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo feitas três repetições em cada posição testada. Aplicou-se a análise de variância seguida do teste de Tukey. O valores médios do coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein foi 90,02% e 88,85% para os Ensaios 1 e 2, respectivamente, qualificando a uniformidade de acordo com a Norma da ABNT como muito boa e boa. Também, a posição da linha lateral influenciou

significativamente na rotação do conjunto motobomba e conseqüentemente no consumo de energia. A lâmina média ponderada de irrigação aplicada foi 5,84 mm e 5,71 mm para os Ensaios 1 e 2, respectivamente, variando dentro de cada ensaio significativamente (5%) entre as posições de declive versus aclive e nível. Concluiu-se que para os Ensaios 1 e 2 a rotação e a posição da linha lateral influenciaram significativamente na uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada e consumo de energia, exceto para o Ensaio 2 onde não houveram diferenças nos valores de uniformidade de distribuição. Verificou-se também que as lâminas apresentaram valores acima dos fornecidos pelo fabricante.

Palavras-chave: uniformidade de distribuição, inversor de freqüência, rotação, pivô central.

USE OF THE FREQUENCY INVERTER ON CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM AND ITS EFFECTS ON WATER DEPTH AND WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY. Botucatu, 2009. 111f.

Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ADENILSOM DOS SANTOS LIMA

Adviser: JOÃO LUÍS ZOCOLER

SUMMARY

An irrigation system should enable the efficient management of the water depth applied. Therefore, it is necessary to evaluate the performance of the system in operation. This study aimed to evaluate the uniformity distribution and water depth applied in center pivot irrigation systems according to the change in speed of rotation of set motor pump with a frequency inverter and the effect of the position of the lateral line in these parameters. The study was conducted at the Nossa Senhora Aparecida Farm, in the city of Coronel Macedo – SP. Two operation conditions were tested: Test 1 with constant pressure in the output of set motor pump and Test 2 with variable rotation in accordance with the need of the pressure of system. For each condition of operation were tested three positions of lines of collecting: incline of 3.45%, level and the slope of 11.78%. The experimental design was completely randomized, and three repetitions at each position of lines collecting tested. It was applied to analysis of variance followed by Tukey test. The average value of the coefficient of uniformity of Heermann & Hein was 90.02% and 88.85% for Tests 1 and 2, respectively, discribing the uniformity according to the Standard ABNT as very good and good. Also, the position of the lateral line significantly influenced the rotation of set motor pump and consequently in energy consumption. The mean weighed depth of irrigation applied was 5.84 mm and 5.71 mm for Tests 1 and 2, respectively, varying in each test significantly (5%) between positions of the slope versus incline and level. It was concluded that for the Tests 1 and 2, the rotation and the position of and lateral line influenced significantly in uniformity of distribution, water depth

applied and energy consumption, except for the Test 2 where there was no differences in the values of uniformity of distribution. Also found that the water depth had values above the provided by the manufacturer.

Keywords: uniformity of distribution, frequency inverter, rotation, center pivot.

1 INTRODUÇÃO

Aumentar a produtividade e reduzir custos por unidade produzida é o que buscam hoje os diversos setores produtivos não só no Brasil. Na agricultura não é diferente, sendo a implantação de sistemas de irrigação, um dos principais fatores responsáveis para atingir esses objetivos. Neste aspecto, os parâmetros que expressam a qualidade da irrigação devem ser entendidos como componentes decisórios do processo de planejamento e operação dos sistemas de irrigação.

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.

O conhecimento do desempenho do equipamento, principalmente em relação à uniformidade de distribuição de água e lâmina de água aplicada, é imprescindível para se tomar medidas que permitam economizar água e energia. Quando se aplica somente a lâmina de irrigação necessária numa área (sendo que esta lâmina corresponde à lâmina média), devido à falta de uniformidade, uma fração dessa área é irrigada com excesso, enquanto que

em outra fração ocorre déficit de água. Na fração com excesso, uma parte fica armazenada na zona das raízes para uso das plantas e a outra parte é perdida por percolação profunda, transportando também parte dos nutrientes daquela camada. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considera armazenada na zona radicular, porém, em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas. Por outro lado, se a lâmina média de irrigação aplicada for maior que a necessária, pode-se até eliminar a fração com déficit de irrigação, porém o custo da irrigação sobe, podendo até se tornar inviável economicamente, além de agravar a lixiviação dos nutrientes. Portanto, a uniformidade de distribuição da água da irrigação deve ser analisada não apenas como uma simples informação de dispersão, mas sim como um importante parâmetro na avaliação econômica da irrigação (ZOCOLER; CESAR e VANZELA, 2004).

Atualmente o bombeamento de água se tornou uma importante parcela do custo de produção, forçando o irrigante a procurar alternativas que possibilitem reduzir custos. Os motores elétricos são os equipamentos que consomem a maior parte da energia elétrica utilizada nos sistemas de irrigação, e o dimensionamento errado desses equipamentos poderá acarretar um maior consumo de energia elétrica. A utilização de inversores de freqüência, que possibilitam a variação de rotação do conjunto motobomba, permite ajustar o consumo de energia elétrica às necessidades de carga.

Nos sistemas de irrigação, normalmente os motores elétricos utilizados para acionamento das bombas são dimensionados para atender a máxima demanda de vazão associada com a máxima altura manométrica. A utilização de inversores de freqüência nesses sistemas pode resultar em substancial redução de consumo de energia elétrica. Henson et al. (1996), citado por Carvalho et al. (2000), aplicaram o inversor de freqüência em alguns sistemas de irrigação com este objetivo, nos EUA, obtendo resultados satisfatórios, uma vez que a redução da potência consumida, provocada pelo uso do equipamento, gerou substancial economia de energia.

Neste contexto foi objetivo deste trabalho avaliar em um equipamento de irrigação tipo pivô central a uniformidade de distribuição e lâmina de água aplicada em função da variação de velocidade de rotação do conjunto motobomba com o uso de um inversor de freqüência e o efeito da posição da linha lateral nesses parâmetros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características gerais do pivô central

Segundo Marchetti (1983), o pivô central consiste, basicamente, em diversos bocais de distribuição de água (aspersores ou sprays) montados sobre uma linha lateral, suportada longitudinalmente por uma série de torres, que se movimentam sobre rodas ao redor de um ponto central denominado *ponto do pivô*. Para suportar o vão livre da linha lateral entre torres adjacentes, existe uma estrutura de treliças e tirantes que mantém a tubulação a uma determinada altura do solo (4 a 5 m) compatível com as culturas a serem irrigadas. Este equipamento foi desenvolvido por Frank Ziback, quando era fazendeiro no Colorado, nos Estados Unidos (Figura 1). Após muitas mudanças e ajustes, o sistema foi patenteado em 1952, sendo que, no início, o deslocamento das torres era feito por um dispositivo hidráulico-mecânico

denominado “Trojam bar”. A Figura 2 mostra os principais componentes dos equipamentos utilizados.



Figura 1. Protótipo do sistema de irrigação tipo pivô central (1a) com detalhe da torre de sustentação da linha (1b).

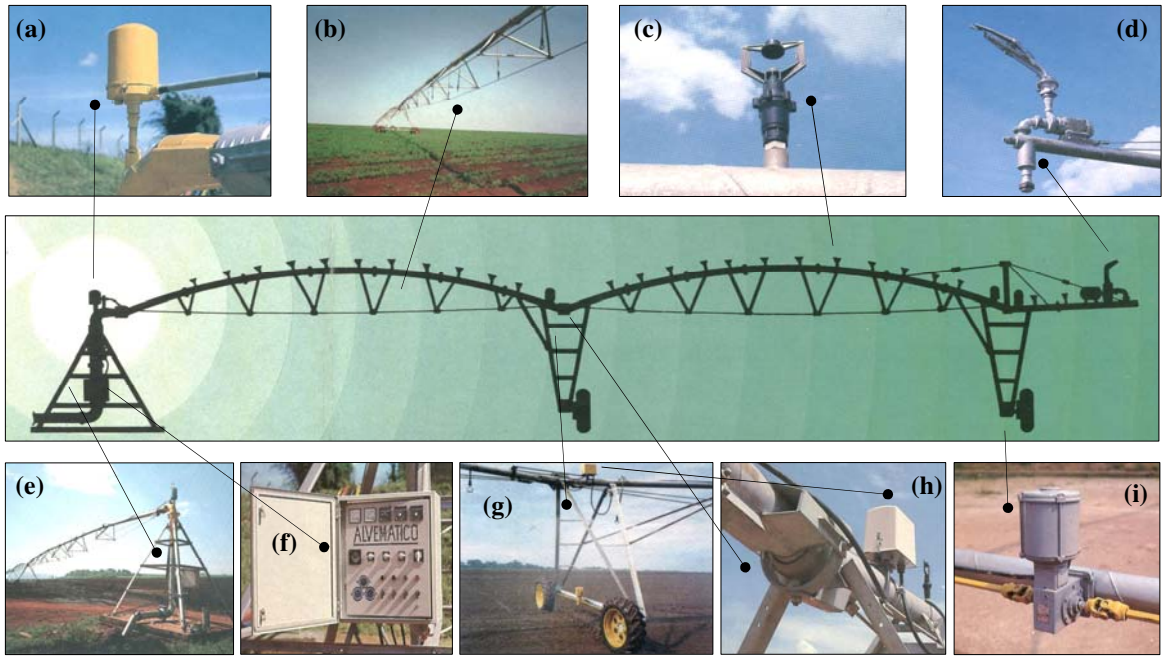


Figura 2. Esquema ilustrativo de alguns componentes de um sistema de irrigação do tipo pivô central: (a) anel coletor; (b) estrutura de treliça dos vãos; (c) emissor de água; (d) “canhão” final; (e) torre do ponto pivô; (f) painel de controle; (g) torre móvel; (h) junta articulada e caixa de controle de alinhamento; (i) conjunto motorredutor.

Os sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central disponíveis no mercado atualmente consistem de uma linha lateral (tubo de distribuição) suportada longitudinalmente por uma série de torres que se movimentam sobre rodas ao redor do ponto central da área irrigada, denominado ponto pivô (Figuras 2b, 2g e 2e respectivamente). O dimensionamento do diâmetro do tubo da linha lateral depende de alguns fatores sendo a vazão por ele conduzida e a perda de carga os principais. Os diâmetros utilizados comercialmente são: 5.$^{9/16"}$ (0,1412 m), 6.$^{5/8"}$ (0,1682 m), 8" (0,2032 m), 8.$^{5/8"}$ (0,2190 m) e 10" (0,2540 m). Para suportar essa tubulação entre as torres, denominada vão, há uma estrutura de treliças e tirantes, que mantém o tubo com os aspersores a determinada altura do solo. Essa altura também chamada de altura livre pode variar de 2,70 a 6,00 m, dependendo da cultura a ser irrigada. A topografia do terreno determina a composição (comprimento) dos vãos, quanto mais acidentado o terreno menor o comprimento dos mesmos. O vão é denominado de acordo com seu comprimento e este varia de acordo com o fabricante, podendo os valores a seguir serem usados como referência para composição de área irrigada: vão padrão ou curto (41,00 m); vão médio (48,00 m) e vão longo (55,00 m). Alguns fabricantes disponibilizam também o vão extra longo (61,00 m). A estrutura metálica ou parte aérea do pivô central é composta ainda pelo lance em balanço, montado na extremidade do equipamento na seqüência dos vãos, podendo o seu comprimento variar de 6,50 a 27,00 m.[1]

Na extremidade da tubulação, na ponta do lance em balanço, existe a possibilidade de ser colocado um aspersor canhão hidráulico setorial (Figura 2d), acionado por uma bomba reforço (*bomba booster*). De modo geral, utiliza-se para projeto um raio irrigado pelo canhão de 26,00 m, compondo assim a vazão e área total irrigada pelo equipamento. No campo sob condições ideais de umidade relativa do ar, temperatura e ausência de vento, esse raio irrigado passa de 30,00 m. Existem ainda, situações em projetos onde há "sobra" de pressão, quando isso ocorre, a bomba reforço é dispensada.[2]

---

[1] Os dados técnicos sobre pivô central como: composição, comprimento, diâmetro etc., foram obtidos por meio de experiência profissional;

[2] Idem Nota 1.

A ligação entre os vãos é dada por articulações flexíveis (Figura 2h), tornando o equipamento capaz de operar em terrenos de topografia irregular.

O ponto do pivô recebe água sob pressão, em um tubo vertical montado em armação metálica denominada tubo de subida, provindo normalmente por meio de tubulação de adução enterrada, quando a fonte de alimentação está localizada externamente à área irrigada. É possível a implantação de poços localizados junto ao centro da área irrigada.

O sistema de propulsão do pivô central é alimentado por cabos elétricos. Cada torre tem, na base, seu próprio motor elétrico de baixa potência (motorredutor, Figura 2i) de 0,75 a 1,5 cv que transmite o movimento por um eixo cardã aos redutores de rodas. A velocidade de rotação das torres em torno do ponto pivô define a lâmina a ser aplicada (quanto maior a velocidade menor a lâmina) e é regulada por um relê percentual no painel principal de controle (Figura 2f), localizado na base do pivô, sendo que este comanda a velocidade da última torre do equipamento. Na parte superior de cada torre são instaladas caixas elétricas de controle ou comando (Figura 2h), dotadas de micro interruptores, que determinam o movimento e alinhamento das mesmas.[3]

O deslocamento de toda a linha lateral (pivô central) no campo é comandado pelo movimento da torre mais externa (última torre). Supondo, inicialmente, que todas as torres estejam alinhadas e apenas a última se movimente, o acionamento do motorredutor da penúltima torre se processa quando o vão em movimento se deflete dos demais (Figura 3). Continuando o processo entre todos os vãos adjacentes, promove-se a movimentação de toda a linha de irrigação, pelo funcionamento intermitente dos motores da torres (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

[3] Os dados técnicos sobre pivô central como: composição, comprimento, diâmetro etc., foram obtidos por meio de experiência profissional.

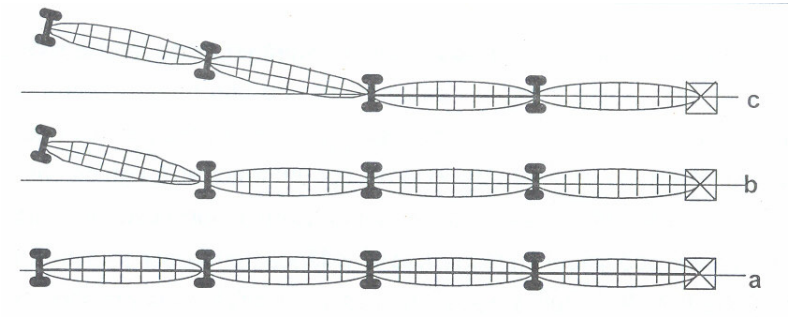


Figura 3. Representação do movimento das torres do pivô. (a) torres alinhadas; (b) desalinhamento causado pelo deslocamento da última torre; (c) correção do desalinhamento com a última torre e conseqüentemente propagação do desalinhamento.

A velocidade de revolução de um pivô central é controlada pela última torre, na forma de percentagem do tempo de liga/desliga, dado pelo comando do painel principal de controle, localizado no ponto pivô.

O controle de velocidade é feito por um mecanismo chamado relê cíclico (temporizador), que possuem ciclos de 60 segundos de forma que, na regulagem de 100% da velocidade, o motor fica ligado aproximadamente 59 segundos e desligado 1 segundo. Por exemplo, a 50% da velocidade, o motor fica ligado durante 30 segundos e desligado no mesmo período de tempo (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

Uma vez que a linha lateral (pivô central) opera em círculos, cuidados especiais devem ser tomados no projeto de aplicação de água, para se ter uma aplicação uniforme sobre a área.

Os “sprays” ou aspersores localizados próximos ao centro cobrem áreas menores do que aqueles localizados próximos ao extremo da linha, o que significa que a descarga de água dos primeiros aspersores na linha lateral deve ser menor, crescendo em direção à extremidade da linha. Esses sprays ou aspersores responsáveis pela distribuição de água são denominados emissores (fixos ou rotativos) montados sob a linha lateral e aspersores de impacto (rotativos) montados sobre a linha lateral (Figura 2c). O tipo e a quantidade dos aspersores variam de acordo com o comprimento do sistema. O uso desses dispositivos

depende principalmente das condições locais de solo, topografia e custos de energia. A aplicação de água é feita ao longo da tubulação por estes aspersores, espaçados regular ou irregularmente conforme o sistema empregado. Normalmente, para que a intensidade de aplicação de água na extremidade do equipamento não ultrapasse a velocidade de infiltração de água no solo, há a necessidade de se utilizar emissores ou aspersores com raio de alcance maior que nos demais localizados próximos ao centro do pivô.

A adutora de conexão entre a tomada d'água e a unidade pivô central é composta de tubulação de sucção, ligação de pressão ou saída de bomba e tubulação de adução com diâmetro dimensionado de acordo com a vazão do sistema, comprimento da linha, perda de carga e pressão de serviço. Devido ao custo e vida útil, os materiais mais utilizados para tubulação de recalque são: aço zincado e PVC (policloreto de vinila).

O acionamento do conjunto motobomba pode ser feito por motor a combustão ou elétrico, sendo que, por questões econômicas, o motor elétrico deve ser preferido sempre que houver disponibilidade de energia elétrica. No caso de acionamento por motor diesel, há a necessidade também um gerador de eletricidade para o acionamento dos motorredutores do pivô. Esse gerador poderá ser instalado junto à base do pivô ou em conjunto com o sistema de bombeamento, formando um sistema "3 x 1", bomba-motor-gerador.

A modernização do sistema pivô central tem ocorrido principalmente nos sistemas de propulsão, alinhamento e dispositivos de distribuição de água. Desde seu surgimento, foram incorporadas novas tecnologias como, sistema de propulsão elétrica, vãos de grande comprimento, articulações flexíveis entre torres, tubulação aérea de maior diâmetro e comprimento. A necessidade de reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo manter a uniformidade e eficiência de aplicação de água tornou-se grandes preocupações. A introdução de emissores de baixa pressão fixos, sistema LEPA (Low Energy Precision Application), mais recentemente "sprays" rotativos e também a utilização inversores de freqüência no controle da rotação do conjunto motobomba, buscam esses resultados.

2.2 Fatores que afetam o desempenho do sistema de irrigação por aspersão

Segundo Heinemann et al (1998), citados por Lima (2003), 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 radial 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.

Dentre as variáveis climáticas, a irrigação por aspersão é influenciada principalmente pela ação do vento. 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 Withers & Vipond (1992), citado por Santana (2000), 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.

Dentre os fatores não climáticos, 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 8% para vão longo, 12% para vão médio e 18% para vão curto.[4]

A descarga do aspersor é função do diâmetro e da pressão no bocal. Os aspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelo fabricante, para obter um bom perfil de distribuição. Na irrigação por aspersão convencional onde não se

[4] Os dados técnicos sobre pivô central como: composição, comprimento, diâmetro etc., foram obtidos por meio de experiência profissional.

costuma utilizar reguladores de pressão em cada emissor, como é o caso dos pivôs, pressão muito alta causará uma excessiva pulverização do jato de água, diminuindo seu raio de alcance e causando uma precipitação excessiva próxima ao aspersor. Pressão muito baixa resultará numa inadequada pulverização do jato d'água, o que causará um perfil de distribuição muito irregular (BERNARDO, 1995).

O uso de emissores de baixa pressão fixos ou rotativos implica em menor altura manométrica total necessária, com conseqüente diminuição no custo de bombeamento. Para verificação e controle da pressão do sistema pivô central emprega-se normalmente manômetros metálicos tipo Bourdon.

Rodrigues et al (1992), analisando o desempenho de um pivô central de baixa pressão, equipado com tubos de descida 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. Esses 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.

Zocoler; Cesar e Vanzela (2004), avaliando o efeito da posição relativa da linha lateral de um equipamento de irrigação do tipo pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência da irrigação, verificaram uma diferença de 8,84% na velocidade de deslocamento da última torre em relação à velocidade de projeto, embora essa diferença não tenha acarretado conseqüência nas demais variáveis avaliadas como uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada, eficiência de aplicação e armazenamento.

2.3 Avaliação de sistemas de irrigação

Frizzone e Dourado Neto (2003) citam que a uniformidade tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação dos sistemas de irrigação. O ensaio ou avaliação constitui a via para o levantamento dos dados

necessários à tomada de decisão sobre melhorias a introduzir para elevar a eficiência do sistema de irrigação. Os ensaios de sistemas de irrigação são realizados para a avaliação de desempenho dos mesmos, com os seguintes objetivos fundamentais: (a) determinar a eficiência atual do sistema de irrigação; (b) determinar quão efetivamente o sistema pode ser operado; (c) obter informações que auxiliem no projeto de outros sistemas; (d) obter informações que permitam a comparação de vários métodos de irrigação, sistemas e formas de operação, como base para tomada de decisões gerenciais.

Souza et al. (2002b), citado por Costa (2006), estudando o efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água em um sistema de irrigação tipo pivô central, concluíram pela possibilidade de economia de água de 25,9% quando o sistema passa de um coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC de 64,8% para 85,6%.

Zocoler (1999) mostra um exemplo do efeito da uniformidade de irrigação na produtividade do feijoeiro, cultivar carioca, pela função polinomial quadrática obtida de Frizzone (1986). O estudo mostra que com uma lâmina de irrigação de 533,2 mm seria alcançada a produtividade de 1871,2 $kg.ha^{-1}$ se o coeficiente de uniformidade de Christiansen fosse 100%, fato esse que não ocorre na prática. Para um coeficiente de uniformidade de 75% e mesma lâmina de irrigação, a produtividade máxima seria de 1633,1 $kg.ha^{-1}$, ou seja, haveria um decréscimo de aproximadamente 13%, evidenciando uma menor eficiência no uso da água.

É comum expressar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão por um coeficiente de uniformidade. Quando este coeficiente é maior ou igual a certo valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma forma usual de obtê-las é por medidas de dispersão, expressando-as de forma adimensional, pela comparação com o valor médio (FRIZZONE, 1992).

Muitos coeficientes de uniformidade foram propostos para os sistemas de irrigação por aspersão. O mais antigo e amplamente utilizado é proposto por Christiansen (1942), que utiliza como medida de dispersão o desvio médio absoluto. Apesar de muitos

outros coeficientes terem sidos apresentados como alternativas ao de Christiansen, nenhum apresentou vantagens significativas (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é expresso da seguinte forma:

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

sendo:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

y_i= lâmina de água coletada no i-ésimo coletor.em mm;

Y_m= lâmina média de água coletada, em mm; e

n = número de observações.

Um valor de CUC de 85% é o mínimo aceitável e valores inferiores podem ser admitidos nas seguintes condições: (a) a precipitação pluvial é considerável durante a estação de cultivo, (b) o custo do sistema é suficientemente pequeno de forma a compensar a redução da receita líquida pela diminuição da produção, e (c) as linhas laterais são operadas em posições alternadas nas sucessivas irrigações. Relativamente à lâmina de irrigação, o valor de CUC deve ser tanto maior quanto menor a lâmina real de irrigação necessária. Portanto, solos de baixa capacidade de armazenamento de água devem ser irrigados com alto CUC (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

Para calcular o coeficiente de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação tipo pivô central é usual ponderar as lâminas de água coletadas nos pluviômetros, uma vez que cada coletor representa áreas progressivamente maiores, a partir do ponto pivô. O fator de ponderação pode ser à distância do coletor i ao ponto pivô, o número de ordem do coletor i ou a área de cada coroa circular representada pelo coletor i, segundo Heermann & Hein (1968) citados por Frizzone e Dourado Neto (2003). Aqueles autores propuseram uma modificação na equação original de Christiansen para a aplicação nestes

sistemas, gerando o coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein, cuja equação é a seguinte:

$$C_{uH} = 100 . \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i . \left| Y_i - Y_p \right|}{\sum_{i=1}^{n} S_i . Y_i} \right] \quad \text{..... (2)}$$

sendo:

S_i – distância do ponto do pivô ao i-ésimo ponto (m);

Y_p – lâmina média ponderada, calculada pela seguinte equação;

y_i= lâmina de água coletada no i-ésimo coletor, em mm;

$$Y_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i . S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i} \right] \quad \text{..... (3)}$$

Outra medida da uniformidade de distribuição utilizada é a razão entre a média dos 25% menores valores de lâminas de irrigação e a lâmina média aplicada na superfície do solo. Sua origem é creditada ao SCS-USDA (Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture), por quem é chamada de eficiência padrão. Kruse (1978), citado por Frizzone (1992), denominou-a de uniformidade de distribuição (UD), sendo calculada pela equação 4:

$$UD = 100 . \frac{Y_{25}}{Y_m} \quad \text{..... (4)}$$

sendo:

UD – uniformidade de distribuição (%);

Y_{25} – lâmina média dos 25% menores valores de precipitação (mm).

Para um sistema de irrigação do tipo pivô central deve-se considerar 25% da área com as menores precipitações em relação à média geral, ou seja, é necessário

fazer uma ponderação das lâminas coletadas, uma vez que à medida que se afasta do ponto do pivô a área irrigada pelo emissor aumenta. Sendo assim a UD é calculada por:

$$UD = 100.\frac{Y_{25p}}{Y_p} \quad \text{..... (5)}$$

sendo:

Y_{25p} – lâmina média ponderada das menores precipitações correspondentes a 25% da área (mm);

Os valores da UD são freqüentemente menores que os do C_{uH}. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABTN, 1985), no seu projeto de norma número 12:02.08-005, recomenda utilizar a UD para verificação de problemas de distribuição da irrigação. Caso toda área receba no mínimo a lâmina real necessária, um baixo valor de coeficiente de uniformidade de distribuição (UD) indica uma excessiva perda por percolação profunda.

Wilcox & Swailes (1947) e Hart (1961), citados por Frizzone (1992), propuseram outras medidas de dispersão para sistemas de irrigação por aspersão denominadas de coeficiente de uniformidade estatística (C_{uE}) e coeficiente de uniformidade de Hart (C_{uHa}), sendo calculados, respectivamente, pelas equações:

$$C_{uE} = 100.\left[1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - Y_m)^2}{n}}}{Y_m}\right] \quad \text{..... (6)}$$

$$C_{uHa} = 100.\left[1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}}.\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - Y_m)^2}{n}}}{Y_m}\right] \quad \text{..... (7)}$$

Um valor de C_{uE} entre 75% e 80% é considerado como o mínimo aceitável.

Se a lâminas de irrigação tem distribuição normal, então $C_{uHa} = C_{uC}$. Com isso, e uma tabela de distribuição normal, é possível determinar qual a porcentagem da área que está recebendo uma determinada lâmina de irrigação.

Para determinação da lâmina média de irrigação e da uniformidade de distribuição de água em áreas irrigadas por pivô central, faz-se necessário a realização de ensaios de campo. Estes ensaios, no Brasil, devem seguir a Norma Brasileira 14244 (1998) da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. O ensaio consiste na coleta de água em recipientes plásticos com no mínimo 0,08 m de altura e não menos que 0,06 m de diâmetro de entrada, instalados a uma determinada altura sobre a superfície do solo ao longo do raio do pivô. Desta forma cada volume coletado está associado a uma área irrigada, que será tanto maior, quanto maior for à distância do coletor ao centro do pivô. O ensaio não deve ser usado como uma mensuração válida da uniformidade ou do desempenho do conjunto de emissores, se a velocidade do vento exceder 3 $m.s^{-1}$. A pressão de entrada na linha lateral do pivô deve ser registrada. Segundo a NBR 14244 (1998), os coletores devem ser dispostos em linhas radiais com espaçamento entre coletores de 3,0 m para emissores tipo fixo e 5,0 m para emissores tipo rotativos. Assume-se, portanto, que a lâmina de água coletada em cada ponto é a própria lâmina média da faixa circular que o coletor representa, e que a lâmina média global do pivô é obtida através da média ponderada das lâminas coletadas em função das suas áreas representativas.

Segundo a Norma, os parâmetros a seguir devem ser utilizados quando da avaliação do desempenho de um equipamento de irrigação por aspersão mecanizado (pivô central ou lateral móvel).

Tabela 1: Classificação da uniformidade de distribuição de água segundo a Norma Brasileira 14244.

C_{uH} ou C_{Uc}	**Classificação da uniformidade de distribuição de água**
Menor que 80%	Ruim
80% a 84%	Regular
85% a 89%	Boa
Acima de 90%	Muito Boa

2.4 Considerações gerais sobre bombas hidráulicas

São máquinas hidráulicas operatrizes, isto é, máquinas que recebem energia potencial (força motriz de um motor ou turbina) e transformam parte desta potência em energia cinética (movimento) e energia de pressão (força), cedendo estas duas energias ao fluído bombeado, de forma a recirculá-lo ou transportá-lo de um ponto a outro (SCHNEIDER, 2008).

Devido a grande diversidade das bombas existentes, adota-se uma classificação resumida, dividindo-as em dois grandes grupos:

A) Bombas Centrífugas ou Turbo-Bombas, também conhecidas como Hidro ou Rotodinâmicas;

B) Bombas Volumétricas, também conhecidas como de Deslocamento Positivo.

Nas bombas centrífugas, ou turbo-bombas, a movimentação do fluído ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do mesmo, em conseqüência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor, impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice), o qual recebe o fluído pelo seu centro e o expulsa pela periferia, pela ação da força centrífuga, daí seu nome mais usual. Em função da direção do movimento do fluído dentro do rotor, estas bombas dividem-se em:

A.1) Centrífugas Radiais (puras): A movimentação do fluído dá-se do centro para a periferia do rotor, no sentido perpendicular ao eixo de rotação;

A.2) Centrífugas de Fluxo Misto (hélico-centrífugas): O movimento do fluído ocorre na direção inclinada (diagonal) ao eixo de rotação;

A.3) Centrífugas de Fluxo Axial (helicoidais): O movimento do fluído ocorre paralelo ao eixo de rotação;

Nas Bombas Volumétricas, ou de Deslocamento Positivo, a movimentação do fluído é causada diretamente pela ação do órgão de impulsão da bomba que obriga o fluído a executar o mesmo movimento a que está sujeito este impulsor (êmbolo, engrenagens, lóbulos, palhetas). Dá-se o nome de volumétrica porque o fluído, de forma sucessiva, ocupa e desocupa espaços no interior da bomba, com volumes conhecidos, sendo

que o movimento geral deste fluído dá-se na mesma direção das forças a ele transmitidas, por isso a chamamos de deslocamento positivo. As Bombas Volumétricas dividem-se em:

B.1) Êmbolo ou Alternativas (pistão, diafragma, membrana);

B.2) Rotativas (engrenagens, lóbulos, palhetas, helicoidais, fusos, parafusos, peristálticas).

De acordo com Paiva (1993) citado por Araújo (2003), a eficiência de uma bomba é dada pela relação entre os valores equivalentes da potência hidráulica fornecida pela bomba e a potência exigida pela mesma numa determinada condição de funcionamento. Portanto conclui-se que bombas mal dimensionadas poderão elevar a vazão desejada com baixa eficiência consumindo mais energia que a necessária.

A potência absorvida é a energia que a bomba hidráulica consome ao transportar o líquido na vazão desejada, à altura estabelecida, com o rendimento esperado. É função de duas outras potências envolvidas no funcionamento de uma bomba:

a) Potência hidráulica;

b) Potência útil.

Na prática diária usa-se apenas a potência motriz para determinar a potência do motor elétrico, necessário ao acionamento da bomba, dado pela Equação 8. .

$$P_M = \frac{Q \cdot H \cdot 0{,}37}{\eta} \quad \text{.....(8)}$$

Onde:

P_M = Potência motriz absorvida, em cv;

Q = vazão pretendida, em $m^3.h^{-1}$;

H = altura de elevação, em metros;

0,37 = constante de ajuste das unidades;

η = rendimento da bomba, em porcentagem.

O rendimento de uma bomba hidráulica é a relação entre a energia oferecida pela máquina motriz (motor) e a absorvida pela máquina operatriz (bomba). O rendimento global de uma bomba hidráulica se divide em:

a) Rendimento hidráulico: leva em consideração o acabamento interno superficial do rotor e da carcaça. Variando com o tamanho da bomba de 50 a 90%.

b) Rendimento mecânico: leva em consideração que apenas uma parte da potência necessária ao acionamento da bomba é usada para bombear. O restante se perde por atrito.

O rendimento global é a relação entre a potência hidráulica e a potência absorvida pela bomba, que é dada pela Equação 9 (SCHNEIDER, 1990; citado por ARAÚJO, 2003).

$$\eta = \frac{Q \cdot H \cdot 0{,}37}{P_M} \quad \text{.....(9)}$$

Ainda segundo Schneider (1990), citado por Araújo (2003), a curva característica de uma bomba é a expressão cartesiana de suas características de funcionamento, com altura manométrica na ordenada, e vazão na abscissa, em torno dos quais se expressam o rendimento, as perdas internas e a potência absorvida. É função particular do projeto e da aplicação requerida de cada bomba, dependendo do tipo e quantidade de rotor utilizado, tipo de carcaça, sentido de fluxo, rotação específica, etc.

A curva possui um ponto de trabalho característico (ponto ótimo de funcionamento), onde apresenta o melhor rendimento. As curvas características podem ser *estáveis* ou *instáveis*:

a) Estáveis: são aquelas que para uma determinada altura corresponde a uma única vazão;

b) Instáveis: são aquelas que para uma determinada altura corresponde a duas ou mais vazões.

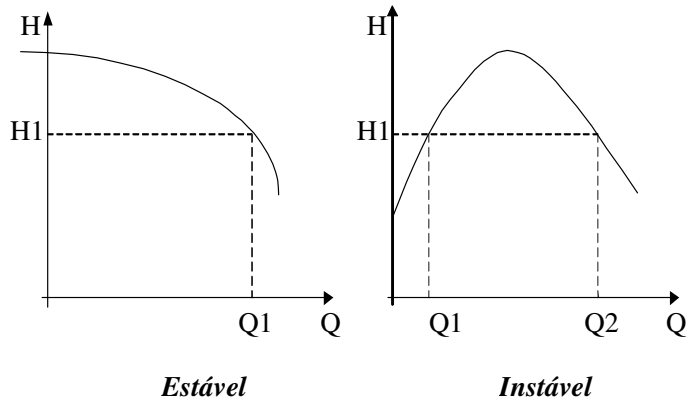


Figura 4. Curvas características das bombas hidráulicas.

Segundo Araújo (2003), a bomba tem por princípio de funcionamento, a transferência de energia mecânica para o fluído a ser bombeado em forma de energia

cinética. Esta energia é transformada em energia potencial (energia de pressão), sendo esta sua característica principal. O movimento rotacional de um rotor inserido em uma carcaça é o órgão responsável por tal transformação.

As principais características técnicas das bombas centrífugas são a vazão e a altura manométrica. A vazão, fluxo por unidade de tempo é diretamente proporcional a sua velocidade de rotação. Em geral, sistemas de bombeamento operam com bombas acopladas diretamente ao eixo do motor. Quando se considera o acionamento de bombas centrífugas por meio de motores trifásicos de corrente alternada, características técnicas limitam sua velocidade de rotação aos seguintes valores: (i) 3600 rpm (motor de 2 pólos); (ii) 1750 (motor de 4 pólos); (iii) 1140 (motor de 6 pólos); e (iv) 820 (motor de 8 pólos). Como alternativa para o controle da vazão, além do controle de velocidade dos motores elétricos citam-se a utilização de válvulas de estrangulamento, by-pass, recirculação de fluxo ou sistemas de polias e correias. Entretanto, nenhuma destas alternativas são eficazes do ponto de vista de racionalização do uso de energia (PROCEL, 1998).

Atualmente está em estudo a utilização de inversores de freqüência para a racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de bombeamento. Rizzo (1991) citado por Campana et al (2000), estudou a viabilidade técnico-econômica da utilização deste aparelho quando comparado com válvulas de estrangulamento e fluido recirculado para controle de vazão. Resultados obtidos mostram que, em média, a utilização de inversores de freqüência resulta numa economia de energia três vezes superior aos demais métodos. Além do mais a utilização de inversores de freqüência contribui, dentre outros, nos seguintes aspectos: (i) redução de desgaste mecânico e da manutenção associada; (ii) redução da demanda de energia; (iii) economia de energia; e (iv) melhoria do fator de potência.

Segundo Carvalho (2003), variando a velocidade de rotação “n” da bomba, varia-se a curva característica da bomba. Cada ponto (H x Q) com rotação “n”, por semelhança mecânica, corresponde a outro ponto (H’ x Q’) com rotação n’. Os pontos (H x Q) com mesmo rendimento são denominados pontos homólogos. As equações de Rateaux se aplicam a esses pontos, ou seja, pontos de mesmo rendimento.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{.....(10)}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{.....(11)}$$

$$\frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{n}{n_2}\right)^3 \quad \text{.....(12)}$$

sendo:

Q = vazão recalcada, $m^3.s^{-1}$;

H = altura manométrica, m;

Pot = potência necessária ao acionamento, cv;

n = rotação da bomba, rpm.

A variação de velocidade de rotação em motores de corrente contínua pode ser por meio de um reostato, já em motores de corrente alternada, pode-se utilizar um variador mecânico intercalado entre motor e bomba, ou, utilizar um inversor de freqüência. Em motores de combustão interna, variação da velocidade de rotação pode ser obtida diretamente da aceleração do motor. Uma outra forma utilizada para se obter diferentes velocidades de rotação é com uso de polias e correias.

2.5 Verificação das Relações de Rateaux

Um equipamento capaz de promover variações na rotação de acionamento de um motor elétrico com rapidez e eficiência, seguindo as relações de Rateaux, é o inversor de freqüência. Este equipamento trabalha alterando a freqüência da tensão aplicada ao motor, possibilitando controlar sua rotação.

Alves et al. (2002), buscou verificar a veracidade das relações de Rateaux e a redução no consumo da potência consumida no bombeamento, quando se emprega o inversor de freqüência, o qual permite a variação de rotação do conjunto motobomba. Empregando-se o inversor de freqüência, a redução média da potência consumida foi de 40,7 e

75,0% com a adoção da redução da rotação de 1800 para 1500 rotações.min^{-1} e de 1800 para 1100 rotações.min^{-1}, respectivamente. Quando se avaliou a potência consumida usando-se essas mesmas relações, o erro médio na redução de potência foi de 1,33 e 2,00% para as rotações.min^{-1} de 1500 e 1100, respectivamente, o que permite o emprego das relações para se estimar as grandezas altura manométrica, vazão e potência, a partir da curva característica obtida experimentalmente.

Schmidlin Jr., et al (2006), realizaram ensaios em bancada de bombeamento do Laboratório de Eficiência Energética e Sistemas Motrizes Industriais (LAMOTRIZ) dois métodos para de controle de vazão: Utilização do inversor de freqüência no controle de bombeamento variando a rotação do conjunto motobomba através das relações de Rateaux e controle de vazão por válvula de estrangulamento. Os resultados mostraram que a opção pelo método de redução de vazão por meio da variação da velocidade de rotação do conjunto motobomba, alcançada por meio do uso do inversor de freqüência, em detrimento do que usa válvula de estrangulamento acarreta uma significativa redução de potência ativa requerida pelo elemento acionador da bomba centrífuga.

2.6 Utilização de inversores de freqüência em sistemas de irrigação

A rotação de motores assíncronos trifásicos pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\omega = \frac{2.f}{P}(1-\sigma) \quad \text{.....(13)}$$

em que:

ω = rotação do motor (Hz);

f = freqüência da rede de alimentação (Hz);

σ = escorregamento ($0 \leq \sigma \leq 1$);

P = número de pólos do motor.

Observando-se a equação 13, pode-se deduzir que a velocidade de rotação do motor é proporcional à freqüência de alimentação da rede elétrica. O controle da

freqüência de alimentação da rede e, conseqüentemente, da rotação do motor, pode ser feito por meio de inversores de freqüência (WEG, 2002).

Os circuitos internos de um inversor de freqüência são divididos em três etapas. Na primeira etapa, o circuito é formado por uma ponte retificadora (onda completa) trifásica e dois capacitores de filtro, formando um pequeno gerador de tensão "DC" simétrico (pois há um ponto de terra como referência) com uma tensão contínua + V/2 (positiva) e uma – V/2 (negativa) em relação à terra, formando o chamado "barramento DC". Este barramento DC alimenta uma segunda etapa que é constituída por seis transistores IGBT's e em uma terceira etapa, por meio de uma lógica de controle, liga e desliga os transistores, alternando o sentido da corrente que circula pelo motor (CAPELLI, 2000; citado por AZEVEDO 2003).

O mesmo autor comenta que os inversores de freqüência operam, aproximadamente, com faixa de variação entre 5 e 300 Hz. Esses equipamentos não têm somente a função de controlar a velocidade de rotação do motor, como também, de manter o torque (conjugado) constante, de modo a não provocar alterações na rotação quando o motor estiver com carga. Para manter o torque constante, o inversor de freqüência deve manter a razão V/F constante, ou seja, caso haja mudança na freqüência da rede (F), a tensão (V) deve mudar na mesma proporção para que a razão se mantenha na mesma proporção.

Segundo WEG (2006), existem alguns tipos de controle de operação de inversores de freqüência, cabe aqui citar quatro tipos:

1. O Controle V/F ou escalar que é recomendado para os seguintes casos:

- Acionamento de vários motores com o mesmo inversor;
- Corrente nominal do motor é menor que 1/3 da corrente nominal do inversor;
- O inversor, para propósito de testes, é ligado sem motor.

O controle escalar também pode ser utilizado em aplicações que não exijam resposta dinâmica rápida, precisão na regulação de velocidade ou alto torque de partida (o erro de velocidade será função do escorregamento do motor; caso se programe o inversor com escorregamento nominal pode-se então conseguir precisão de 1% na velocidade com controle escalar e com variação de carga).

2. Para a maioria das aplicações recomenda-se o controle vetorial "sensorless", o qual permite operação em uma faixa de variação de velocidade 1:100, precisão no controle da velocidade de 0,5%, alto torque de partida e resposta dinâmica rápida. Outra vantagem deste tipo de controle é a maior robustez contra variações súbitas da tensão da rede de alimentação e da carga, evitando desligamentos desnecessários por sobrecorrente. Os ajustes necessários para o bom funcionamento do controle "sensorless" são feitos automaticamente. Para isto deve-se ter o motor a ser usado conectado ao CFW-09 (modelo de inversor).

3. O controle vetorial com encoder no motor apresenta as mesmas vantagens do controle "sensorless" previamente descrito, com os seguintes benefícios adicionais:

- Controle de torque e velocidade até velocidade zero (rpm);
- Precisão de 0,01% no controle da velocidade.

4. O modo de controle VVW (Voltage Vector Weg), segue o mesmo princípio do controle escalar V/F. A utilização do controle VVW permite uma sensível melhora no desempenho do acionamento em regime permanente, no que se refere à regulação de velocidade e a capacidade de torque em baixas rotações (freqüência inferior a 5Hz). Como resultado, aumenta-se a faixa de variação de freqüência (velocidade) do sistema em relação ao modo de controle Escalar V/F. O controle VVW utiliza a medição da corrente estatórica, o valor da resistência estatórica (que pode ser obtida via uma rotina de auto-ajuste do inversor) e dados de placa do motor de indução, para fazer automaticamente a estimação do torque, a compensação da tensão de saída e, conseqüentemente, a compensação do escorregamento.

Segundo Campana (2000), sistemas convencionais de bombeamento, com rotação constante e uso de válvula de controle, em grande parte do tempo, operam fora do ponto de trabalho projetado, ou seja, são superdimensionados, gerando, com isso, desperdício de energia elétrica no sistema. Os motores elétricos utilizados em instalações de bombeamento para irrigação que não apresentam controladores de velocidades de rotação trabalham sempre com uma rotação constante e, em muitos desses casos, esses equipamentos estão superdimensionados para uma situação de extrema altura manométrica total. Uma vez que os motores elétricos são os equipamentos que consomem a maior parte da energia elétrica

utilizada na irrigação, o mau dimensionamento desses equipamentos acarretará num maior consumo de energia elétrica.

Araújo (2003), concluiu que o sistema com rotação variável reduziu o consumo de energia elétrica no sistema na ordem de 58% (Figura 5), avaliando o comportamento elétrico e hidráulico de um conjunto motobomba em um sistema de irrigação por aspersão em condições de acionamento convencional com rotação constante e rotação variável através do uso de um inversor de freqüência e um transdutor de pressão (Figura 6). Neste ensaio (Figura 6), o inversor de freqüência e o transdutor de pressão atuam variando a rotação do conjunto motobomba adequando a pressão à vazão requerida pelo sistema (número de linhas em operação). Nos sistemas de irrigação utilizando pivô central a vazão não deve ser alterada durante seu ciclo, porém a altura manométrica pode variar dependendo da topografia do terreno.

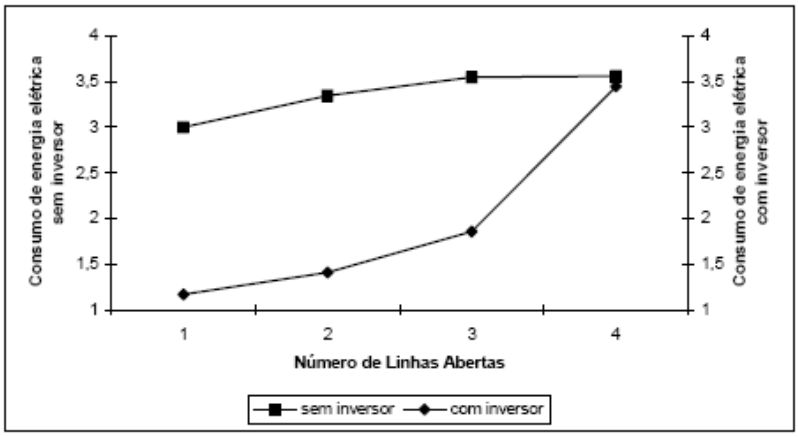


Figura 5. Consumo de energia elétrica do sistema de irrigação em função do número de linhas abertas (ARAÚJO, 2003).

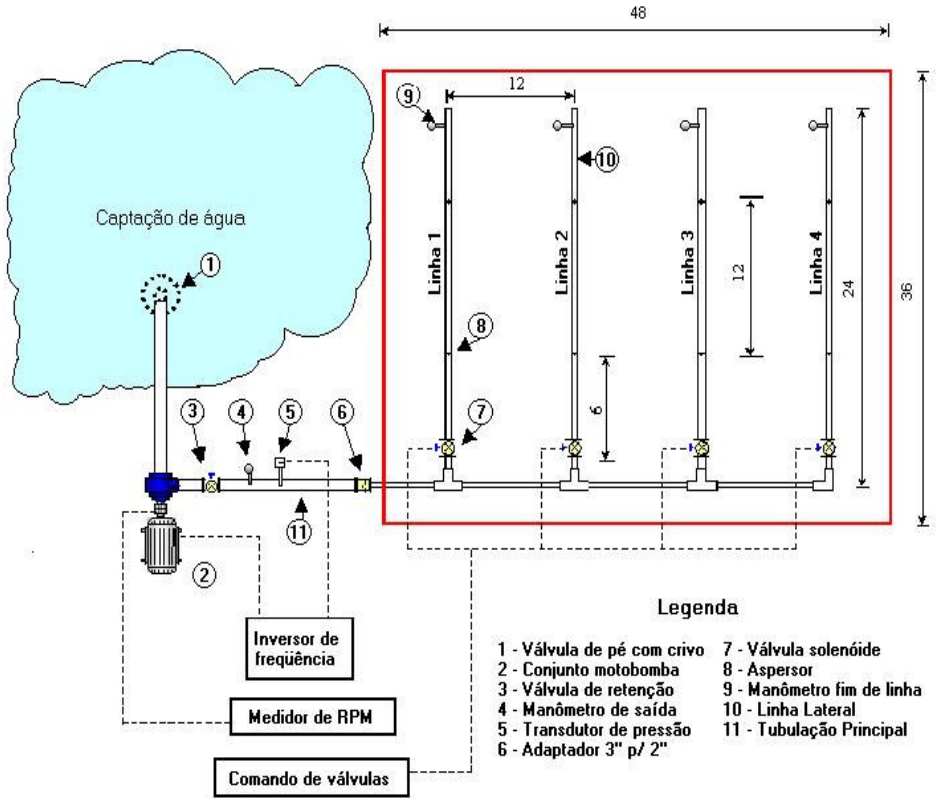


Figura 6. Esquemas elétrico e hidráulico do sistema de irrigação convencional e com a utilização de inversor de freqüência (ARAÚJO, 2003).

Em sistemas de irrigação tipo pivô central, quando se desconsidera a atuação das válvulas reguladoras de pressão, as diferentes condições topográficas ao longo do círculo irrigado, conduzem a diferentes requisitos de altura manométrica. Desta forma, quando o pivô estiver irrigando a faixa correspondente ao menor requisito de altura manométrica, a solicitação de potência no eixo do motor elétrico será máxima, pois haverá aumento da vazão numa rotação aproximadamente constante da bomba. Já a solicitação de potência será mínima quando o pivô estiver irrigando a faixa correspondente a maior altura manométrica, pois a vazão cairá numa rotação aproximadamente constante da bomba.

Com o intuito de verificar a viabilidade técnica da utilização de inversores de freqüência para racionalização do uso da energia elétrica, Campana et al. (2000), simularam, dentre outros, o comportamento do índice de carregamento e rendimento dos motores elétricos utilizados em três tipos de sistemas de irrigação tipo pivô central (média,

baixa e muito baixa pressão). Observou-se que, nos pivôs de média, baixa e muito baixa pressão quando não se utiliza o inversor de freqüência ocorrem variações no índice de carregamento, ao longo do círculo irrigado, da ordem de 58%, 46% e 31%, respectivamente. Por outro lado, quando se utiliza o inversor, o índice de carregamento apresenta valores nominais (próximos a 100%). No que diz respeito ao rendimento, quando se utiliza o inversor ocorrem acréscimos de rendimento de até 3,71%, 5,97% e 2,19%, respectivamente. Com base nesses resultados, pode-se dizer que a utilização de inversores de freqüência se apresenta como uma forte alternativa técnica para a racionalização de energia em sistemas de irrigação via adequação de força motriz.

Com isto, há uma necessidade de obter maiores informações a respeito da utilização desses equipamentos em sistemas de irrigação, otimizando o sistema para trabalhar sempre com o ponto ideal de altura manométrica total, permitindo, assim, a economia de energia elétrica no sistema de irrigação instalado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica

Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, de propriedade do Sr. Gilberto Tonon, município de Coronel Macedo, Estado de São Paulo. Distante 350 km de São Paulo aproximadamente, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 23°41' sul, longitude 49°11’ oeste e 630 m de altitude.

Na fazenda estão instalados três equipamentos de irrigação do tipo pivô central da marca Valley denominados de PC-07, PC-08 e PC-09. Esses equipamentos estão interligados por uma única adutora e trabalham de maneira intercalada com o mesmo conjunto de bombeamento, sendo este comandado por uma chave de partida do tipo Inversor de Freqüência. Os ensaios foram realizados no pivô denominado PC-09, que é o equipamento que está mais próximo do ponto de captação (Figura 7).

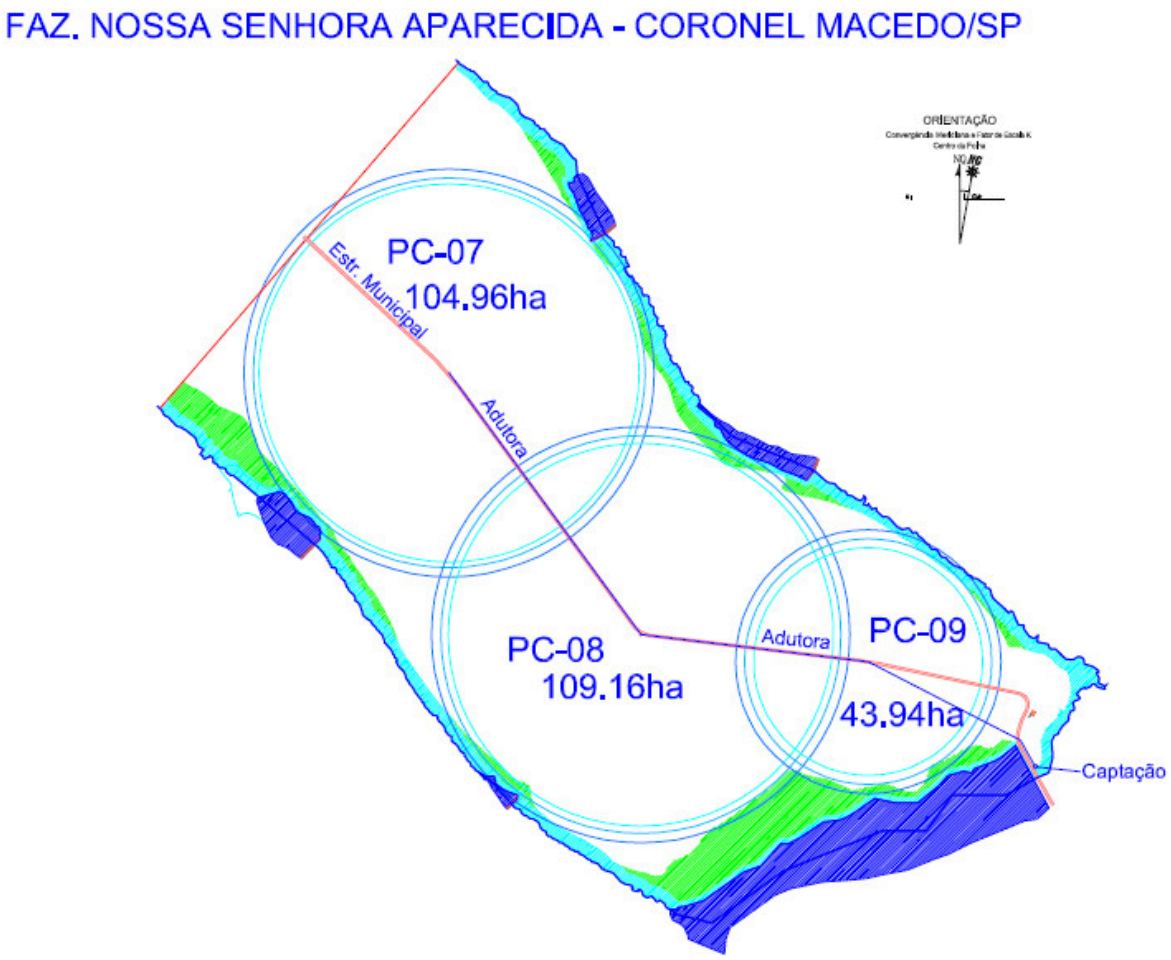


Figura 7. Croqui da área da fazenda com a localização dos equipamentos.

3.2 Caracterização do sistema de irrigação

3.2.1 Características do equipamento avaliado

O sistema de irrigação tipo pivô central avaliado tem as seguintes características técnicas fornecidas pelo fabricante:

1) Precipitação diária:

Lâmina líquida..... 21,25 $mm.dia^{-1}$

Eficiência de aplicação..... 85%

Lâmina bruta..... 25,00 $mm.dia^{-1}$ (21 $horas.dia^{-1}$)

2) Descrição e dados técnicos do PIVOT CENTRAL VALLEY:

Modelo.... 4871 – 8000 - VL / 6 – 1.492 – Altura: Standard – 2,74 m

Composição: 5 lances longos 6.5/8"; 1 Lance Médio 6.5/8"

Com Balanço de 25 m,

Canhão final com alcance de 26 m.

Aspersores: Rotator R3000, com tubo de descida de aço galvanizado

Área irrigada: 43,94 ha (360 graus);

Lâmina por percurso: 5,42 mm.volta $^{-1}$ (233˚);

Período (relê 100%): 4,55 horas (233˚);

Vazão total: 338,59 $m^3.h^{-1}$;

Vazão por área: 11,90 $m^3.h^{-1}.ha^{-1}$;

Comprimento até a última torre: 322,55 m;

Comprimento da tubulação: 347,55 m;

Raio total irrigado: 374 m;

Pressão no final da tubulação: 3,40 atm (34,00mca);

Motorredutores em alta: 4

Motorredutores em baixa: 2

Dimensionado p/ bomba injetora de fertilizantes: Sim

3) Adutoras:

1 tubulação de aço zincado de 300 mm de diâmetro com 526 m de comprimento

Velocidade de escoamento: 1,3240 $m.s^{-1}$

Perda de carga por 100 m: 0,6083 m

Perda de carga na tubulação: 3,20 m

4) Composição da motobomba:

4.1) Calculo da altura manométrica total:

Pressão no final da tubulação: 34,00 mca

Desnível entre o centro do pivô e o ponto mais alto: 3,00 m

Perda friccional no tubo do pivô: 18,77 mca

Altura dos aspersores: 3,54 m

Pressão no ponto do pivô (manômetro): 59,31 mca

Desnível entre a bomba e o centro do pivô: 51,00 m

Perdas na adutora: 3,20 m

Altura máxima de sucção prevista: 0,00 m

Perdas localizadas: 5,68 m

Altura manométrica total: 119,19 m

Desnível entre centro do pivô e ponto mais baixo: 38,00 m

4.2) Dados das bombas:

Número de bombas: 2 bombas em série

Marca: IMBIL

Modelo: INI 150-400

Estágios: 1

Diâmetro do rotor: 390,00 mm

Potência no eixo: 130,94 cv

Consumo: 108,18 kWh

Velocidade: 1750 rpm

Vazão: 339,00 $m3.h^{-1}$

Pressão: 73,00 mca

Rendimento: 70,00 %

Potência máxima: 144,03 cv

Npsh requerida: 3,90 m

Npsh disponível do local de instalação do projeto: 8,42 m

4.3) Dados do motor:

Número e tipo de motores: 2 – elétrico trifásico

Tensão nominal: 380 V

Potência nominal: 175,0 cv

Rotação: 1750 rpm

3.2.2 Determinação da velocidade de deslocamento do pivô central

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 direta entre esta e a lâmina aplicada.

Para determinar a velocidade real de rotação do equipamento foram marcadas na trajetória da última torre três distâncias com dez metros cada e com o equipamento em movimento de avanço e reversão foi medido o tempo para percorrer essas distâncias. Estes testes foram realizados com o equipamento em nível e o valor de velocidade medido ($295 m.h^{-1}$) foi adotado como velocidade padrão do equipamento nas demais posições de ensaio. O relê percentual do pivô estava ajustado em 100%.

3.2.3 Características do conjunto motobomba

O sistema de bombeamento instalado é constituído por dois conjuntos motobomba associados em série. As bombas são da marca IMBIL, modelo INI 150-400, rotores com 390 mm de diâmetro, rotação nominal de 1750 rpm. As bombas são acopladas por meio de luva elástica cada uma a um motor elétrico da marca WEG com 175 cv, IV pólos, IP-55, fator de serviço 1,0 (Figura 8).



Figura 8. Sistema de bombeamento com associação de bombas em série.

3.2.4 Inversor de freqüência

A partida do sistema de bombeamento e aplicação de variação de velocidade nos dois motores de corrente alternada é comandada simultaneamente por um Inversor de Freqüência da marca WEG, série CFW-09 (Figura 9).

O controle da variação de velocidade do sistema se dá através um Controlador Lógico Programável – CLP (Figura 9, no centro do painel logo abaixo da chave geral), que recebe sinal de um dispositivo eletro-mecânico chamado Transdutor de Pressão (Figura 10), dispositivo esse capaz de converter uma forma de energia em uma corrente ou voltagem elétrica proporcional, sendo instalado logo após o flange de recalque da segunda

bomba. Com o uso de uma programação preestabelecida denominada Pressão Máxima (Pmáxima) e Pressão Mínima (Pmínima), o CLP após receber os sinais do transdutor de pressão faz com que tenha uma maior ou menor rotação nos motores, dependendo da posição de operação em que o pivô se encontra, garantindo a pressão mínima de projeto na extremidade do equipamento. Neste trabalho, quando o pivô está operando na posição mais alta onde a altura manométrica é máxima, o CLP trabalha com a programação de Pmáxima (150 mca) na saída do conjunto motobomba; quando o pivô está trabalhando na posição mais baixa trabalha com a programação de Pmínima (100 mca).



Figura 9. Quadro de comando do inversor de freqüência.



Figura 10. Transdutor de pressão.

3.3 Coleta de dados para avaliação do sistema

3.3.1 Levantamento planialtimétrico

Os dados planialtimétricos necessários a avaliação do projeto, foram obtidos pelo Plano Cartográfico do Estado de São Paulo com levantamento aerofotogramétrico realizado em 1977, com escala de 1:10.000, com eqüidistância 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 no ponto mais alto e o centro do pivô, assim como do centro do pivô ao ponto de captação (Figura 11).

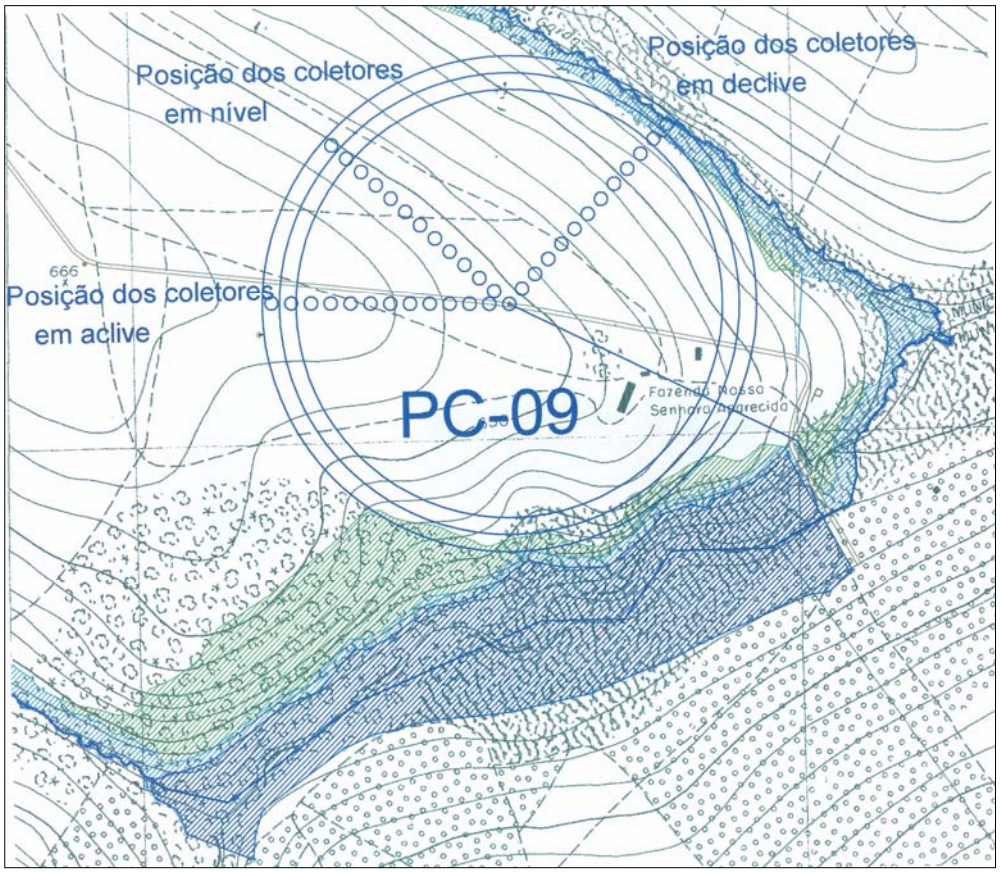


Figura 11. Mapa planialtimétrico da área de localização do pivô central.

3.3.2 Divisão dos ensaios

Os ensaios foram divididos em duas etapas sendo denominados e executados da seguinte forma:

Ensaio-1: realizado em função de uma programação existente no inversor de freqüência da propriedade. Essa programação mantinha a pressão na saída do conjunto motobomba praticamente constante independente da posição da linha lateral e,

conseqüentemente, da exigência de altura manométrica total. Dessa maneira foram feitos os ensaios nas posições de aclive, nível e declive;

Ensaio-2: para verificar a atuação do inversor no controle de velocidade de rotação do conjunto motobomba e, conseqüentemente, seus efeitos na uniformidade de distribuição e lâmina de água aplicada, buscou-se variar a rotação de acordo com a demanda na altura manométrica, ou seja, quando o pivô estava irrigando a posição correspondente ao ponto mais alto (aclive) aplicava-se maior rotação, quando estava na posição mais baixa (declive) diminuía-se a rotação aproveitando o desnível do terreno, sempre atendendo a pressão mínima de serviço prevista em projeto.

Os ensaios 1 e 2 foram realizados nos períodos de 15/08/2008 a 19/08/2008 e 01/09/2008 a 04/09/2008 respectivamente.

3.3.3 Posição das linhas coletoras

Os ensaios para determinar a uniformidade e o perfil de aplicação de água, foram executados de acordo com o projeto de norma número 04:015.08-008 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT de 1998, instalando-se duas linhas radiais de coletores, em espaçamento regular e constante de três metros entre coletores, do centro do pivô ao extremo da área irrigada, perpendicularmente ao caminhamento da linha lateral do equipamento, em ângulo de abertura entre as linhas de 3˚. A posição do primeiro coletor foi marcada a uma distância igual à metade do espaçamento regular entre coletores. Os coletores utilizados são de plástico, com diâmetro de 0,08m, instalados sobre hastes metálicas em média a 0,5m de altura em relação ao solo. Os volumes coletados foram medidos com o auxílio de uma proveta graduada.

Nos ensaios foram testadas três posições de linhas coletoras, sendo: linhas coletoras em aclive de 3.45% (posição mais alta - Figura 12), linhas coletoras em nível (Figura 13) e em declive de 11,78% (posição mais baixa - Figura 14).



Figura 12. Disposição dos coletores de água na posição em aclive.



Figura 13. Disposição dos coletores de água na posição em nível.



Figura 14. Disposição dos coletores de água na posição em declive.

3.3.4 Ponderação das lâminas de água coletadas e delineamento experimental

A metodologia de cálculos dos parâmetros estatísticos que caracterizam a distribuição de água do sistema de irrigação foram executados de acordo com o projeto de norma 04:015.08-008 da ABNT (1998). Tal metodologia consiste em coletar as precipitações por meio de pluviômetros (coletores) distribuídos de maneira eqüidistante a partir do centro do pivô, numerados em ordem crescente. Como o volume coletado por um pluviômetro de ordem (i) representa uma área menor que o de ordem (i + 1), cada volume coletado deve ser multiplicado pela área que cada pluviômetro representa com a finalidade de se fazer uma ponderação entre eles. O coeficiente de uniformidade de distribuição de água recomendado no projeto de norma citado é o de Heermann & Hein.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo feitas três repetições em cada posição testada. Aplicou-se a análise de variância seguida do teste de Tukey de probabilidade.

3.3.5 Dados climáticos

Os dados climáticos coletados durante o ensaio foram: velocidade do vento e a evaporação. Para verificar a velocidade do vento e a temperatura durante os ensaios, foi utilizado um Termo-Anemômetro digital portátil da marca Instrutherm, modelo TAD-500, com leitura de velocidade de 0,3 a 45,0 $m.s^{-1}$ e precisão de ± 3 % (Figura 15).



Figura 15. Termo-Anemômetro digital.

A evaporação durante o período de cada ensaio foi medida utilizando coletores de controle instalados nas adjacências da base do pivô, sendo que os valores obtidos foram somados às lâminas de água coletadas, conforme determina a Norma da ABNT para

esse tipo de ensaio, perfazendo assim a lâmina líquida total aplicada pelo equipamento (Figura 16).

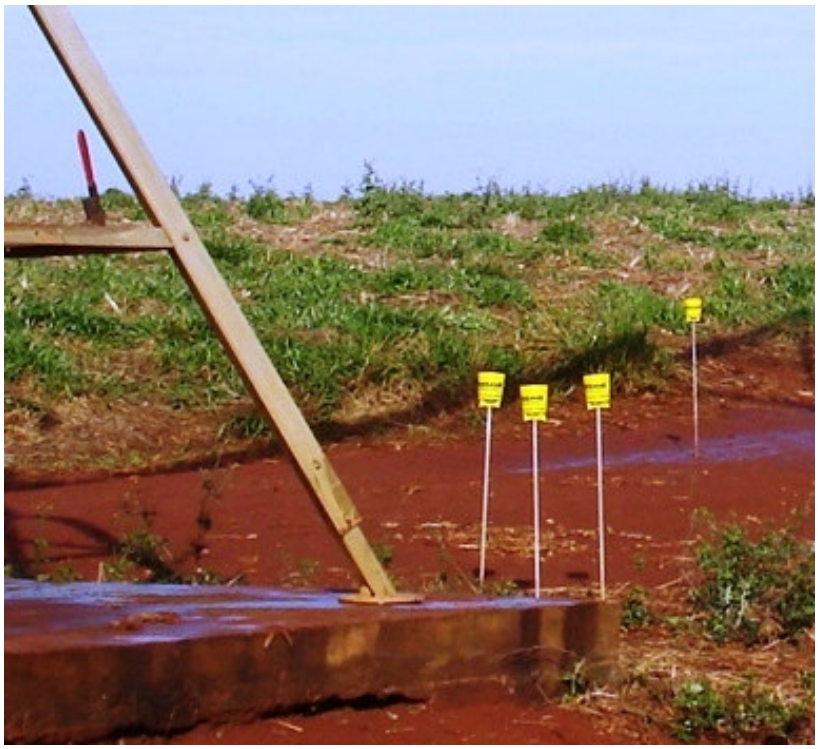


Figura 16. Coletores de evaporação.

3.3.6 Determinações de pressão

Com o equipamento em operação foram medidas nos conjuntos motobomba as pressões com o registro totalmente fechado "shut-off" uma única vez para comparação com o valor da curva característica da bomba (catálogo); e com o registro totalmente aberto para comparação entre condições de posição da linha lateral e rotação (Ensaio-1 com pressão constante e Ensaio-2 com rotação variável). As pressões nas duas bombas foram verificadas nas três posições de ensaio (Figura 17) com o uso de um manômetro tipo Bourdon com leitura de 0 a 21,00 $kgf.cm^{-2}$ e precisão de ± 1 %. No ponto pivô (no tubo de subida) e na extremidade do equipamento (antes do regulador de pressão) também foram

medidas as pressões com manômetro tipo Bourdon em conformidade com as normas da ABNT para averiguação de desvios em relação ao projeto técnico (Figuras 18 e 19).



Figura 17. Verificação da pressão na saída do conjunto motobomba.

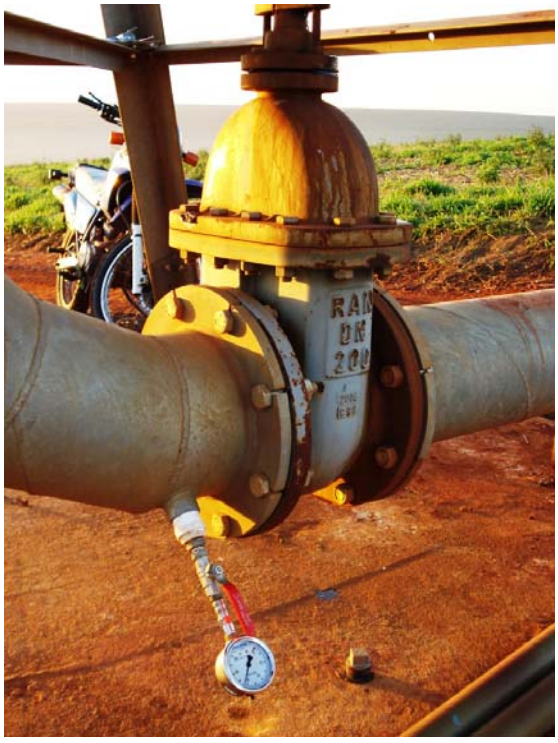


Figura 18. Verificação da pressão no tubo de subida do pivô central.



Figura 19. Verificação da pressão na extremidade do pivô central.

3.3.7 Parâmetros do inversor de freqüência

Ao contrário de chaves de partida comuns como Estrela Triângulo, Compensadora Automática, Série Paralela, entre outras, que possuem apenas informações referentes à corrente e a voltagem em seus painéis, o inversor possui um dispositivo eletrônico chamado HMI (Interface Homem-Máquina). A HMI é uma interface simples que permite a operação e a programação do inversor. Todas as funções relacionadas à operação do inversor (Habilita, desabilita, reversão, Jog, incrementa/decrementa referência de velocidade, comuta situação local/remoto) podem ser executadas pelo HMI.

Durante a realização dos ensaios foram coletados pelo HMI do inversor os dados referentes a: Corrente do motor (A), Freqüência do motor (Hz), Tensão de saída (V), Torque do motor (%) e Potência de saída do motor (kW). Um parâmetro importante verificado posteriormente foi o tipo de controle de operação programado no inversor que era do tipo V/F ou Escalar. Para saber sob quais condições o inversor opera em função dessa programação foi contatado o fabricante do inversor de frequência que informou que esse tipo de controle de operação permite uma variação nas leituras de velocidade mostradas pela HMI

para mais ou para menos em relação aos valores mostrados no display, sendo que essa variação é programável e depende da aplicação do equipamento, podendo ter uma variação de até 10%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climáticos registrados na área de ensaio

Os dados climáticos registrados no campo, velocidade do vento e evaporação dos pluviômetros (coletores), são mostrados na Tabela 1. Em relação à velocidade do vento durante os ensaios, verificou-se que os valores medidos não ultrapassaram o permitido no projeto de norma número 04:015.08-008 da ABNT (1998), no qual velocidade do vento acima de 3,0 $m.s^{-1}$ invalidam os testes. Os valores observados durante os ensaios não ultrapassaram 2,7 $m.s^{-1}$.

Em relação à evaporação medida nos coletores de controle instalados próximos a base do pivô, verificou-se que o maior valor medido foi de 1,53 mm na terceira repetição dos testes em declive do ensaio 2. Os maiores valores de evaporação coincidem na posição de declive nos ensaios 1 e 2 e são decorrentes do horário de realização dos testes (Apêndice 1).

Tabela 2. Valores de velocidade do vento e da evaporação durante os ensaios 1 e 2.

Posições	Repetições	Evaporação dos coletores Ensaio-1 (mm)	Velocidade do vento Ensaio-1 ($m.s^{-1}$)	Evaporação dos coletores Ensaio-2 (mm)	Velocidade do vento Ensaio-2 ($m.s^{-1}$)
Aclive	1	0,17	0,60	1,00	1,20
	2	0,00	0,10	0,20	1,00
	3	0,07	0,30	0,37	0,00
Nível	1	0,20	0,50	0,20	2,00
	2	0,07	1,00	0,23	0,00
	3	0,13	1,30	0,00	0,00
Declive	1	1,40	2,70	0,50	0,90
	2	1,00	1,60	1,00	1,60
	3	0,50	2,70	1,53	2,60

4.2 Rotação do conjunto motobomba nos ensaios 1 e 2.

Nas Tabelas 2 e 3 são mostradas as rotações do conjunto motobomba nos ensaios 1 e 2, respectivamente, em função da posição relativa da linha lateral.

Conforme Tabela 2, verifica-se que os valores de rotação não foram significativos entre as posições de aclive e nível, porém, essas em relação ao declive foram significativas. No primeiro caso a explicação mais provável é que a pequena diferença de cota entre as posições, aproximadamente 11 m, não foi suficiente para que o inversor aumentasse significativamente a rotação do conjunto motobomba para manter a pressão de 125 mca na saída da bomba, que era a programação existente inicialmente no inversor. No entanto em relação à posição em declive, a diferença de cota de aproximadamente 38 m (nível para declive) foi suficiente para que o CLP comandasse o inversor ajustando a rotação para manter a pressão na saída em 125 mca. Esta programação inicial existente na propriedade é equivocada, pois o inversor de freqüência executa uma função contrária a que se propõe, ou seja, ao invés de reduzir a rotação e o consumo de energia quando a linha vai da posição de aclive para declive, há um aumento da rotação e consumo em relação ao mesmo sistema se tivesse chave de partida normal (sem dispositivo de variação de rotação), cuja variação de rotação entre as posições é mínima. Esta programação faria sentido se houvesse aumento de demanda de vazão no sistema, como no caso de aumento de linhas laterais operando

simultaneamente em sistemas de aspersão convencional, semelhantemente ao trabalho de Araújo (2003).

Contudo, há de se destacar que a variação de rotação entre as posições extremas é de apenas 1,49%.

Tabela 3. Efeito da posição relativa da linha lateral na rotação do conjunto motobomba no ensaio 1.

Posições	Repetições	Pressão Cj. MB	Rotação da Bomba		
		(mca)	(rpm)	Média	Tukey
Aclive	1	124,5	1610	1610	B
	2	123,0	1608		
	3	123,0	1611		
Nível	1	125,0	1616	1613	B
	2	125,0	1607		
	3	125,0	1615		
Declive	1	125,0	1637	1634	A
	2	125,0	1632		
	3	125,0	1634		

Letras iguais não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Efeito da posição relativa da linha lateral na rotação do conjunto motobomba no ensaio 2.

Posições	Repetições	Pressão Cj. MB	Rotação da Bomba		
		(mca)	(rpm)	Média	Tukey
Aclive	1	132,5	1681	1682	C
	2	132,5	1683		
	3	132,5	1682		
Nível	1	122,5	1619	1622	B
	2	122,5	1626		
	3	122,5	1620		
Declive	1	82,5	1367	1375	A
	2	82,5	1380		
	3	82,5	1378		

Letras iguais não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação ao ensaio 2 (Tabela 3), verifica-se que os valores de rotação foram significativos entre as três posições. Neste ensaio, a programação do inversor estabelecia pressão variável na saída da bomba conforme a posição da linha lateral na área, ou seja, 132,5, 122,5 e 82,5 mca para as posições de aclive, nível e declive, respectivamente. Sendo assim, para que tais pressões ocorressem, a rotação teria que ser reduzida quando a

linha lateral caminhasse do aclive para o declive, conforme as relações de Rateaux. Esta programação é correta para este dispositivo de partida e operação, pois à medida que a linha vai do aclive para o declive, a altura manométrica cai, porém a parte referente à variação de nível é transformada em pressão que atua, sobretudo, nos aspersores submetidos a esta variação de nível e, com isso, se pode reduzir a rotação da bomba sem reduzir a pressão de operação dos aspersores, havendo redução do consumo e demanda de energia no sistema.

4.3 Coeficiente de uniformidade de aplicação.

A Tabela 4 mostra os resultados de uniformidade de distribuição para o ensaio 1. Verifica-se que somente houve diferença significativa entre a posição declive para nível. Não foi um resultado esperado. Esperava-se que não houvesse diferença entre as posições ou pelo menos que fosse entre as linhas de declive e aclive, pois com a redução de rotação e de vazão na condição de aclive poderia haver uma distribuição menos uniforme na extremidade da linha lateral, que é onde se tem maior influência à variação entre as lâminas e, conseqüentemente, o coeficiente de uniformidade. Contudo, os valores obtidos classificam a uniformidade de aplicação, conforme a ABNT, como sendo boa (entre 85% a 89%) nas posições de aclive e nível e muito boa (acima de 90%) na posição de declive. Esses elevados valores da uniformidade se devem, provavelmente, ao bom desempenho dos reguladores de pressão e do uso de emissores rotativos. Esses emissores trabalham com a mesma pressão de serviço que os emissores fixos, porém, tem um raio irrigado maior possibilitando uma sobreposição maior entre os emissores e, conseqüentemente, melhor resultado na uniformidade de distribuição. Zocoler; Cesar e Vanzela (2004), avaliando um equipamento de irrigação do tipo pivô central em três posições de operação (aclive, nível e declive), verificaram que a posição da linha lateral não influenciou a uniformidade de distribuição de água do referido equipamento.

Tabela 5. Coeficiente de uniformidade de distribuição no ensaio 1.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Uniformidade de distribuição		
		(rpm)	média	CUH(%)	média	Tukey
Aclive	1	1610	1610	89,66	89,75	ab
	2	1608		89,48		
	3	1611		90,11		
Nível	1	1616	1613	88,45	88,93	b
	2	1607		88,98		
	3	1615		89,38		
Declive	1	1637	1634	92,53	91,39	a
	2	1632		90,22		
	3	1634		91,44		

Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 5 são mostrados os resultados da uniformidade de aplicação para o ensaio 2, onde se variou a rotação do conjunto motobomba buscando atender a demanda de altura manométrica conforme a posição da linha lateral na área (aclive, nível ou declive). Apesar de haver diferença significativa na rotação entre as posições de ensaio (Tabela 3), não houve significância entre os valores de uniformidade de distribuição, demonstrando que independente da posição de operação, seja em aclive ou declive, ou da pressão de operação, o conjunto de reguladores de pressão atuou de forma satisfatória, classificando a uniformidade como boa nas três posições de ensaio, conforme a ABNT. Este resultado de certa forma reforça a casualidade do resultado do ensaio anterior.

Tabela 6. Coeficiente de uniformidade de distribuição no ensaio 2.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Uniformidade de distribuição		
		(rpm)	média	CUH(%)	média	ANOVA
Aclive	1	1681	1682	90,29	89,37	ns*
	2	1683		88,26		
	3	1682		89,56		
Nível	1	1619	1622	88,22	87,50	
	2	1626		85,94		
	3	1620		88,35		
Declive	1	1367	1375	90,04	89,69	
	2	1380		89,47		
	3	1378		89,57		

* Análise de variância não significativa a 5% de probabilidade.

4.4 Lâmina de irrigação.

4.4.1 Lâminas de irrigação para o Ensaio 1.

A Tabela 6 mostra os resultados de lâmina de água coletada no ensaio 1. Verifica-se que de modo semelhante à variação de rotação (Tabela 2), porém num nível de significância menos rigoroso (5%), houve diferença significativa somente entre a posição de aclive e declive. O aumento de rotação na posição em declive e, conseqüentemente, na vazão é justificado pela programação inicial da chave que ao identificar uma diminuição da altura manométrica, pelos sensores instalados na saída do conjunto motobomba, fez com que houvesse aumento na rotação até atingir a pressão pré-estabelecida. Sendo assim, a curva característica da bomba sob maior rotação proporcionou aumento na vazão devido ao novo ponto de trabalho, conforme pode ser verificado na Figura 20.

Contudo, diferentemente da variação da rotação, não houve diferença significativa entre a posição em nível e declive. Isto ocorreu, possivelmente, numa situação limiar, em que se uma pequena fração de lâmina que fosse menor na posição em nível (por exemplo: na repetição 1 se ao invés de 5,86 mm fosse 5,70 mm, ou seja, 0,16 mm a menos) já promoveria significância entre esta e a posição de declive. Esta simulação foi realizada e o resultado pode ser visto no Apêndice 2. Outra explicação para que o aumento de vazão não tenha ocorrido na mesma razão do aumento de rotação na posição de declive (para manter a pressão de 125 mca) consiste no fato que o acréscimo de vazão dos emissores não responde linearmente ao acréscimo de pressão, mas sim pela sua raiz quadrada $(\Delta H)^{0,5}$. Alia-se a isto a atuação dos reguladores de pressão que também se contrapõem ao aumento de vazão quando se aumenta a pressão e, por fim, a própria magnitude de variação de rotação entre estas posições que foi de apenas 1,49%.

Conforme a Figura 20, as curvas para cada rotação foram posicionadas junto aos respectivos pontos de operação dentro da margem que a programação permite (até 10% acima ou abaixo da leitura de rotação no HMI), no entanto para o ensaio 1 esse valor não excedeu 2,48% abaixo da leitura para cada média de rotação.

Tabela 7. Lâmina de irrigação no ensaio 1.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Lâmina irrigada coletada		
		(rpm)	média	(mm)	Média	Tukey
Aclive	1	1610	1610	5,55	5,56	b
	2	1608		5,67		
	3	1611		5,47		
Nível	1	1616	1613	5,86	5,65	ab
	2	1607		5,70		
	3	1615		5,38		
Declive	1	1637	1634	6,48	6,31	a
	2	1632		6,65		
	3	1634		5,81		

Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

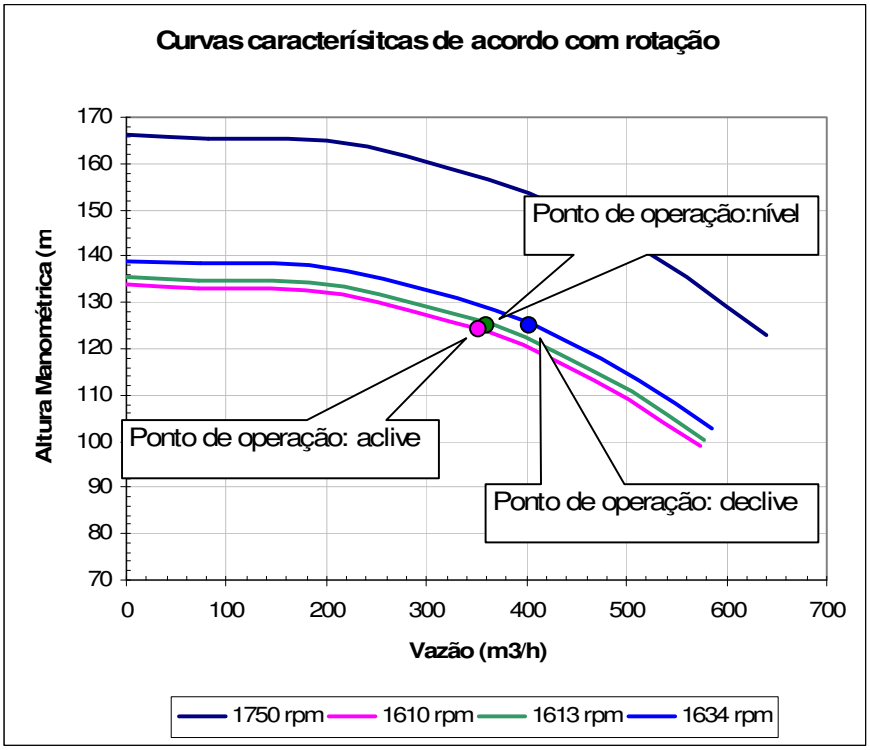


Figura 20. Pontos de operação H_{man} (mca) x Vazão ($m^3.h^{-1}$) de acordo com pressões medidas no conjunto motobomba e vazões calculadas a partir da lâmina média ponderada para o Ensaio 1.

No Apêndice 3, podem ser visualizados os gráficos dos perfis de distribuição de lâminas de água coletadas ao longo do raio do pivô e a lâmina média ponderada nas nove repetições realizadas para determinar os coeficientes médios de uniformidade do Ensaio 1. Também constam os dados referentes à identificação do proprietário e localização do equipamento, dados técnicos do equipamento, do conjunto motobomba, composição da adutora, pressões verificadas no conjunto motobomba, centro e extremidade do pivô, assim como outros parâmetros de uniformidade de distribuição determinados a partir das lâminas coletadas nos ensaios.

4.4.2 Lâminas de irrigação para o Ensaio 2.

Na Tabela 7 são mostrados os resultados de lâmina de água coletada no ensaio 2. Verifica-se que, diferentemente da rotação, em que houve diferença significativa nas três posições (Tabela 3), somente houve diferença de lâminas coletadas entre as posições de declive versus nível e declive versus aclive. Assim como no ensaio 1, no ensaio 2 em declive também houve aumento da lâmina aplicada. Considerando que o inversor fora programado para atender as necessidades de pressão adequadas para cada posição, esperava-se que as lâminas não diferissem estatisticamente. Porém, o que ocorreu é que mesmo com a pressão de saída ajustada para 82,5 mca na posição de declive, ainda assim este valor foi suficiente para que a vazão fosse maior em relação às posições anteriores e, assim, promovesse a elevação da lâmina aplicada.

Na Figura 21 podem ser visualizados os pontos de operação com base na pressão observada na saída do conjunto motobomba, vazão calculada através da lâmina média ponderada e a movimentação desse ponto das posições em aclive e nível para declive. As curvas para cada rotação foram posicionadas junto aos respectivos pontos de operação dentro da margem que a programação permite (até 10% acima ou abaixo da leitura de rotação no HMI), no entanto para o ensaio 2 esse valor não excedeu 4,28% abaixo da leitura para cada média de rotação.

Tabela 8. Lâmina de irrigação no ensaio 2.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Lâmina irrigada coletada		
		(rpm)	média	mm	Média	Tukey
Aclive	1	1681	1682	5,71	5,54	b
	2	1683		5,39		
	3	1682		5,53		
Nível	1	1619	1622	5,36	5,39	b
	2	1626		5,54		
	3	1620		5,28		
Declive	1	1367	1375	5,87	6,19	a
	2	1380		6,13		
	3	1378		6,57		

Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

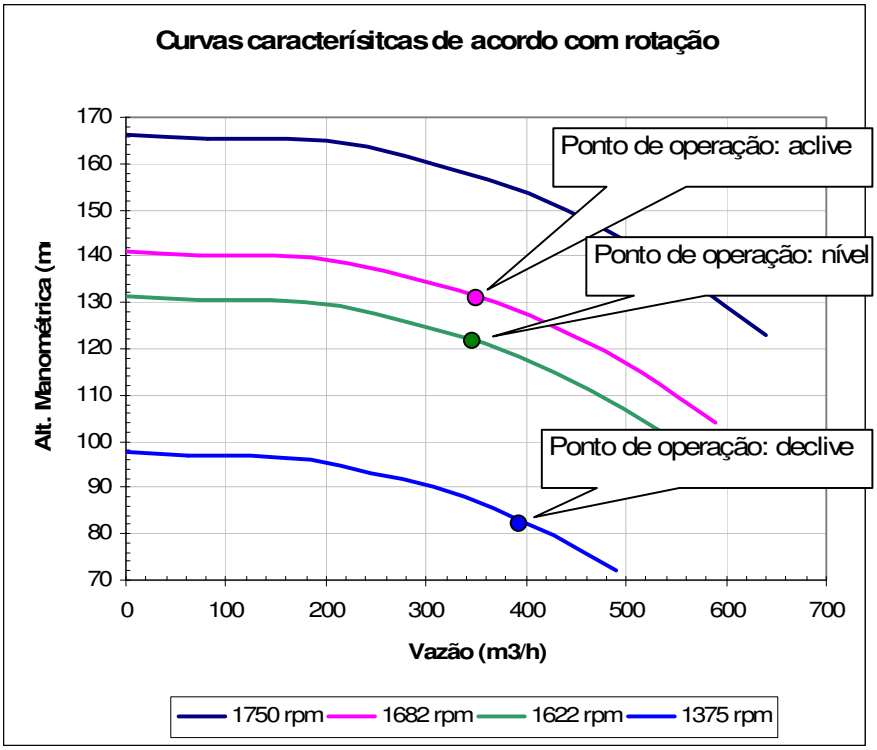


Figura 21. Pontos de operação H_{man} (mca) x Vazão ($m^3.h^{-1}$), de acordo com pressões medidas no conjunto motobomba e vazões calculadas a partir da lâmina média ponderada para Ensaio 2.

No Apêndice 4, podem ser visualizados os gráficos dos perfis de distribuição de lâminas de água coletadas ao longo do raio do pivô e a Lâmina média ponderada nas nove repetições realizadas para determinar os coeficientes médios de uniformidade para o Ensaio 2. Também constam os dados referentes a identificação do proprietário e a localização do equipamento, dados técnicos do equipamento, do conjunto motobomba, composição da adutora, pressões verificadas no conjunto motobomba, centro e extremidade do pivô, assim como outros parâmetros de uniformidade de distribuição determinados a partir das lâminas de água coletadas nos ensaios.

4.5 Potência desenvolvida pelo motor elétrico.

Na Tabela 8, verificam-se os parâmetros relacionados ao consumo de energia do conjunto motobomba no ensaio 1. Verifica-se que, assim como nos testes com rotação (Tabela 2), não houve diferença significância entre os valores de potência desenvolvida pelos motores (kW) entre as posições de ensaio em aclive e nível, porém em relação ao declive esses valores foram significativos (nível de 1%). Essa comparação é feita porque rotação e consumo têm uma relação direta, pois, para manter o torque constante, o inversor de freqüência deve manter a razão V/F constante, ou seja, caso haja mudança na freqüência da rede (Hz), a tensão (V) deve mudar na mesma proporção para que a razão se mantenha na mesma proporção. Nesse caso, como a pressão de saída do conjunto motobomba estava pré-determinada e houve a necessidade de aumentar a rotação para manter a pressão constante, houve também um acréscimo no consumo.

Tabela 9. Valores de potência do conjunto motobomba no ensaio 1.

Posições	Repetições	Rotação da bomba (rpm)	Pressão de recalque (mca)	Freqüência do motor (Hz)	Tensão do motor (V)	Potência do motor		
						(kW)	Média	Tukey
Aclive	1	1610	124,50	54,1	342,0	162,0	165,56	B
	2	1608	123,00	54,1	342,0	168,3		
	3	1611	123,00	54,1	342,0	166,4		
Nível	1	1616	125,00	54,5	343,0	169,4	167,50	B
	2	1607	125,00	54,1	340,0	166,6		
	3	1615	125,00	54,3	343,0	166,5		
Declive	1	1637	125,00	55,1	348,0	186,5	182,16	A
	2	1632	125,00	55,0	347,0	180,8		
	3	1634	125,00	55,0	347,0	179,2		

Letras iguais não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 9 verificam-se os parâmetros relacionados ao consumo de energia do conjunto motobomba no ensaio 2. Verificou-se pelos resultados que houve diferença significativa de consumo nas três condições de ensaio (aclive, nível e declive), da mesma forma como nos resultados de rotação e pressão de recalque. Assim como no ensaio 1, porém de modo inverso, com a redução da freqüência, o inversor também reduziu a tensão do motor na mesma proporção, mantendo assim a razão V/F constante.

Como a condição estabelecida no ensaio 2 determinava a variação da rotação em função da demanda em altura manométrica, sendo esse um dos principais, se não o principal fator responsável pela implantação de um inversor de freqüência em sistemas de irrigação, por meio dos resultados pôde-se verificar a atuação desse equipamento em função da redução de consumo entre os extremos do terreno que para esse caso foi de 40,13% em média.

Tabela 10. Valores de potência do conjunto motobomba no ensaio 2.

Posições	Repetições	Rotação da bomba (rpm)	Pressão de recalque (mca)	Freqüência do motor (Hz)	Tensão do motor (V)	Potência do motor		
						(kW)	Média	Tukey
Aclive	1	1681	132,50	56,4	356,0	182,6	185,36	A
	2	1683	132,50	56,7	357,0	188,4		
	3	1682	132,50	56,4	356,0	185,1		
Nível	1	1619	122,50	54,3	343,0	166,0	171,06	B
	2	1626	122,50	54,7	344,0	176,0		
	3	1620	122,50	54,3	343,0	171,2		
Declive	1	1367	82,50	45,9	289,0	108,1	110,96	C
	2	1380	82,50	46,3	292,0	114,0		
	3	1378	82,50	46,3	293,0	110,8		

Letras iguais não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.6 Redução do consumo de energia devido ao uso da chave inversora

Devido às condições locais, em que um único sistema de bombeamento abastecia três sistemas de irrigação do tipo pivô central, não seria possível utilizar outro comando de partida senão a chave inversora, pois a rotação da motobomba deve variar conforme o pivô central em operação e a posição da linha lateral do mesmo. Sendo assim, para o equipamento PC-09 calculou-se a redução média do consumo de energia elétrica no bombeamento devido à redução da rotação.

Considerando que o consumidor está enquadrado na tarifação horo-sazonal verde com direito ao desconto na tarifa de consumo entre as 21:30 e 6:00 horas do dia posterior, seguem-se as condições de aplicação dos cálculos:

- Consumidor: Grupo A, Subgrupo A4, Classe IV (Rural), Subclasse a – agropecuário item 2 – serviço de bombeamento de água destinada à atividade de irrigação (Resolução Normativa 156, de 3 de maio de 2005 da ANELL que alterou a Resolução 456, de 29 de novembro de 2000 da ANEEL);

- Potência média de operação: 148,16 kW (máxima referente à posição mais alta 185,36 kW; e mínima referente à posição mais baixa 110,96 kW);

- Tempo de funcionamento diário: 20 h (ligado meia hora após o término do horário de ponta e desligado meia hora antes do início do horário de ponta);

- Número de dias de funcionamento no período seco do ano (maio a novembro): 70;

- Tempo diário de funcionamento no horário especial para irrigantes (no caso do benefício da Resolução 207, de 9 de janeiro de 2006, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL): 8,5 horas (máximo possível);

- Tarifa de consumo de energia elétrica no horário fora da ponta utilizada (CPFL – Paulista para o subgrupo A4, segundo a Resolução 445/ANEEL - DOU de 03/04/2007): R$ 0,17647 $kw.h^{-1}$;

- Fator de desconto sobre a tarifa de consumo verde no horário fora da ponta para a irrigação: 70% (Região Sudeste);

- Impostos Federais (PIS/PASEP e COFINS), que em média perfazem 4%, não foram incluídos nas tarifas.

Portanto, o valor (R$) do consumo de energia elétrica poupado durante o período de utilização do equipamento é calculado como se segue:

$$Vc = \frac{(185,36 - 110,96)}{2}.11,5.70.0,17647 + \frac{(185,36 - 110,96)}{2}.8,5.70.0,17647.0,30 = 6456,37$$

Sabendo-se que o preço de aquisição da chave inversora é R$ 65.200,00 (Segundo representante WEG em 24/10/2008) e que se ao invés desta, fossem adquiridas duas chaves tipo “soft starter” (mesmo com a limitação do caso), cujo preço de aquisição é R$ 10.850,00 cada, o tempo de recuperação do capital investido entre estas duas opções, devido somente à economia de energia, seria de 6,74 anos, o que evidencia um investimento muito interessante, bem como o fato da chave inversora dispensar o uso de banco de capacitores para correção do fator de potência do sistema. Além disso, considerou-se neste cálculo apenas o uso do pivô número 9 e somente durante 1/3 (um terço) do período seco do ano (maio a novembro), uma vez que nos outros 2/3 deste período a chave inversora estaria conectada aos outros dois pivôs (PC-07 e PC-08), que estão posicionados em áreas mais elevadas.

5 CONCLUSÕES

Conforme condições desenvolvidas, pode-se concluir que:

Em função da programação existente, as condições de operação do equipamento para o Ensaio 1 influenciaram os valores de rotação, uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada e consumo de energia. Embora os resultados de uniformidade de distribuição tenham sido classificados como bom e muito bom o aumento de rotação na posição em declive demonstrou uma parametrização equivocada do inversor de freqüência, pois com o aumento de rotação houve aumento no consumo de energia em uma condição de operação em que deveria ocorrer o inverso;

Para o Ensaio 2 verificou-se que os valores de rotação, pressão e potência operaram de acordo com as relações de Rateaux. Neste ensaio a posição de operação do equipamento determinou a altura manométrica, otimizando assim, o uso do conjunto motobomba por meio do controle de velocidade de rotação pelo inversor de freqüência;

Para o Ensaio 2, verificou-se que a posição do equipamento influenciou nos valores de rotação e na lâmina de água aplicada, porém não na uniformidade

de distribuição de água que foi classificada como boa, evidenciando que mesmo com rotação menor a uniformidade de distribuição foi mantida;

Os valores de lâmina de água aplicada para os Ensaios 1 e 2 ficaram acima dos valores especificados na ficha técnica fornecida pelo fabricante do equipamento, demonstrando a necessidade de se avaliar os equipamentos de irrigação após a instalação. Dessa forma, consegue-se melhorar o desempenho dos mesmos não só na questão de aplicação de água como em consumo de energia elétrica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.A. et al.: Verificações das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de freqüência. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.523-525, 2002 Campina Grande, PB.

ARAÚJO, J.A.B. **Aplicação de inversor de freqüência para economia de energia elétrica, em sistema de irrigação por aspersão**. Botucatu, 2003. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Métodos de ensaio para determinação de uniformidade de distribuição de água em equipamentos de irrigação mecanizada (pivô central e lateral móvel), providos de emissores fixos e rotativos.** Rio de Janeiro, 1998. 14p .(PN 04: 015.08-008).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central: caracterização de desempenho método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1985. 22p. (PN 12: 02.08-005).

AZEVEDO, E. B.; COLOMBO, A.; CARVALHO, J.A; RABELO, G. F. Redução do consumo de energia elétrica com o uso de inversor de freqüência em um pivô central. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 11., 2002, Lavras. **Resumos expandidos**... Lavras: UFLA, 2002. p. 104-108. 1 CDROM

AZEVEDO, E. B.; **Viabilidade do uso do inversor de freqüência em sistema de irrigação do tipo pivô central**. Lavras, 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2003.

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

BERNARDO, S**. Manual de irrigação.** 6.ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.

CAMPANA, S. et al. Inversor de freqüência – uma alternativa para racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação Pivô Central. In: AGRENER 2000 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Anais**... Campinas: NIPE/UNICAMP, 2000b. 1 CD-ROM.

CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional.** 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, J.A. Hidráulica básica. In: MIRANDA, J.H. de; PIRE, R.C. de M. **Irrigação.** Piracicaba**:** FUNEP, 2003**.** cap. 15, v.2, p. 1-106.

CARVALHO, J.A.; et al. Utilização do inversor de freqüência em sistemas de irrigação para controle de vazão. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.51-56, 2000. Campina Grande, PB.

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

COSTA, M. B. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*coffea cenefhora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros – ES.** Piracicaba, 2006. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 2006.

FRIZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência.** Piracicaba: ESALQ, 1992. 53p. (Série Didática).

FRIZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação.** Piracicaba, 1986. 133p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FRIZZONE, J.A; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação.** Piracicaba**:** FUNEP, 2003**.** cap. 15, v.2, p. 573-561.

LIMA, A.S. **Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central móvel**. Botucatu, 2003. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, 2003.

MARCHETTI, D. **Irrigação por pivô central.** Brasília: EMBRAPA, 1983. 23p. (Circular Técnica Número 1).

PROCEL. Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica. Motor de alto rendimento. **Guia Técnico**. Rio de Janeiro, 1998. p. 26.

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 BRSILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1992, Fortaleza, **Anais**... Fortaleza, 1992. p. 997-1018.

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.

SCHNEIDER . Considerações gerais sobre bombas hidráulicas. **Manuais Técnicos**. Joinville: 2008. 60 p.

SCHMIDLIN Jr., C. R. **Operação do conjunto bomba centrífuga, motor de indução trifásico e conversor de freqüência visando a eficiência no uso da energia elétrica**. Fortaleza, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2006.

WEG. **Guia de aplicação de energia.** Jaraguá do Sul: WEG, 2002. 238p.

WEG. **Manual do inversor de freqüência CFW-09.** Jaraguá do Sul: WEG, 2006. 361p.

ZOCOLER, J.L. Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação. In: CURSO DE CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA IRRIGADA, Ilha Solteira, 1999. **Anais.** FEIS/UNESP, FEPISA. Ilha Solteira, 1999. p.33-36.

ZOCOLER, J.L; CESAR, L.E.V.; VANZELA, L.S. Efeito da linha lateral de um equipamento de irrigação tipo pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência da irrigação. In: **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.4, 290-297, Out,/Dez., 2004.

APÊNDICE 1

Valores de velocidade do vento e evaporação dos coletores de controle durante o Ensaio 1.

Posições	Repetições	Data	Horário medido	Evaporação dos coletores (mm)	Velocidade do vento (m/s)
Aclive	1	16/08/2008	9:40	0,17	0,60
	2	19/08/2008	8:10	0,00	0,10
	3	19/08/2008	9:37	0,07	0,30
Nível	1	17/08/2008	8:10	0,20	0,50
	2	18/08/2008	8:40	0,07	1,00
	3	18/08/2008	10:40	0,13	1,30
Declive	1	17/08/2008	12:30	1,40	2,70
	2	17/08/2008	17:40	1,00	1,60
	3	18/08/2008	15:35	0,50	2,70

Valores de velocidade do vento e evaporação dos coletores de controle durante o Ensaio 2.

Posições	Repetições	Data	Horário medido	Evaporação dos coletores (mm)	Velocidade do vento (m/s)
Aclive	1	02/09/2008	16:00	1,00	1,20
	2	02/09/2008	17:25	0,20	1,00
	3	02/09/2008	18:54	0,37	0,00
Nível	1	03/09/2008	18:20	0,20	2,00
	2	03/09/2008	20:15	0,23	0,00
	3	03/09/2008	21:40	0,00	0,00
Declive	1	04/09/2008	10:15	0,50	0,90
	2	04/09/2008	11:40	1,00	1,60
	3	04/09/2008	13:20	1,53	2,60

APÊNDICE 2

Variável analisada: Lâmina

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Posição	2	1.081800	0.540900	6.719	0.0294
erro	6	0.483000	0.080500		
Total corrigido	8	1.564800			

CV (%) = 4.87
Média geral: 5.8233333 Número de observações: 9

Teste Tukey para a FV Posição

DMS: 0.710526353880435 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.163808831670742

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
A	5.563333	a1
N	5.593333	a1
D	6.313333	a2

APÊNDICE 3

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — **ENSAIO 1: Aclive - 1**

Nome: Gilberto Tonon		Tel:	16/08/2008
Cidade: Coronel Macedo	UF: SP	Fax:	
Local de instalação: Fazenda Nossa Senhora Aparecida		Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca: Valmont - Valley		Modelo: 4871-8000-VL/6-1.492		Horímetro: 1061 h	
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre		322.55 m	Área 43.94 ha => 18.16 Alq.		
Raio Irrigado:		374 m	Raio de giro 360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão 512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo HF	Pressão 20 PSI	
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo	Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1610**	Rotor 390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG		Potência 175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos	IV	Proteção IP-55	
Painel:	Marca WEG		Tipo INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 64 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 23

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	80
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	124,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento: FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m	Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m	Local da sucção: reservatório	

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 330 A
Freqüência do motor: 54,1Hz
Tensão de saída: 342 V
Torque do motor: 58,0 %
Potência de saída: 162,0 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1 - Aclive:1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

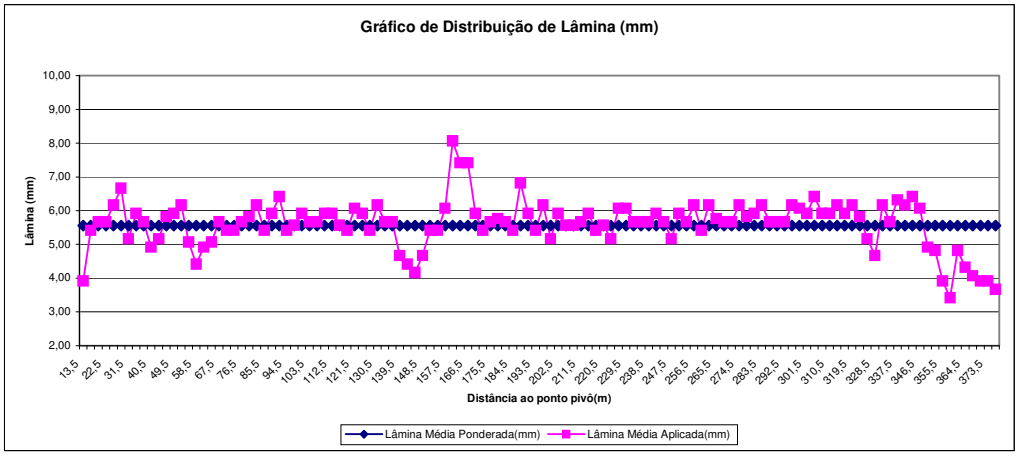
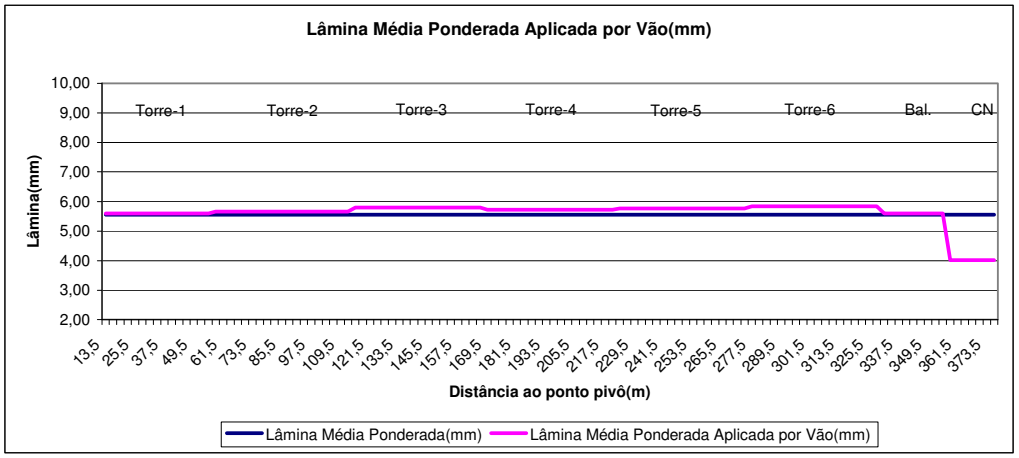


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,55	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,58	mm	
Desvio Padrão	0,72	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,66	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	87,13	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,73	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,45	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Aclive - 2

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	19/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1084 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32		
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1608**		Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG		Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos	IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 64 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 23

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	123	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 335 A
Freqüência do motor: 54,1Hz
Tensão de saída: 342 V
Torque do motor: 58,1 %
Potência de saída: 168,3 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Aclive - 2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

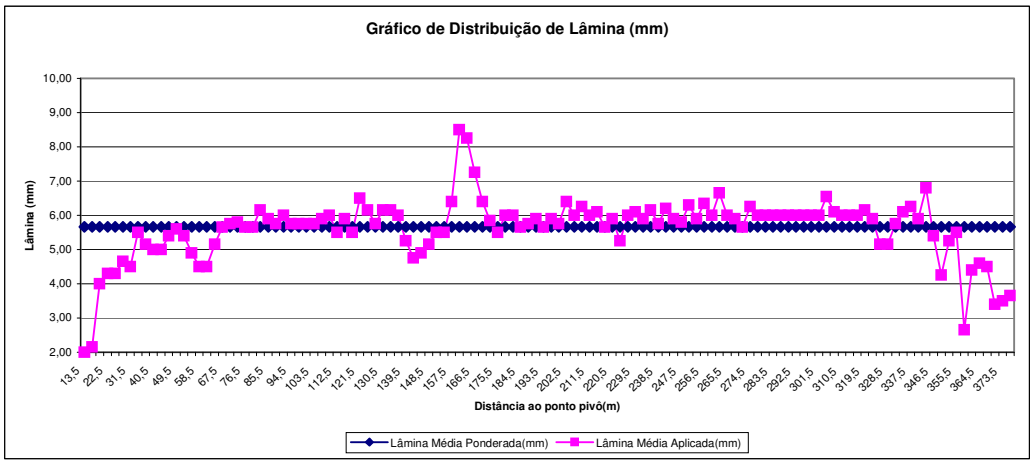
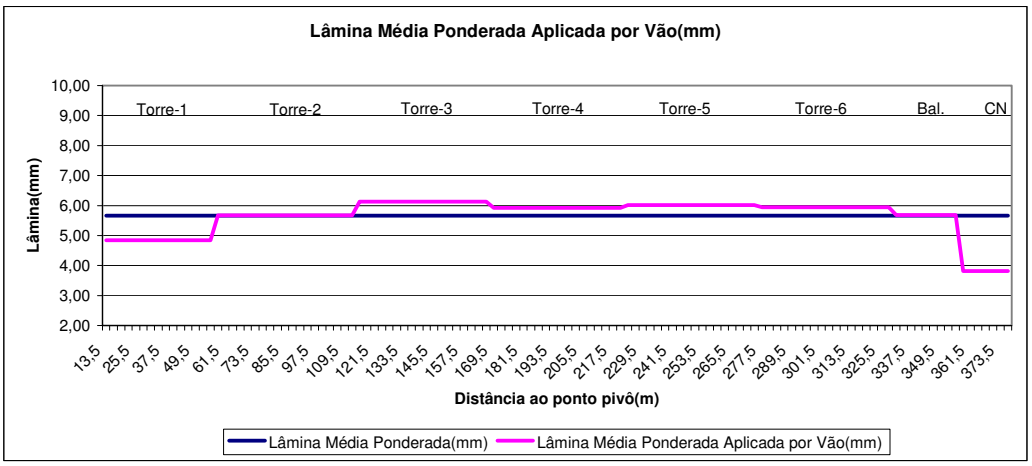


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,67	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,40	mm	
Desvio Padrão	0,92	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,48	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	83,84	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	87,11	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	77,61	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Aclive - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	19/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon
Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima
Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1085 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):		32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1611**		Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG		Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos	IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 63 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 22

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	123	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 339 A
Freqüência do motor: 54.1Hz
Tensão de saída: 342 V
Torque do motor: 57,40%
Potência de saída: 166.4 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Aclive - 3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

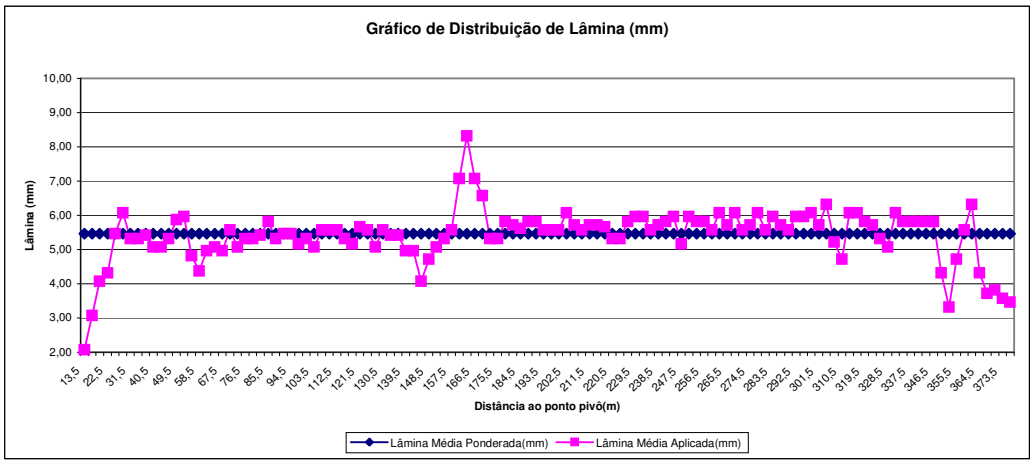
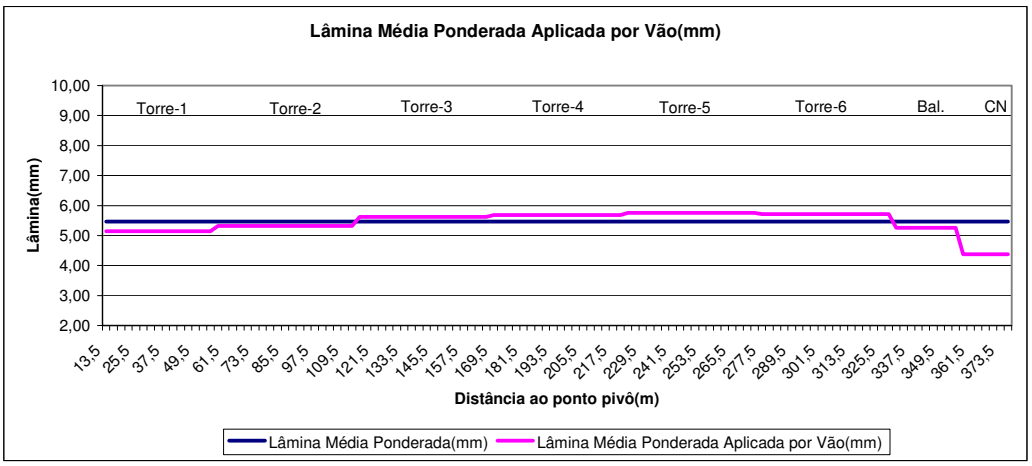


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,47	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,41	mm	
Desvio Padrão	0,78	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	90,11	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	85,78	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	88,65	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	80,66	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Nível - 1

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	17/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Assinatura

Nome do responsável pelo recebimento do ensaio

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Assinatura

Nome do reponsável pelo ensaio

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1063 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1616,1**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 65 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 30

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 335 A
Freqüência do motor: 54.5Hz
Tensão de saída: 343 V
Torque do motor: 56,80%
Potência de saída: 169.4 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Nível - 1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

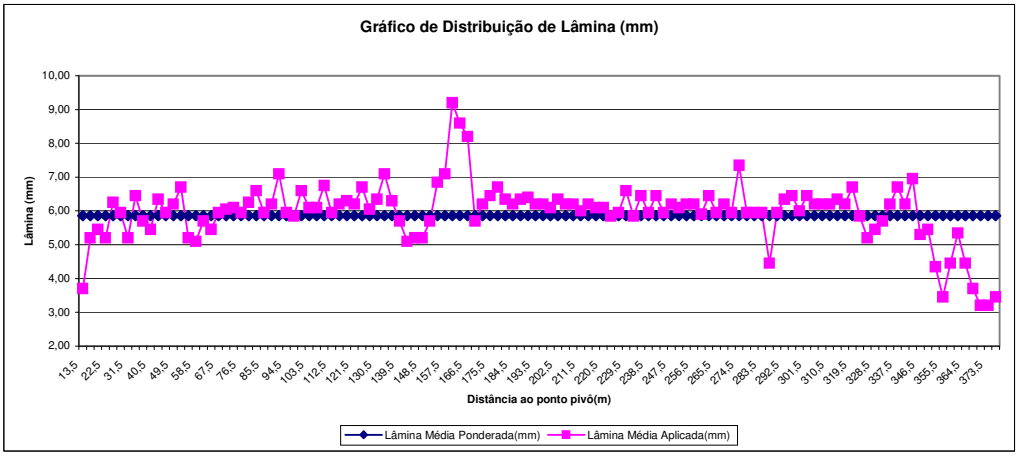
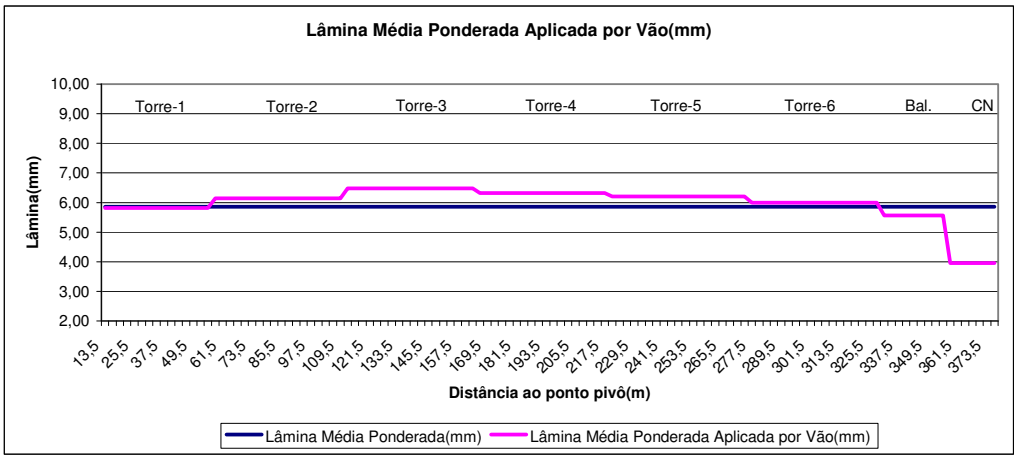


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,86	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,91	mm	
Desvio Padrão	0,89	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,45	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	84,89	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	87,95	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	83,72	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Nível - 2

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	18/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1074 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1607**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 66 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 31

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 328.7 A
Freqüência do motor: 54.1Hz
Tensão de saída: 340 V
Torque do motor: 56,90%
Potência de saída: 166.6 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Nível - 2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

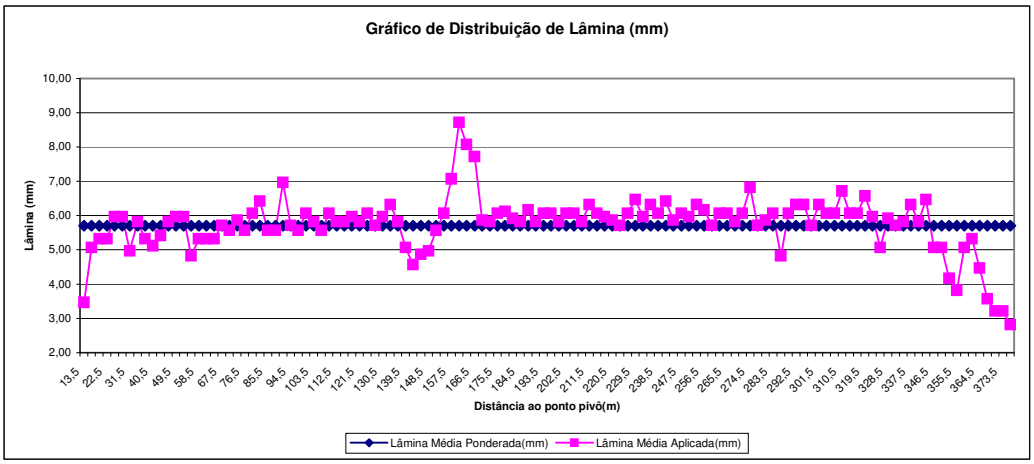
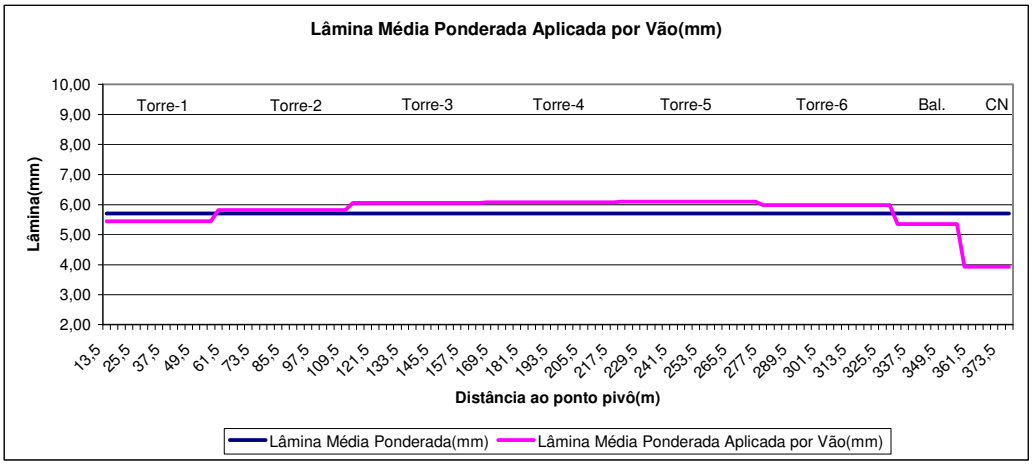


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,70	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,69	mm	
Desvio Padrão	0,82	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,98	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	85,63	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	88,53	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,18	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Nível - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	18/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1076 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32		
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1615,3**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 66 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 34

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 328.1 A
Freqüência do motor: 54.3Hz
Tensão de saída: 343 V
Torque do motor: 56,80%
Potência de saída: 166.5 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1 - Nível:3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

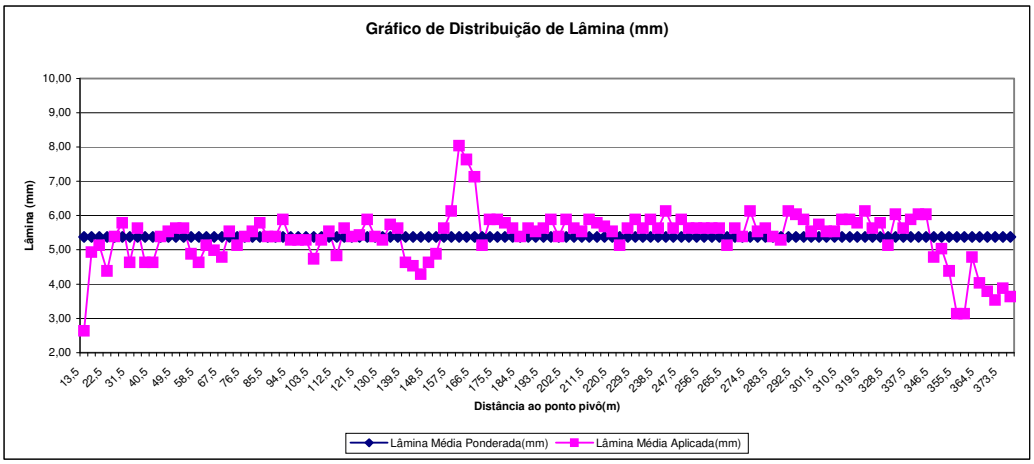
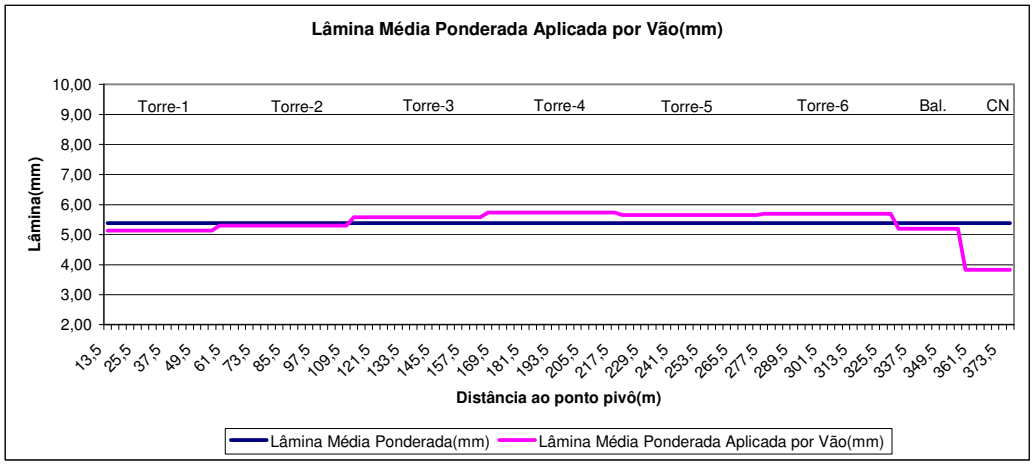


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,38	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,35	mm	
Desvio Padrão	0,75	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,38	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	86,10	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	88,91	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	80,92	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Declive - 1

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	17/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1067 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32		
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1637**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 66 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 64

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 351.8 A
Freqüência do motor: 55.1Hz
Tensão de saída: 348 V
Torque do motor: 62,50%
Potência de saída: 186.5 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Declive - 1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

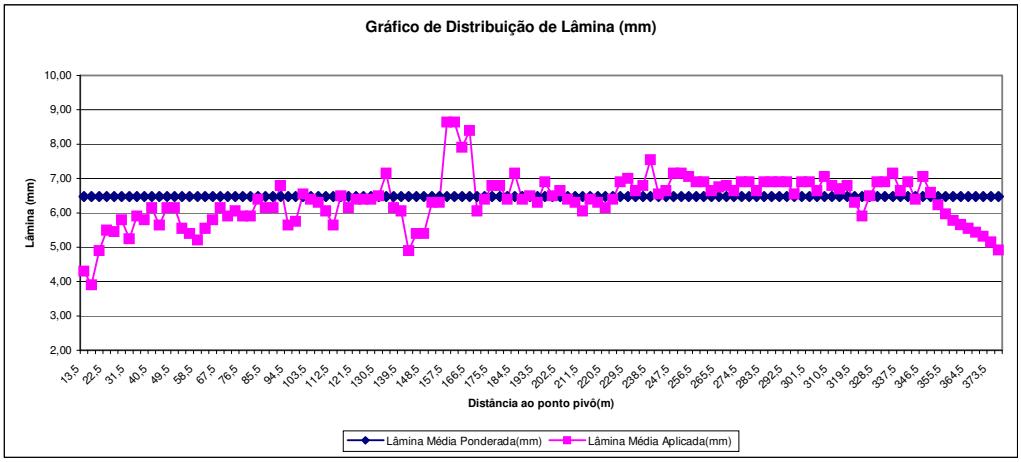
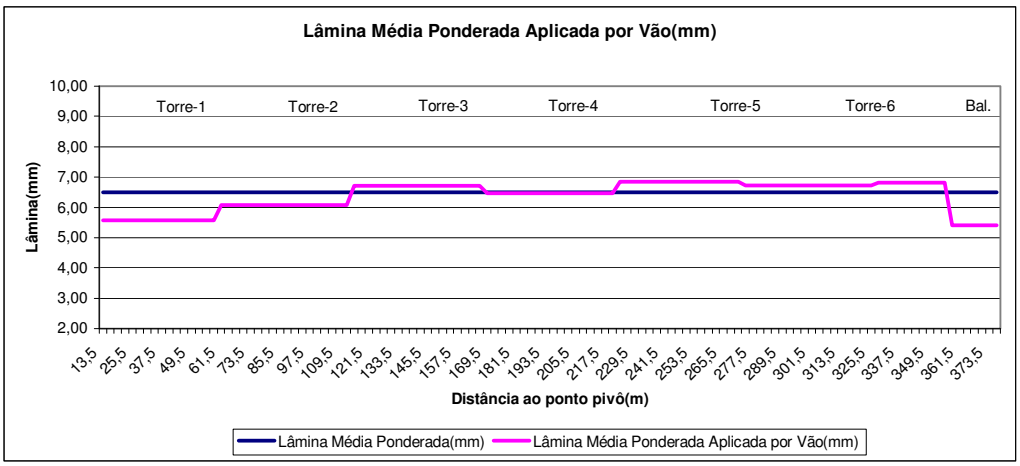


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	6,48	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	5,36	mm	
Desvio Padrão	0,73	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	92,53	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	88,69	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	90,98	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,61	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Declive - 2

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	17/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1071 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha => 18,16 Alq.		
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32		
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1632**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 65 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 60

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	60	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 346 A
Freqüência do motor: 55Hz
Tensão de saída: 347 V
Torque do motor: 60,00%
Potência de saída: 180.8 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 1: Declive - 2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

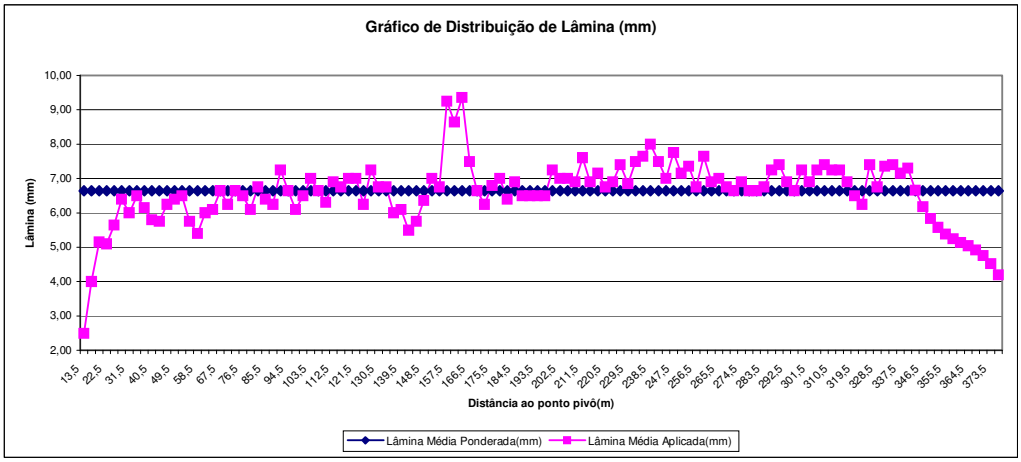
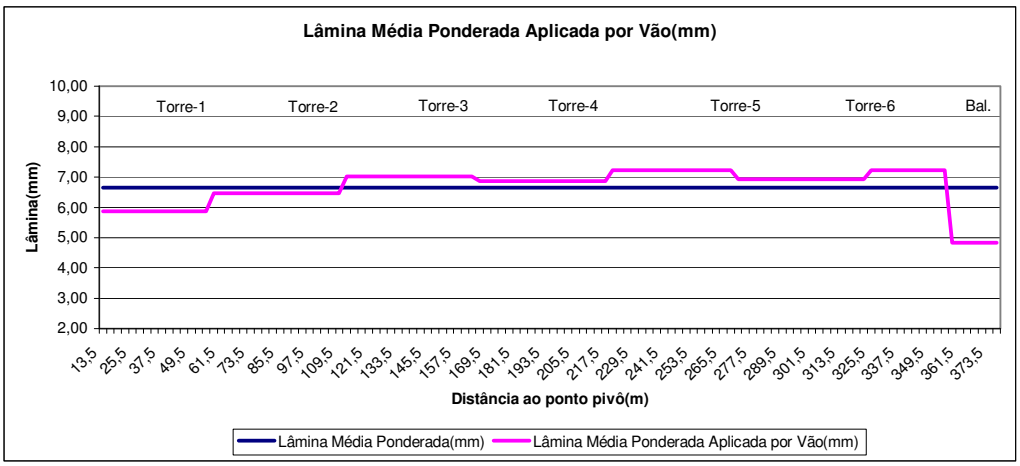


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	6,65	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	5,39	mm	
Desvio Padrão	0,92	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	90,22	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	86,11	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	88,92	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	81,04	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 1: Declive - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	18/08/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon
Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima
Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1079 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):		32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca	IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1634**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca	WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos	IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca	WEG	Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 65 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 62

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	60	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	125	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 346 A
Freqüência do motor: 55Hz
Tensão de saída: 347 V
Torque do motor: 59,90%
Potência de saída: 179.2 kW

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL - ENSAIO 1: Declive - 3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

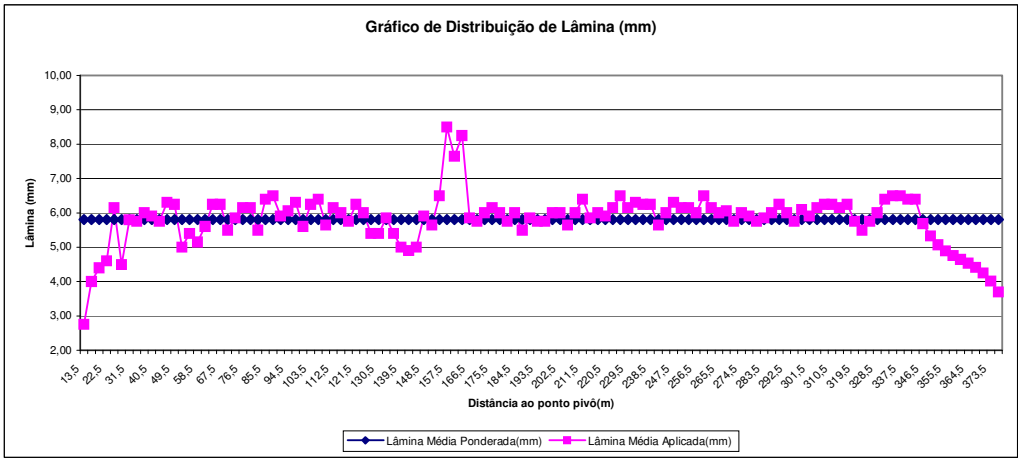
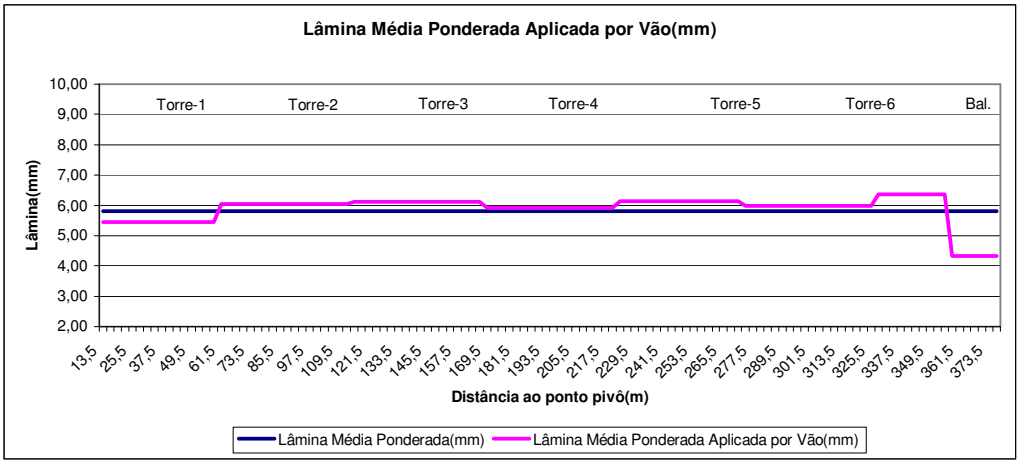


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,81	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,86	mm	
Desvio Padrão	0,74	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	91,44	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	87,19	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,78	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	83,58	%	? 80%

APÊNDICE 4

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — **ENSAIO 2: Aclive - 1**

Nome: Gilberto Tonon		Tel:	02/09/2008
Cidade: Coronel Macedo	UF: SP	Fax:	
Local de instalação: Fazenda Nossa Senhora Aparecida		Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca: Valmont - Valley		Modelo: 4871-8000-VL/6-1.492		Horímetro: 1094 h	
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	32	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTOBOMBA: EM SÉRIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1681**	Rotor	390 mm (x2)
Motor	Marca WEG		Potência 175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV		Proteção IP-55	
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 77 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 32

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	65	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	132,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 349 A
Freqüência do motor: 56.4 Hz
Tensão de saída: 356 V
Torque do motor: 60,40%
Potência de saída: 182.6 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2 - Aclive:1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

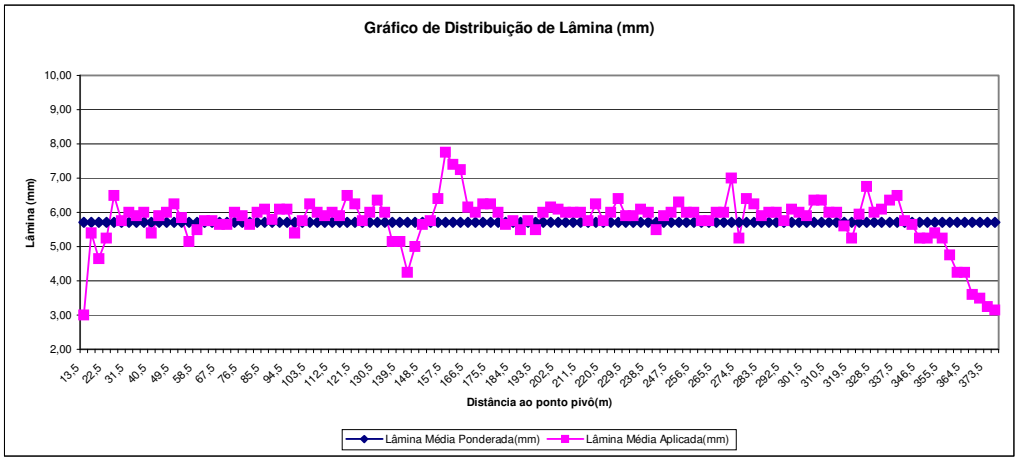
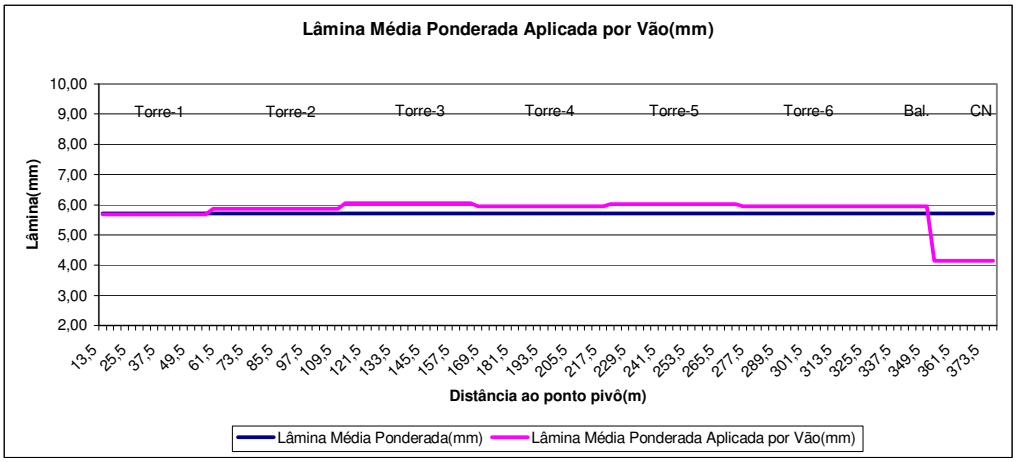


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,71	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,82	mm	
Desvio Padrão	0,73	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	90,29	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	87,23	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,81	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	84,42	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Aclive - 2

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	02/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1096 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre		322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.
Raio Irrigado:		374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h) 295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	35	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1683**		Rotor	390 mm (x2)
Motor	Marca WEG		Potência 175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV		Proteção	IP-55
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 77 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 35

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	65	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	132,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 353 A
Freqüência do motor: 56.7 Hz
Tensão de saída: 357 V
Torque do motor: 61,80%
Potência de saída: 188.4 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Aclive - 2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

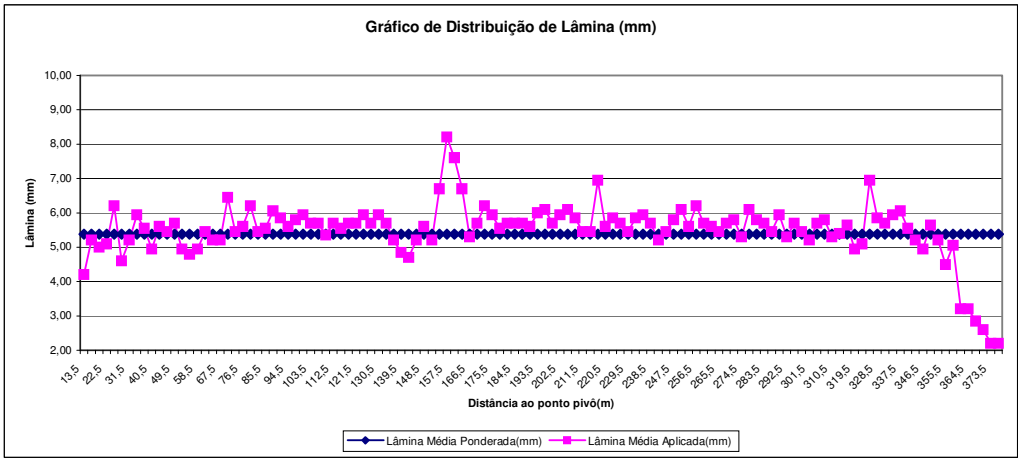
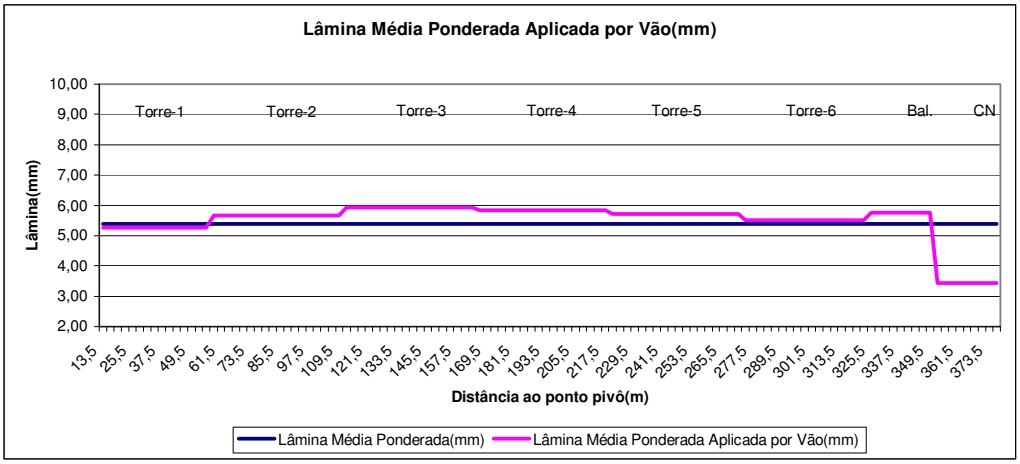


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,39	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,57	mm	
Desvio Padrão	0,83	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,26	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	84,52	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	87,65	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	84,76	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Aclive - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	02/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1096 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre		322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.
Raio Irrigado:		374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h) 295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	35	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1682**	Rotor	390 mm (x2)
Motor	Marca WEG		Potência 175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV		Proteção	IP-55
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR DE FREQÜÊNCIA - CFW-09

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 77 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 35

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	65	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	132,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 348.2 A
Freqüência do motor: 56.4 Hz
Tensão de saída: 356 V
Torque do motor: 61,10%
Potência de saída: 185.1 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Aclive - 3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

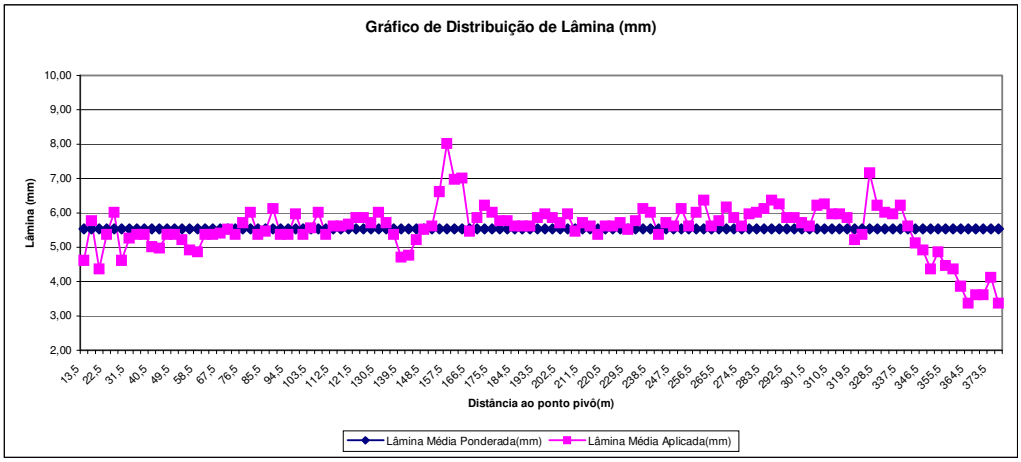
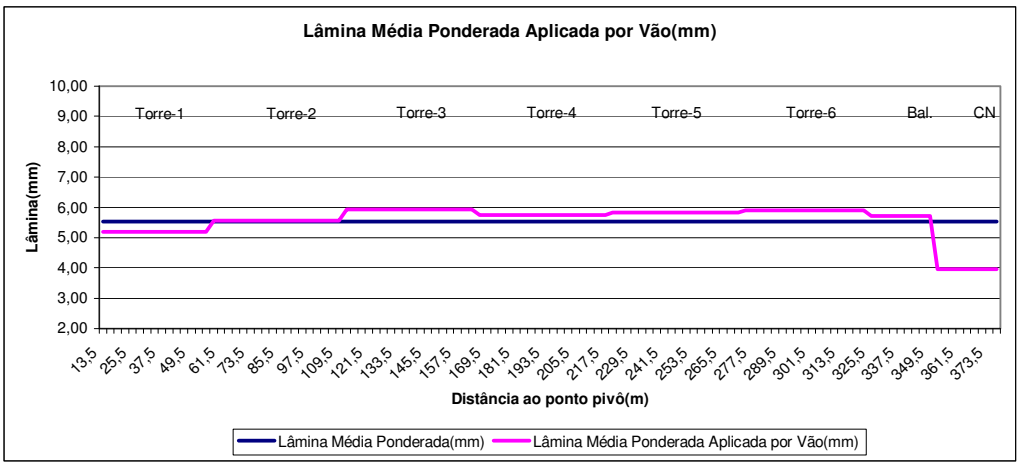


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,53	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,55	mm	
Desvio Padrão	0,69	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,56	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	87,46	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,99	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,27	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Nível - 1

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	03/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1097 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16	Alq.
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V			
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI	
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto		rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24	
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):		36		
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência		cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1619**		Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG		Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	N° de polos	IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 66 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 36

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	60	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	122,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 332 A
Freqüência do motor: 54.3 Hz
Tensão de saída: 343 V
Torque do motor: 56,40%
Potência de saída: 166 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Nível - 1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

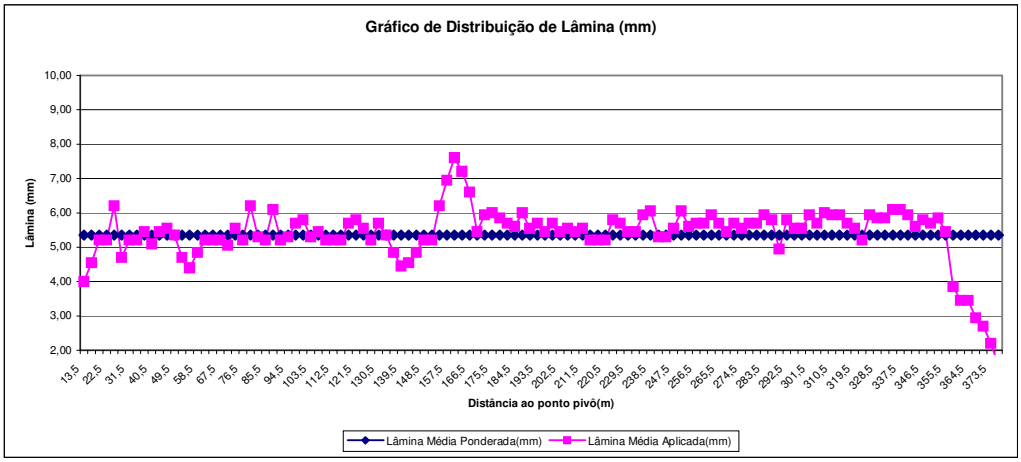
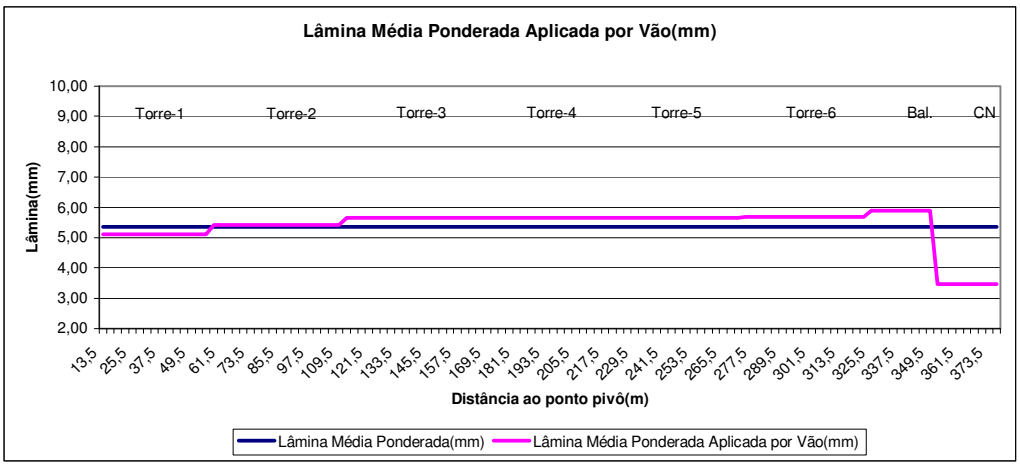


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,36	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,63	mm	
Desvio Padrão	0,82	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,22	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	84,78	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	87,86	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	86,43	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Nível - 2

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	03/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1100 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	38	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1626**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 67 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 38

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	60	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	122,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 341 A
Freqüência do motor: 54.7 Hz
Tensão de saída: 344 V
Torque do motor: 59,50%
Potência de saída: 176 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2 - Nível:2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

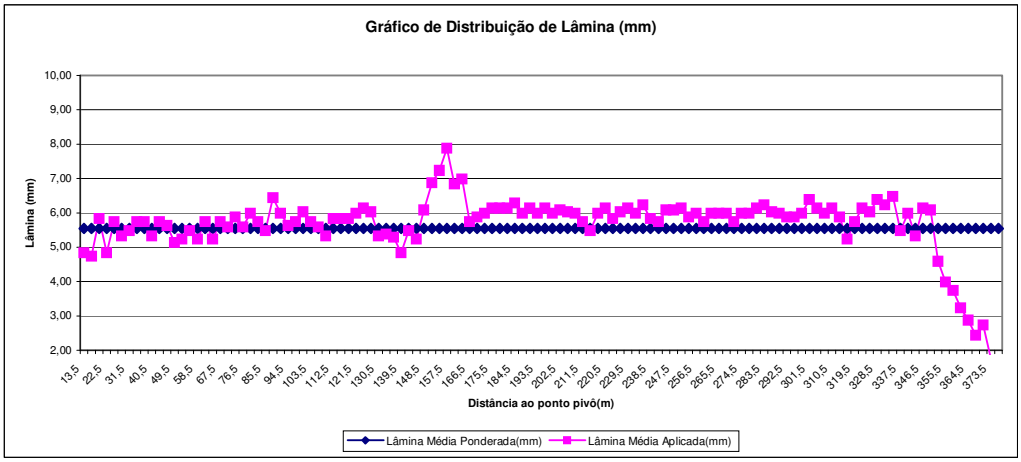
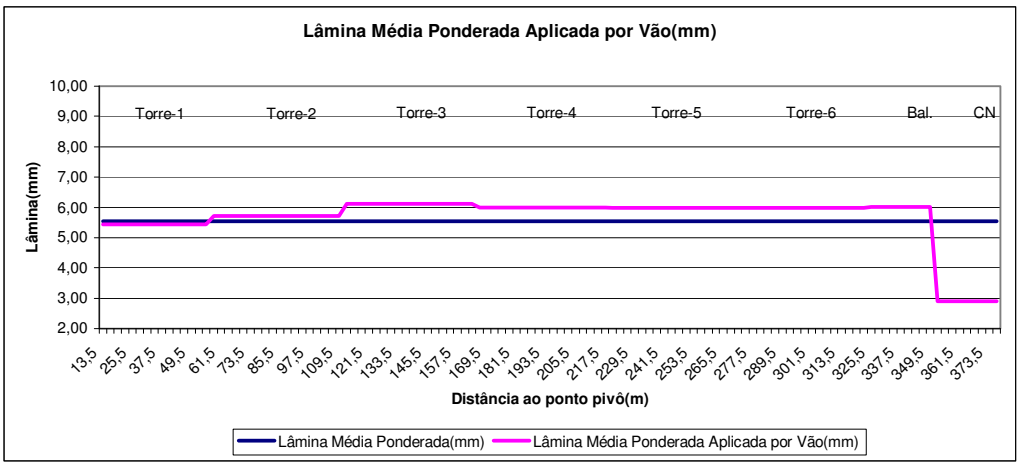


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,54	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,60	mm	
Desvio Padrão	0,94	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	85,94	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	83,13	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	86,54	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,91	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Nível - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	03/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1101 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	38	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1620**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 67 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 38

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	62,5	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	122,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 335 A
Freqüência do motor: 54.3 Hz
Tensão de saída: 343 V
Torque do motor: 58,30%
Potência de saída: 171.2 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Nível - 3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

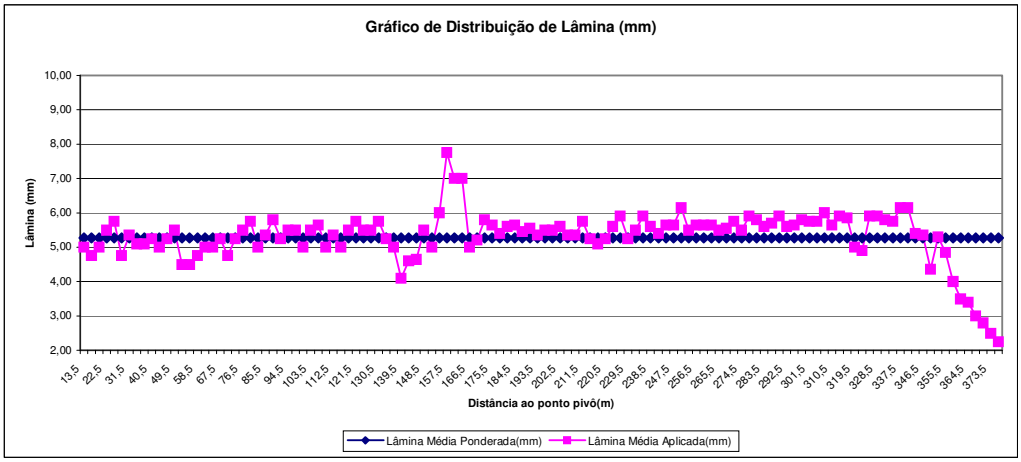
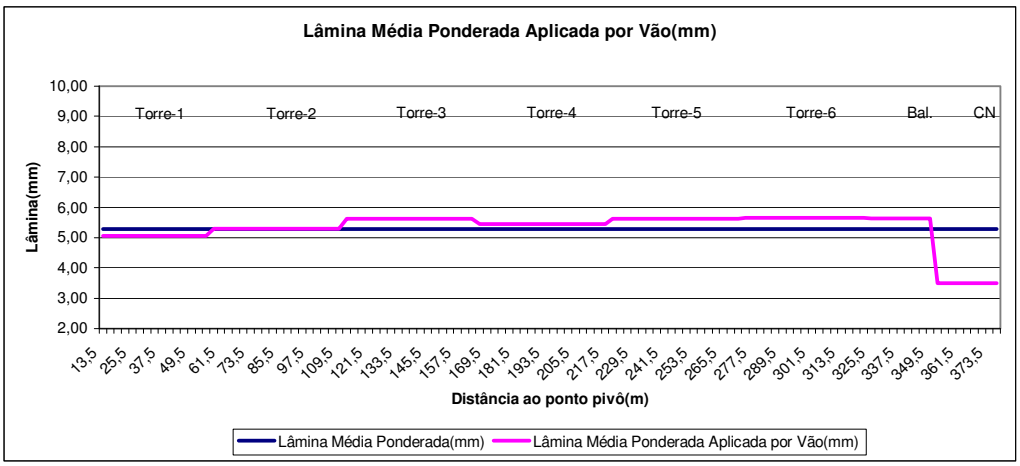


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,28	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,43	mm	
Desvio Padrão	0,75	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,35	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	85,77	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	88,65	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	84,04	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Declive - 1

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	04/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1103 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	38	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750 Medida: **1367**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca WEG	Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 27,5 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 38

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	40	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	82,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 280 A
Freqüência do motor: 45.9 Hz
Tensão de saída: 289 V
Torque do motor: 44,30%
Potência de saída: 108.1 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Declive - 1

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

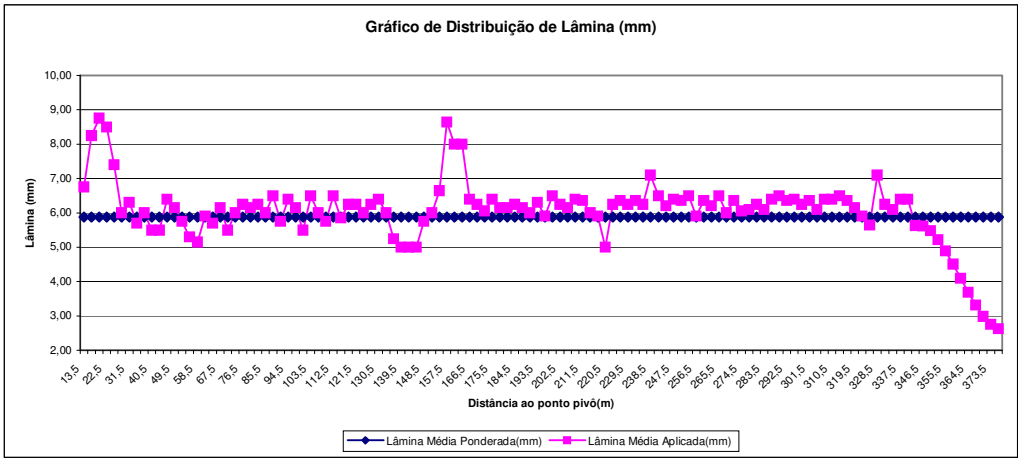
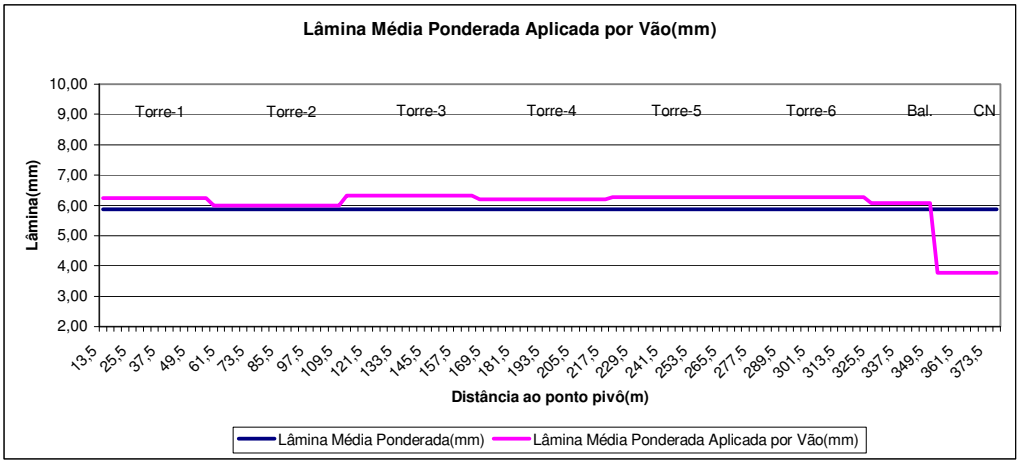


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	5,87	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	5,90	mm	
Desvio Padrão	0,93	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	88,28	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	84,15	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	87,35	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	100,41	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Declive - 2

Nome:	Gilberto Tonon		Tel:
Cidade:	Coronel Macedo	UF: SP	Fax:
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida		Cep:

Gilberto Tonon — Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima — Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1104 h
Composição de montagem		5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN			
Comprimento até últ. torre		322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.
Raio Irrigado:		374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h) 295
Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V	
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão 20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm) 24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):	36	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca IMBIL (x2)		Modelo	INI 150-400 (x2)
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1380**	Rotor	390 mm (x2)
Motor	Marca WEG		Potência 175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos IV		Proteção	IP-55
Painel:	Marca WEG		Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 27 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 36

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	40	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	82,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material: AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento:	FL DIN
Comp. Horizontal: 54 m		Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água: +10 m		Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 283 A
Freqüência do motor: 46.3 Hz
Tensão de saída: 292 V
Torque do motor: 46,10%
Potência de saída: 114 kW

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O D E P I V O C E N T R A L - ENSAIO 2: Declive - 2

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

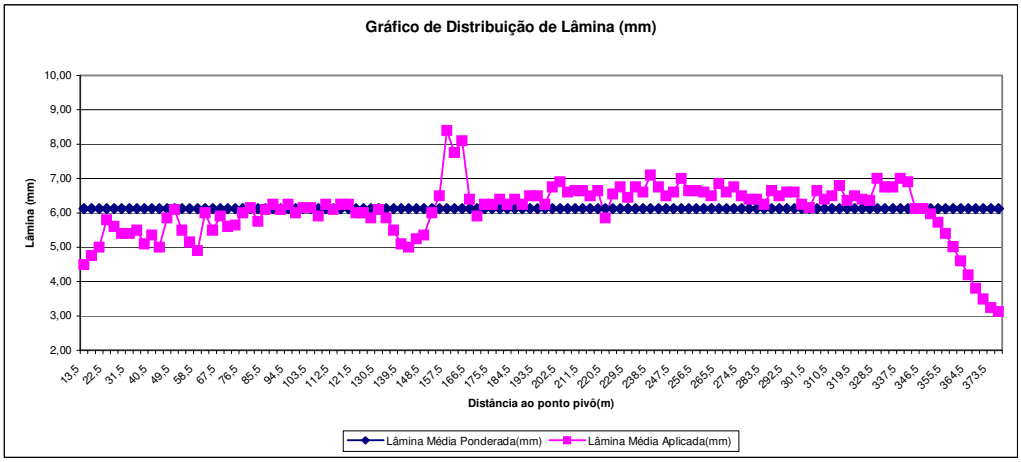
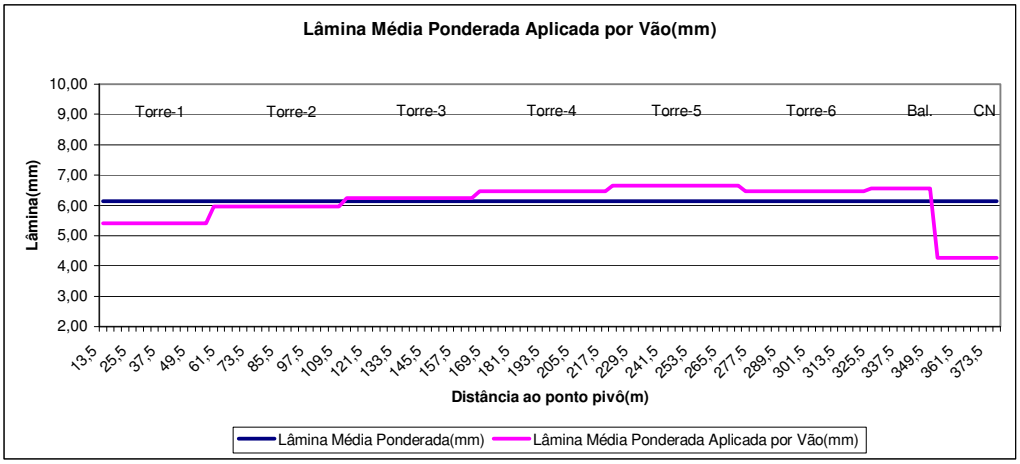


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	6,13	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	4,96	mm	
Desvio Padrão	0,82	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,47	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	86,55	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,26	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	80,90	%	? 80%

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL

1 - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE — ENSAIO 2: Declive - 3

Nome:	Gilberto Tonon	Tel:	04/09/2008
Cidade:	Coronel Macedo — UF: SP	Fax:	
Local de instalação:	Fazenda Nossa Senhora Aparecida	Cep:	

Gilberto Tonon
Nome do responsável pelo recebimento do ensaio — Assinatura

Eng. Agrícola Adenilsom S. Lima
Nome do reponsável pelo ensaio — Assinatura

2 - DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca:	Valmont - Valley	Modelo:	4871-8000-VL/6-1.492	Horímetro:	1106 h
Composição de montagem	5 Torres - 8 Tubos / 1 Torre - 7 Tubos / Bal. - 4 Tubos + CN				
Comprimento até últ. torre	322,55 m	Área	43,94 ha =>	18,16 Alq.	
Raio Irrigado:	374 m	Raio de giro	360°	Velocidade (m/h)	295

Painel	Tipo	Select	Tensão	512 V		
Regulador pressão	Marca	Valley / Senninger	Modelo	HF	Pressão	20 PSI
Emissores	Marca	Nelson - Rotator	Modelo	R3000	Anel impacto	rotativo
Canhão final	Marca	Comet	Modelo	Twin	Diâm Bocal (mm)	24
	Alcance projeto:	26 m	Pressão em operação (mca):		36	
Bomba Booster	Marca	Sem booster	Modelo		Potência	cv

CONJUNTO MOTO-BOMBA EM SERIE

Bomba	Marca	IMBIL (x2)	Modelo	INI 150-400 (x2)	
	Rotação Nominal (rpm):1750	Medida: **1378**	Rotor	390 mm (x2)	
Motor	Marca	WEG	Potência	175cv (x2)	Tensão operação 380 v
	Nº de polos	IV	Proteção	IP-55	
Painel:	Marca	WEG	Tipo	INVERSOR FREQÜÊNCIA - CFW-09	

PRESSÕES:

PRESSÃO NO CENTRO PIVÔ (mca): 26 **NA EXTREMIDADE DO PIVÔ (mca):** 36

PRESSÃO NA BOMBA:

Registro Aberto 1ª bomba (mca):	40	Registro Fechado 1ª bomba (mca):	83
Registro Aberto 2ª bomba (mca):	82,5	Registro Fechado 2ª bomba (mca):	

CONJUNTO DE SUCÇÃO

Material:	AÇO ZINCADO	Diâmetro: 300 mm	Acoplamento: FL DIN
Comp. Horizontal:	54 m	Comp vertical:	
Alt do eixo da bomba ao nível da água:	+10 m	Local da sucção:	reservatório

ADUTORA

	Material	Classe pressão	Comprimento	Diâmetro(mm)	
Trecho 1	AÇO ZINCADO	20	526	300	
Trecho 2		PN 125		300	
Trecho 3		PN 80		300	
Trecho 4		PN 60		300	

DADOS DE OPERAÇÃO CJ. MOTOBOMBDA

Corrente do motor: 285 A
Freqüência do motor: 46.3 Hz
Tensão de saída: 293 V
Torque do motor: 44,50%
Potência de saída: 110.8 kW

RELATÓRIO DE ENSAIO DE PIVO CENTRAL -ENSAIO 2: Declive - 3

Figura 1: Lâmina Média Ponderada de Irrigação Aplicada por Pivô Central

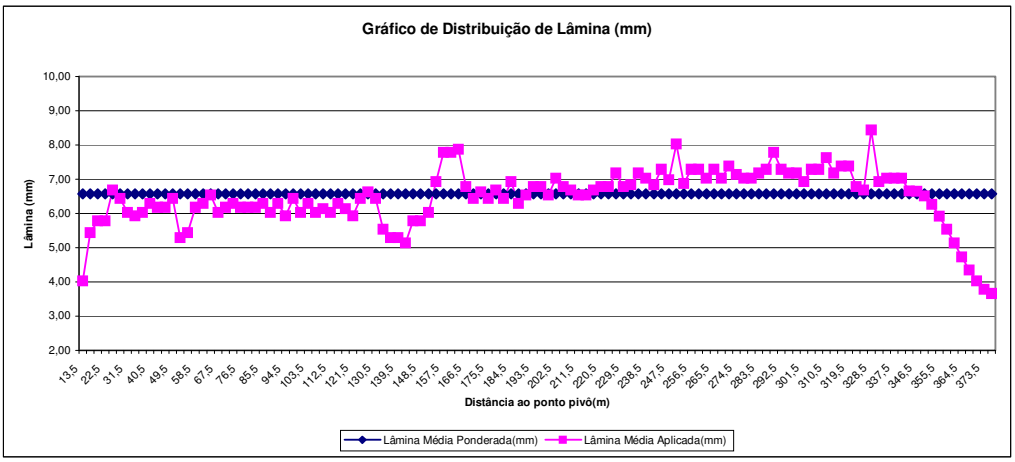
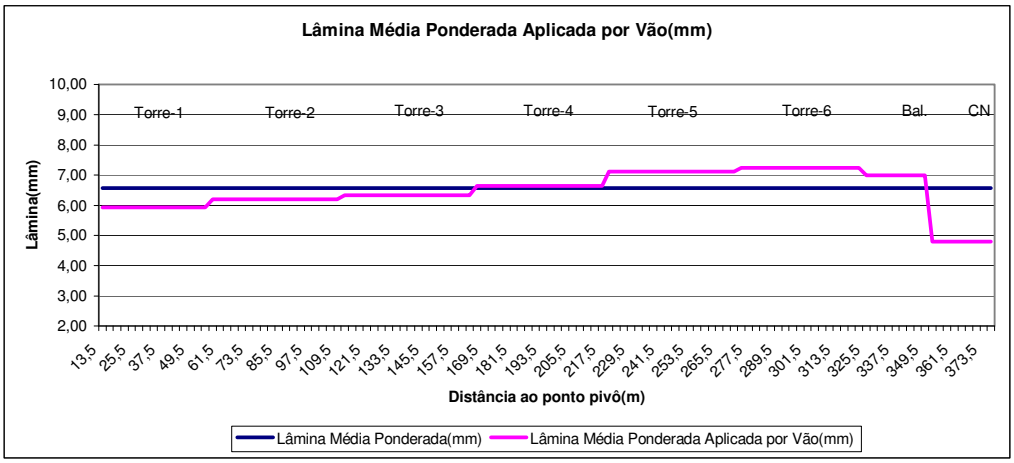


Figura 2: Comparação da lâmina média aplicada nas torres em relação a lâmina média:



3 - ENSAIO DO PIVÔ CENTRAL

Uniformidade de aplicação da água

Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos dados coletados

Dados estatísticos do pivô central	Parâmetro	Unidade	Meta Ideal
Lâmina média ponderada	6,57	mm	
Lâm. Méd. dos coletores <25%	5,41	mm	
Desvio Padrão	0,83	mm	
Coeficiente Uniformidade de Cristiansen - CUC	89,57	%	? 85%
Coeficiente Uniformidade Estatístico - CUE	87,34	%	? 75%
Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH	89,90	%	? 85%
Uniformidade de distribuição - UD	82,37	%	? 80%