

DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO, TIPO PIVÔ CENTRAL REBOCÁVEL.

José Dantas Neto; Jonas Carlos Santino Silva; Maria Sallydelâdia Sobral de Farias; Carlos Henrique de Azevedo de Farias; Carlos Alberto Vieira de Azevedo.

Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, sally_farias@yahoo.com.br

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a performance de um pivô central rebocável em nível de campo, na Fazenda Capim, localizada no município de Capim-PB. Os resultados da avaliação do equipamento nas três bases estudada levaram a concluir que: o equipamento apresentou bons resultados quando analisado como um todo para as base, constatou-se problemas de uniformidade e de eficiência em alguns setores quando a análise foi feita por raio individualmente, indicando setores com déficit e outros com excesso de água, o equipamento apresentou seus piores resultados quando foi avaliado na base 5, verificou-se que existe uma dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio, em todas as bases estudadas, as pressões de entrada do pivô nas bases, 4 e 5 estão muito abaixo da pressão recomendada o que resultou numa baixa vazão nestas bases.

UNITERMOS: irrigação, manejo, variabilidade.

DANTAS NETO, J.; SILVA, J. C. S.; FARIAS, M. S. S. de; FARIAS, C. HENRIQUE de A. de; AZEVEDO, C. A. V. de. PERFORMANCE OF TOWABLE CENTER PIVOT TYPE SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM

2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of a towable pivot center in the field on Fazenda Capim in the municipal district of Capim-PB. The results of the equipment evaluation of the three studied bases showed that the equipment presented good results when analyzed as a whole for them. Uniformity and efficiency problems in some sections were analyzed when the analysis was individually made by ratio, indicating sections with deficit and other with excess of water. The equipment presented their worst results when it was evaluated in base 5. It was verified a dispersion of the applied water sheets in relation to the mean value, in all studied bases. The pressures on pivot in bases 4 and 5 are a lot below the recommended pressure and resulted in low flow in these bases.

KEYWORDS: irrigation, management, variability

3 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas quando as precipitações não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas. Constitui-se numa atividade atualmente imprescindível para qualquer agricultura rentável, em determinadas regiões e climas do planeta. A água é essencial para o desenvolvimento das culturas, devendo-se fazer o melhor uso deste recurso natural para se obter produção satisfatória e altos rendimentos. Isto exige conhecimentos adequados do efeito da água de chuva ou irrigação sobre o crescimento das culturas e seu rendimento em diferentes condições do ciclo vegetativo.

A superfície irrigada no mundo é citada pela FAO (1998), como sendo de ordem de 267,7 milhões de hectares, cerca de 5% a 6% das áreas agricultáveis fornecem alimentos para mais de 40% da população global. Isto é possível devido aos vários métodos e sistemas desenvolvidos e aperfeiçoados nos últimos anos, grande parte das áreas irrigadas na China, Índia e Japão são superficiais sendo a inundação que mais se destaca.

O aumento da produção na agrícola irrigada está diretamente relacionado com a utilização de sistemas de irrigação eficientes, que garantam um bom retorno do investimento aplicado pelo produtor, pois permitem um melhor aproveitamento da água aplicada e maior números de colheitas em um determinado período.

Um sistema de irrigação eficiente deve distribuir água uniformemente, até determinada profundidade, proporcionando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma maneira usual de obtê-las é por meio de medidas de dispersão, expressando a forma adimensional, pela comparação com o valor médio (Frizzone, 1992). Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho de um pivô rebocável, na Fazenda Capim no município de Capim, PB, estudando o comportamento da vazão e pressão, bem como o coeficiente de uniformidade e índice de eficiência ao longo das bases de instalação do pivô.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de campo foram coletados na Fazenda Capim, pertencente à Destilaria Miriri do Grupo Cavalcanti de Moraes, localizada no município de Capim-PB. O solo predominante na fazenda é uma associação de Argilssolo Crômico (EMBRAPA, 1999). Para determinação da evaporação durante a realização dos testes, 3 coletores com volumes de água conhecidos foram instalados próximos a área dos ensaios; no término de cada teste mediu-se novamente o volume (mL), sendo a diferença correspondente a perda por evaporação. A velocidade do vento foi determinada através de um anemômetro a cada trinta minutos enquanto a temperatura foi monitorada através de um termômetro com leituras no início e final de cada ensaio.

No ponto do pivô foi medida a pressão através de um manômetro instalado no seu centro, nos emissores e no final da tubulação a pressão foi determinada através do manômetro com tubo de Pitot. Foi tomada a pressão média no início da tubulação com a finalidade de determinar se o sistema pivô central ensaiado se enquadrava nos limites proposto por Gilley (1984).

A vazão de cada emissor foi medida através de um tubo de 100 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, em que uma extremidade foi encaixada no emissor e a outra direcionada para um recipiente graduado de 8 L, cronometrando-se o tempo de enchimento do recipiente,

cujo valor da vazão, é a relação entre o volume e o tempo necessário para atingir esse volume. Esta vazão foi determinada em todos os aspersores e no canhão existente no final da lateral.

Para se determinar a uniformidade de aplicação do sistema pivô central, instalou-se coletores (pluviômetros) numerados, em ordem crescente, a partir do ponto do pivô, e distanciados entre si de seis metros. À medida que se afasta do centro do pivô, tem-se que ponderar os valores de precipitação coletada, uma vez que cada coletor representa uma área maior. O fator de ponderação é o número de ordem do coletor, isto é, o volume ponderado equivale ao produto do volume coletado pelo número de ordem do coletor.

Calculou-se a uniformidade de aplicação isoladamente com as precipitações coletadas em cada um dos raios bem como para a média dos valores coletados nos raios, utilizando-se para tanto os seguintes coeficientes de uniformidade:

a) Christiansen (1942) modificado por Heermann & Hein (1968)

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |Y_i - Y_{mp}|}{Y_{mp} \sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

Onde:

CUC - coeficiente de Uniformidade de Christiansen modificado por Heermann e Hein, (1968) em %;

Y_{mp} - lâmina média ponderada, considerando todos os coletores, em mm;

Y_i - lâmina precipitada no coletor i, em mm;

$S_i = i$, para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, quando os coletores estão equidistantes.

A lâmina de cada coletor foi determinada pela relação entre o volume coletado e a área do coletor. A relação encontrada na transformação dos volumes, em mL, nas respectivas lâminas, em mm, foi: lâmina (mm) = 0,127 x volume (mL).

b) USDA (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos), 1968.

$$CUD = \frac{Y_{mp25}}{Y_{mp}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

Y_{mp25} - lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações, em mm.

É a relação entre o volume total de água armazenado na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e quantidade de água aplicada. Esse índice engloba a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação e evaporação.

$$EA = \frac{Y_s}{Y_m} \cdot \frac{Y_m}{Y_a} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

EA - Eficiência de aplicação, em %;

Ya - lâmina média de água aplicada, estimada com base na área irrigada, na vazão aplicada e no tempo de aplicação, em mm;

Ys - lâmina média de água armazenada no solo em disponibilidade para as plantas, que corresponde a toda lâmina menor ou igual a lâmina requerida pela cultura, em mm;

Ym - lâmina média de água coletada (infiltrada), em mm.

Ou podemos dizer que:

$$EA = \frac{ED.EPA}{100} \quad (5)$$

Onde:

ED - eficiência de distribuição, em %;

EPA - eficiência em potencial de aplicação, em %

A eficiência em potencial de irrigação é de fundamental importância para o Nordeste e para as regiões cuja umidade relativa é muito baixa. Segundo Bernardo (1995) ela pode ser determinada pela seguinte equação:

$$EPA = \frac{\bar{H}}{Hm} . 100 \quad (4)$$

Onde:

\bar{H} - lâmina média coletada ponderada, em mm;

Hm - lâmina média aplicada, em mm.

A lâmina média aplicada pode ser assim calculada:

$$Hm = \frac{Q.T}{10.A} \quad (5)$$

Onde:

Q - vazão do pivô central, em m³ h⁻¹;

T - tempo gasto por rotação, em h;

A - área total irrigada, em ha.

A eficiência de distribuição mede a água armazenada na zona efetiva do sistema radicular em relação a água infiltrada, o qual dá uma estimativa das perdas de água por percolação profunda, é descrita por Frizone (1992) como:

$$ED = \frac{Ys}{Ym} . 100 \quad (6)$$

Onde:

ED – Eficiência de distribuição de água, em %.

Este parâmetro define a fração da lâmina de água necessária para suprir o déficit, que se encontra armazenada na zona das raízes. É descrita por Frizone (1992) como:

$$ES = \frac{Ys}{Yr} . 100 \quad (7)$$

Onde:

ES – Eficiência de armazenamento, em %;

Yr - lâmina de água total necessária para suprir o déficit hídrico, em mm.

A lâmina de água líquida necessária para suprir o déficit hídrico foi obtida através da evapotranspiração da cultura, sendo, determinada a partir do tanque classe “A” através da equação.

$$ETPc = Kt \cdot Ev \cdot Kc \quad (8)$$

Onde:

ETPc – Evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹

Kt - Coeficiente do tanque classe A, que é função dos dados meteorológicos da região e do meio em que foi instalado o tanque o valor estimado foi 0,7;

Ev - Evaporação média do tanque, em mm dia⁻¹;

Kc - Coeficiente de cultivo.

Perda por percolação é a relação entre a quantidade de água percolada abaixo do sistema radicular e a quantidade total aplicada. Pode ser determinada pela equação proposta por (Frizone, 1992):

$$PP = 100 - ED \quad (9)$$

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento podem ser determinadas pela seguinte equação: (Alves e Castro, 1996).

$$PEV = 100 - EPA \quad (10)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação do pivô central no que diz respeito à vazão e pressão por base estão apresentados na Tabela 1.

Constata-se, pelos resultados apresentados na Tabela 1, que a menor vazão foi determinada na base 5, devido esta apresentar a menor pressão, uma vez que a vazão é função da pressão de operação do sistema, ou seja, baixa pressão acarreta em baixa vazão. A baixa pressão identificada na base 5, deve-se ao fato de que esta é abastecida por uma adutora de 700 m, o que contribuiu para uma maior perda de carga.

Tabela 1. Pressão e vazão ao longo das bases.

Base	Pressão de projeto (kPa)	Pressão encontrada (kPa)	Vazão projetada (m ³ h ⁻¹)	Vazão encontrada (m ³ h ⁻¹)
2	392,3	392,3	362,47	377,1
4	392,3	294,3	362,47	338,1
5	392,3	196,1	362,47	228,2

A base 4 apresenta problemas semelhantes ao da base acima citada, sendo o seu desempenho um pouco melhor, devido a sua base ser abastecida por uma adutora menor (300

m) o que, de certa forma, ajudou para uma menor perda de carga. A base 2, registrou a maior pressão e conseqüentemente uma maior vazão entre as bases estudadas, uma vez que esta base capta água diretamente de um canal próximo a base o que favorece a uma menor perda de carga.

Estas diferentes vazões decorrentes de alterações da pressão resultam em variações nas precipitações. Observa-se que esta alteração de pressão provoca variação de vazão e conseqüentemente desuniformidade na aplicação de água. Assis (1990), afirma que quando um pivô central trabalha com regulador de pressão, quem influencia a uniformidade é a de saída no regulador de pressão na entrada do bocal e a velocidade de operação do sistema e não a pressão no ponto do pivô.

Na Tabela 2, são apresentadas as vazões aplicadas por quartil ao longo do pivô nas bases 2, 4 e 5, ou seja, cada quartil corresponde a 25% da área.

Tabela 2. Vazão aplicada (m^3h^{-1}) nas bases ao longo do pivô por quartil

Quartil	1° *	2°**	3°**	4°**
Raios(m)				
Bases	199,5	82,7	63,4	53,4
Q ($m^3 h^{-1}$)				
2	98,1	103,9	95,0	80,1
4	100,7	96,3	77,4	63,7
5	73,5	55,5	51,4	47,8

R – extensão do raio referente aos quartis.

* R = 119,5; ** R = 82,7; *** R = 63,4; **** R = 53,4

Q = Vazão ($m^3 h^{-1}$)

No que diz respeito aos quartis observa-se que, o 1° quartil foi o que apresentou maior vazão, a menor vazão foi identificada no 4° quartil para todas as bases estudadas, ou seja, quanto mais perto do pivô maior a foi a vazão encontrada. Exceto na base 2, onde observa-se a maior vazão 2° quartil, nas demais bases a vazão decresce no sentido do centro do pivô para sua extremidade, ou seja, a maior vazão se encontra no 1° quartil e a menor no 4°.

A diferença entre o quartil de maior e o menor valor foi de 29,7, 58,1 e 53,8, respectivamente, para as bases 2, 4 e 5. Entre um quartil e outro na mesma base a maior diferença ocorreu entre o 1° e 2° da base 5 (32,4%) e a menor entre o 1° e 2° da base 4 (4,6%). O perfil de precipitação por base ao longo da lateral do pivô encontra-se nas Figuras 1 (a), 1 (b) e 1 (c).

Os valores da lâmina coletada foram submetidos ao processo da média móvel, por 3 vezes, conforme utilizado por Kelso & Gilley (1983) e Pessoa (1994), para suavizar a curva e visualizar a tendência dos dados. Na Figura 1, observa-se que, existe uma grande dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio e que a lâmina média coletada foi inferior à lâmina média projetada em que o equipamento aplicou menor quantidade de água que o projetado, podendo comprometer a eficiência de aplicação de água no solo.

Analisando-se a Figura 1, observa-se que foi na base 2 que o equipamento aplicou a maior quantidade de água, em relação as demais bases e que sua maior deficiência de água encontra-se a partir de 250 m de distância do ponto do pivô. A este melhor desempenho, se deve ao fato desta aplicar a maior vazão dentre as bases estudadas, como mostra a Tabela 1, se compararmos as suas lâminas médias como é relatada na Fig. 1 (b) e 1(c), esta diferença não foi tão relevante, ficando a lâmina média da Fig. 1 (c) 6,9% inferior ao da Fig. 2 (b).

A Tabela 3, apresenta os resultados dos coeficientes de uniformidade por base para os raios individualmente, quanto para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente, de acordo com a metodologia proposta por Christiansen, modificado por Heermann & Hein (1968) e USDA (1968).

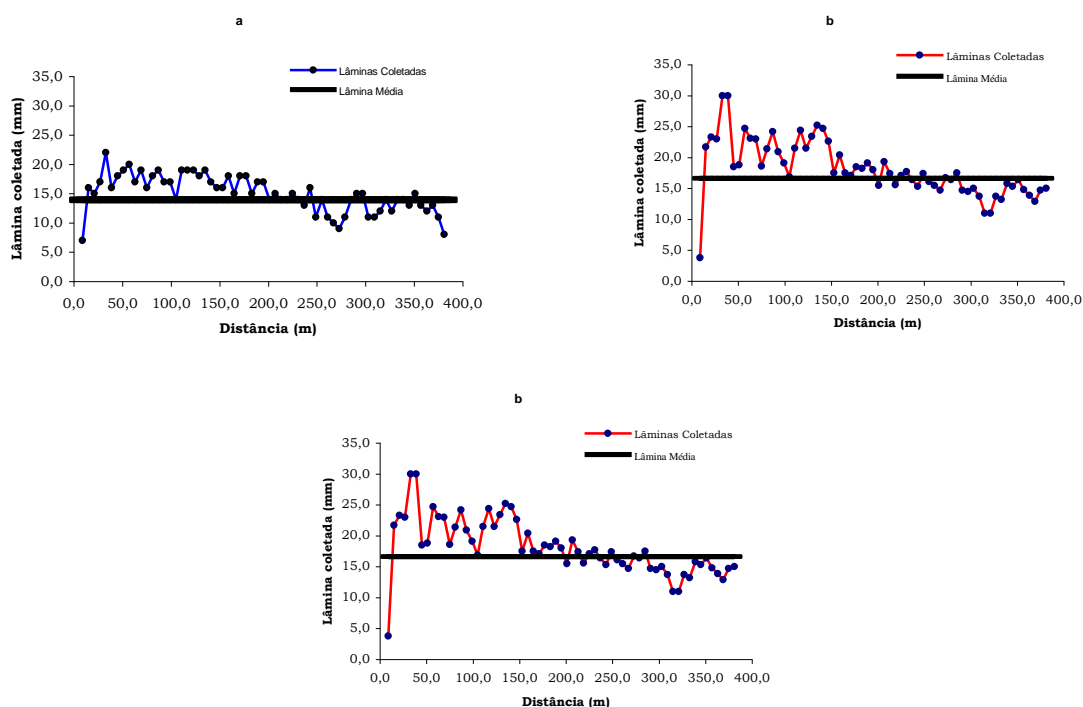


Figura 1. Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô central: a (base 2), b (base 4) e c (base 5).

Tabela 3. Coeficientes de uniformidade por base em raio individual e com os raios simultâneos.

Raios	N	S	L	W	Média de raios simultâneos
CUC base 2	81,4	80,3	84,5	79,4	85,2
CUC base 4	87,5	80,0	83,0	71,8	84,6
CUC base 5	-	70,0	81,8	81,0	81,0
CUC base 2	7307	72,3	74,2	75,4	79,5
CUC base 4	75,7	71,8	74,9	67,0	78,4
CUC base 5	-	57,0	74,4	79,0	77,0

Observa-se pelos resultados da Tabela 3, que entre as bases analisadas, a base 2 foi a que obteve melhor desempenho, ficando o pior resultado registrado na base 5. Para todos os coeficientes estudados o raio N da base 4 foi o que apresentou maiores valores. Os piores valores foram encontrados no raio S da base 5, conseqüentemente as plantas localizada nesta faixa de atuação do pivô central (rebocável) sofreram os efeitos de déficit ou água. De maneira geral, os valores dos coeficientes de uniformidade por raios individuais foram menor

do que os calculados com a média das precipitações dos raios simultâneos. Na base 4 por exemplo os valores do CUC por raio variou de 71,8 a 80,6%, no entanto quando calculado simultaneamente foi de 84,6%, cujo valor se encontra dentro da faixa recomendada por Bernardo (1995).

Esta tendência também foi detectada por Soares et al. (1992), por exemplo, o valor médio do CUC por raio foi de 81,5%, enquanto que o CUC foi de 85% quando calculado pela precipitação média dos raios. Por isso a importância de se calcular raio por raio, para observar os pontos de baixa uniformidade.

Quanto ao CUD apesar de apresentar valores inferiores aos do CUC, o que é normal de acordo com a literatura pesquisada, os seus valores seguiu a mesma distribuição que os do CUC. Soares et al. (1992), analisando um sistema pivô central, trabalhando com aspersores de baixa pressão, encontraram valores médios de 63% para CUC e 53% para o CUD. Pessoa & Folegatti (1995), avaliando o desempenho de um sistema pivô central, com diferentes configurações de emissores, encontraram valor de 88% para o CUC, quando utilizou-se difusores fixos. Folegatti et al. (1998) estudando o desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão obteve valores de 91,1% para o CUC e 85,9% para o CUD.

Valores típicos de coeficiente de uniformidade para pivô central bem dimensionado com aspersores tipo difusores estão no intervalo de 91 a 95% (Keller & Blisner, 1990). Para o caso das plantas forrageiras Merriam (1973) e Bernardo (1995), recomendam valores de coeficiente de uniformidade (CUC) maior que 88%. Segundo Abo-Ghobar (1992), diz que são considerados inaceitáveis valores de CUD menores que 67% e de CUC menores que 75%. Rodrigues et al (1997), testando diferentes coeficientes de uniformidade, verificaram que o CUC foi um dos menos sensíveis às mudanças dos fatores operacionais.

Tabela 4. Índices de eficiência e perda por percolação, em cada raio e com os raios simultâneos, para Eficiência em Potencial de Aplicação (EPA), Eficiência de Distribuição (ED), Eficiência de Aplicação (EA) e Eficiência de Armazenamento (ES).

Raios Coeficientes(%) /base	N	S	L	W	Média de raios
EPA base 2	76,9	79,2	70,0	100	96,0
EPA base 4	93,5	76,0	100	90,2	90,0
EPA base 5	-	47,8	57,9	44,0	62,0
ED base 2	96,2	92,7	100	43,0	83,7
ED base 4	95,0	100	85,0	84,0	94,2
ED base 5	100	100	100	100	100
EA base 2	74,0	73,04	70,0	43,0	80,3
EA base 4	89,0	76,0	85,0	75,8	85,0
EA base 5	-	47,8	58,0	44,0	62,0
ES base 2	80,0	79,4	76,8	73,0	87,0
ES base 4	85,6	72,5	85,6	73,0	80,0
ES base 5	-	33,1	39,0	30,6	45,3
PP base 2	3,8	7,3	0,0	57,0	16,3
PP base 4	5,0	0,0	15,0	16,0	5,8
PP base 5		0,0	0,0	0,0	0,0

Os resultados dos índices de eficiência e a perda por percolação avaliados no trabalho para os quatro raios individuais e para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente estão apresentados na Tabela 7. Analizou-se a Eficiência Potencial de Aplicação (EPA), Eficiência de Distribuição (ED), Eficiência de Aplicação (EA) e a Eficiência de Armazenamento (ES).

Observa-se, pela Tabela 4, que os valores percentuais encontrado para EPA para todos os raios e para as médias dos valores de precipitação considerados simultaneamente nas bases 2 e 4 são aceitáveis dentro do limite proposto pela maioria das bibliografias consultadas (Bernardo, 1995; Almeida, 1999).

A base 5 foi quem obteve os menores valores de EPA, provavelmente devido a influência de fatores climáticos, tais como o vento e sua direção. Santos citado por Bernardo (1995), avaliando um sistema de irrigação por pivô central, com aspersores de baixa pressão, encontrou EPA igual a 81%. Frizzone (1992) analisando dados de avaliação feita por técnicos do IPT de São Paulo em pivô central no município de Guairá, encontrou valor de EPA igual a 98%. Pessoa & Folegatti (1995) avaliando o desempenho de um sistema de pivô central, com diferentes configurações de emissores, encontraram o valor médio de 88% para o EPA, quando se utilizou difusor fixo.

Os resultados encontrados para eficiência de distribuição de água, para os raios individuais como para média das precipitações, foram todos acima de 80% com exceção do raio W na base 2. Estes valores encontrados são atribuídos ao fato de que as lâminas médias coletadas em todos os raios das bases analisadas serem muito inferiores a necessária, já para o raio W na base 2 esse baixo valor é atribuído ao fato de que nesse raio a lâmina média coletada ter sido superior a necessária. Como em média a lâmina coletada foi inferior a lâmina necessária, as perdas por percolação foram baixas tanto para os raios individuais como para a média das precipitações, a exceção ficando para o raio W na base 2 em que obteve a maior perda por percolação, justamente o que em média precipitou mais. Almeida (1999) avaliando um pivô central no município de Jequié encontrou valor para ED igual a 99% e perdas por percolação de 1%. Frizzone (1992) estudando dados de avaliação em pivô central feita por técnicos do IPT de São Paulo encontrou valor de 88% para ED e 12% de perdas por percolação.

Uma vez que a eficiência de aplicação (EA) é diretamente proporcional a EPA e a ED seus resultados seguiram a tendência da eficiência potencial de aplicação, ou seja, o maior valor para eficiência de aplicação foi obtido no raio N na base 4, justamente onde obteve-se os maiores valores tanto para EPA como para ED. Ao analisar-se a eficiência de aplicação para a média de precipitação considerados simultaneamente, a base 4 obteve o maior média entre as bases estudadas, a base 5 apresentou uma média de 62%, sendo considerado ruim para este tipo de sistema. Frizzone (1992) analisando dados de avaliação feita por técnicos do IPT de São Paulo em pivô central encontrou valor de EA igual a 87%. De acordo com Bernardo (1995), Nos poucos trabalhos realizados a respeito da eficiência de aplicação (EA) em pivô central, os valores têm oscilado entre 70 e 90%. Sendo seu valor de 80% possível de ser obtido sob condições normais de dimensionamento e manejo. Almeida (1999) avaliando um pivô central no município de Jequié encontrou valor de EA para a média de precipitação considerado simultâneo de 75%.

6 CONCLUSÕES

Existe uma variação de pressão e conseqüentemente de vazão entre as bases avaliadas. O equipamento apresentou problemas de uniformidade e de eficiência em alguns setores quando a análise foi feita por raio individualmente, indicando setores com déficit e outros com excesso de água nas bases estudadas. Alteração de pressão provoca variação de vazão e conseqüentemente desuniformidade na aplicação de água. As perdas de água por percolação foram mínimas, sendo mais pronunciada na base 2. Verificou-se que há uma dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio em todas as bases estudadas. Existe uma necessidade de revisão do equipamento, tendo em vista, ter sido constatado que: os reguladores de pressão funcionando precario, emissores obstruídos, bocais instalados em posição incorreta e também diâmetro dos bocais calculados incorretamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO-GHOBAR, H. M. Losses from low-pressure center-pivot irrigation systems in a desert climate as affected by nozzle height. **Agric. Water Manag.** V.21, p.23-32, 1992.

ALMEIDA, R. L. S. **Avaliação dos sistemas de irrigação instalados na propriedade lagoa do ouro no município de Jequié-Bahia.** (Dissertação) Mestrado em irrigação e Drenagem. Universidade Federal de Campina Grande. |Campina Grande: UFPB 1999. 64p.

ASSIS, L. L. **Avaliação de sistemas de irrigação pivô central de baixa pressão.** Fortaleza: UFC, 1990. 93p. (Dissertação de Mestrado)

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5.ed. Viçosa: UFV, 1995. 596 p

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkler.** Berkeley University of California, 1942.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** DF.Brasília,1999. 412 p.

Irrigation and Drainage Paper 56. Roma: FAO, 1998.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agrícola.** Piracicaba, V.55, n.1,p 1 - 5, 1998.

FRIZZONE, J. A **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência.** Piracicaba: ESALQ, 1992. 52 p. (Série didática, 3).

GILLEY, J.R.; MIELKE, L.N Conserving energy with low-pressure center-pivots. **Journal of irrigation and Drainage Division,** v.106, n.1R1, p. 49-59, Mar. 1980.

HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performane characteristics of self-propoled center-pivot sprinkler irrigation systems. **Trans. ASAE> (Am. Soc. Agric. Eng.),** v.11, n.1, p.11-14, 1968.

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

KELSO, G. L.; GILLEY, J. R. **A system for measuring infiltration rates under center pivot irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. 25p. (ASAE Paper, 83-2517).

MERRIAM, J.L.; ALFARO, J. **Irrigation sistem evalution and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 167p.

PESSOA, P.C.S. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô central com diferentes configurações de emissores ao longo do ciclo de uma cultura de milho (*Zea Mays, L.*)**. Dissertação(Mestrado em irrigação) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1994. 95p.

SOARES, A. A.; et. Al. Desempenho e otimização de um sistema de irrigação tipo pivô central. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, **Anais...** Santa Maria: UFSM/SBEA,1992. v.2B, p. 836-846.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Consertion Service. **Sprinkler Irrigation**. Washington, 1968. 82p. (National Irrigation Handbook. Irrigation, 11).