

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE DEZESSEIS EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Parameters of performance of sixteen center-pivot irrigation equipments

Delvio Sandri¹, Diego de Andrade Cortez²

RESUMO

O tempo de uso de sistemas de irrigação por pivô central pode resultar em alteração de suas características hidráulicas, necessitando de avaliações periódicas para manter a uniformidade de distribuição de água em níveis aceitáveis. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as condições de funcionamento e desempenho de dezesseis pivôs centrais, localizados em onze municípios de Goiás e no Distrito Federal. Estimou-se o coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein - CUH e uniformidade de distribuição - CUD, variação da lâmina coletada em relação à projetada e os fatores que interferem no desempenho dos equipamentos. Dos pivôs avaliados, quatro (25%) apresentaram CUH inadequado (< 80%) e três (18,75%) apresentaram CUD inadequado (< 70%). A lâmina média coletada foi superior à projetada em três e inferior em treze pivôs, com diferença maior que 10% em apenas um pivô. A maioria dos pivôs avaliados necessita de manutenção para solucionar algum dos seguintes problemas: bocais com vazão diferente da considerada adequada para alguns intervalos dos equipamentos, emissores total ou parcialmente obstruídos ou danificados, ausência de pendurais, reguladores de pressão danificados, vazamentos em vários pontos da lateral e velocidade de deslocamento em campo diferente da indicada no relé porcentual.

Termos para indexação: Lâmina de irrigação, uniformidade, eficiência de irrigação.

ABSTRACT

The time of use of the center-pivot irrigation system may result in alteration of the hydraulic characteristics, frequent evaluations being needed to maintain the efficiency of water distribution at acceptable levels. The aim of this work was to evaluate the conditions of the use and the performance of sixteen center pivots, located in eleven municipal districts of Goiás State and Federal District, Brazil. The Heermann & Hein - CUH coefficient of uniformity and coefficient of distribution - CUD, variation between the collected and projected depth and verification of the main factors that influenced the performance were evaluated. Among the evaluated pivots, four (25%) presented inadequate CUH (< 80%) and three (18.75%) presented inadequate CUD (< 70%). The average depth applied was higher than the projected in three and lower in thirteen pivots, with the difference higher than 10% in only one pivot. Most of the evaluated pivots need maintenance to solve the following problems: emitters with flow rate different from the flow considered appropriate for some intervals of the equipments; emitters totally or partially clogged or damaged; absence of suspension strings; damaged pressure regulators; leaks in several points and speed displacement different from the observed on the relay percentile.

Index terms: Water depth, uniformity, irrigation efficiency.

(Recebido em 8 de junho de 2007 e aprovado em 3 de setembro de 2008)

INTRODUÇÃO

O sistema de irrigação por pivô central expandiu-se acentuadamente no Brasil nos últimos anos, mais notadamente nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Bahia, motivado pelas facilidades operacionais e de controle da lâmina de irrigação, com custos competitivos pelo menor dispêndio de mão-de-obra e pela possibilidade de obter-se alta eficiência de aplicação e distribuição de água.

O Brasil possui uma área irrigada total de 3.440.470 ha, sendo que desses, 710.553 ha são com pivô central (CHRISTOFIDIS, 2006). O estado de Goiás possui uma

área de 340.166 km², onde cerca de 1,2 milhões de ha têm potencial para irrigação. A agricultura irrigada é uma atividade de grande importância para sua economia, vivenciando uma acentuada expansão nas últimas décadas, popularizando-se pela utilização da irrigação por pivô central, principalmente em culturas extensivas, como o feijão, tomate, trigo, milho, pastagem, soja, girassol, café e batata, gerando emprego e renda. Estima-se que existam instalados cerca de 2.000 pivôs, que cobrem cerca de 75% da área total irrigada, que é de 198.100,00 ha. A irrigação em Goiás contribui com cerca de 10% da produção estadual e utiliza 3,5% da área total cultivada (GOIÁS, 2004). Cristalina é o município com maior área irrigada do estado de Goiás,

¹Engenheiro Agrícola, Doutor – Universidade Estadual de Goiás/UEG – BR 153, nº 3.105, Campus Henrique Santillo, Fazenda Barreiro do Meio – Cx. P. 459 – 75132-400 – Anápolis, GO – sandri@ueg.br

²Engenheiro Agrícola – Agrosul Máquinas Agrícolas – Avenida Dioclecio Severino Ramos, Trevo – 47850-000 – Luiz Eduardo Magalhães, BA – cortez@yahoo.com.br

onde também se concentra o maior número de pivôs, com cerca de 400 equipamentos.

Como qualquer outro sistema de irrigação, o objetivo do pivô central é distribuir água de maneira uniforme e controlada na área irrigada, sendo considerado um dos fatores mais importantes na sua operação, interferindo no consumo de energia, nos efeitos desfavoráveis sobre a produtividade por unidade de água aplicada e no meio ambiente (BERNARDO et al., 2006; HEINEMANN et al., 1998).

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água são os climáticos, como a evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento e os fatores não climáticos, que são os relacionados ao equipamento de irrigação, como a pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral e altura do emissor (HEINEMANN et al., 1998). O coeficiente de uniformidade de distribuição de água é uma medida freqüentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição da irrigação (FRIZZONE, 1992). Heinemann & Frizzone (1995) observaram que o aumento do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) em um pivô central, de 81,2% para 94,0%, em relação aos graus de adequação de 75%, 80% e 85%, resultou em uma economia no volume de água aplicada de 11,86%, 14,24% e 16,68%, respectivamente.

Com a maior importância dada ao conceito de uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação nos últimos anos, em decorrência da crescente necessidade de conservação dos recursos hídricos e competitividade pelos mesmos, alto custo da energia e de outros insumos e à falta de garantias aos preços dos produtos agrícolas, a escolha e uso adequado dos sistemas de irrigação, além da adoção de métodos apropriados de manejo da água, devem ser sempre considerados. Sano et al. (2005) estudaram a variação na demanda de água para irrigação por pivô central no Distrito Federal entre 1992 e 2002, observando que o número de pivôs passou de 55 para 104, a área irrigada de 3.894 ha para 6.823 ha e o consumo de água de 23,36 para 40,94 milhões de $m^3 \text{ ano}^{-1}$, indicando tendência de superar o consumo humano.

Os produtores agrícolas, na maioria das vezes, reconhecem a necessidade de controlar a quantidade de sementes, adubação, defensivos agrícolas, dentre outros insumos. No entanto, a necessidade de medir ou controlar o volume de água aplicada na irrigação é quase sempre ignorado, devido à visão de não se caracterizar como uma medida para reduzir os custos de produção, ou porque a cobrança pelo uso dos recursos hídricos ainda não está implantada na maior parte do país ou mesmo por tradição.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar alguns parâmetros de desempenho e as condições de funcionamento de 16 pivôs centrais, a partir da análise do coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein (1968) – CUH, coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, variação da lâmina medida em relação à projetada e dos fatores que estão interferindo no desempenho dos equipamentos.

MATERIALE MÉTODOS

Avaliaram-se 16 sistemas de irrigação por pivô central (PC), no período de 06/09/2003 a 13/09/2005, 12 localizados no Estado de Goiás e 4 no Distrito Federal (Tabela 1).

Os ensaios para determinação da lâmina de irrigação e a uniformidade de distribuição de água seguiram a norma ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998). Os coletores foram instalados em duas fileiras radiais a partir do ponto central do pivô, formando um ângulo de 3° , espaçados de 3 m entre si. Utilizaram-se canecas coletoras de água, com diâmetro da “boca” de 0,08 m e altura de 0,102 m, fixadas em hastes cilíndricas de alumínio de 0,75 m de altura.

A pressão do conjunto motobomba foi ajustada de acordo com as recomendações técnicas do projeto de cada equipamento após seu acionamento, permitindo uma variação de, no máximo, 5% durante o ensaio. Na linha lateral de cada pivô, as pressões foram medidas no ponto inicial, intermediário e final, com um manômetro de Bourdon com glicerina, com escala de 0 a 1000 kPa, com conexão para tubo Pitot.

A lâmina de água precipitada em cada coletor foi medida utilizando uma proveta confeccionada em termoplástico transparente, diâmetro de 0,037 m e altura de 0,11 m e precisão de 1 mm, tão logo o pivô deixava de aplicar água sobre o coletor. Sempre que os volumes coletados além do comprimento efetivo do equipamento fossem menores que 70% do volume médio coletado, eram eliminados da análise dos coeficientes de uniformidade. A lâmina coletada foi comparada à projetada, obtida dos dados técnicos do projeto de cada equipamento.

A velocidade da última torre foi analisada medindo-se o tempo com que o último rodado levava para percorrer uma distância de 50 m, com o auxílio de um cronômetro digital, com precisão 0,01 s, repetindo-se três vezes em cada ensaio. A velocidade do vento foi medida com um anemômetro manual, com uma margem de erro de 10%, posicionado a uma altura de 2,0 m do solo, evitando-se realizar o ensaio com ventos acima de $3,0 \text{ m s}^{-1}$. Para controle da água evaporada durante o ensaio, foram colocados fora da área de irrigação quatro coletores com volume de 50 mL de água, estimada pela diferença da medida registrada no final e início do ensaio.

Tabela 1 – Descrição do fabricante, fazenda, município, hora do ensaio (He), área irrigada (Ai), raio da última torre (Ru), distância entre torres (Dt) e ajuste do relê porcentual (Ar).

Pivôs	Fabricante	Fazenda	Município	He	Ai (ha)	Ru (m)	Dt (m)	Ar (%)
PC 01	Krebsfer	Recanto	Pontalina	16:50	73,17	456,90	48,50	100
PC 02	Cielt	Escola Araçú	Araçú	08:00	35,40	311,70	46,20	100
PC 03	Carborundum	Bom Jardim	Piracanjuba	16:30	53,24	381,85	47,88	100
PC 04	Valley	Bom Sucesso	Joviânia	09:00	63,60	418,46	48,20	100
PC 05	Krebsfer	Cigana	Goianésia	07:00	57,93	409,60	45,70	100
PC 06	Carborundum	Caução de Couro	Goianésia	07:30	40,70	331,80	47,88	80
PC 07	Carborundum	Cristalina	Vila Propício	16:30	103,35	545,67	47,88	82
PC 08	Valley	São Nicolau	Cristalina	07:20	72,59	455,40	48,20	80
PC 09	Irrigabrás	Bela vista	Indiara	05:00	96,07	535,00	53,50	80
PC 10	MTU	Fantástico	Campestre	16:20	27,60	278,40	48,20	80
PC 11	Valley	Agropecuária OK	Paranoá	12:00	92,76	522,80	48,20	60
PC 12	Carborundum	Inhumas	Matrinchã	16:20	121,38	594,57	47,88	66
PC 13	Valmatic	Itapeti/Mariana	PAD, DF	16:20	26,30	271,26	45,21	65
PC 14	Dantas	Itapeti/Mariana	PAD, DF	16:20	112,13	582,92	44,84	88
PC 15	Dantas	Itapeti/Mariana	PAD, DF	16:20	109,36	570,68	44,84	62
PC 16	Dantas	Itapeti/Mariana	PAD, DF	16:20	111,10	570,68	44,84	40

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) – CUC, foi o primeiro índice proposto, sendo o mais utilizado para quantificação da uniformidade de distribuição de água em irrigação, por aspersão convencional (REZENDE et al., 2002). No entanto, Heermann & Hein (1968) propuseram modificação dessa equação para aplicação em sistemas pivô central, gerando o coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein (1968) – CUH (Equação 1).

$$CUH = 100 \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_{MP}| S_i}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) \right] \quad (1)$$

em que,

CUH - coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein (%);

n - número de coletores utilizados na análise de dados;

i - número designado para identificação de um coletor em particular;

X_i - precipitação coletada no i-ésimo coletor (mm);

S_i - distância do i-ésimo coletor ao ponto pivô;

X_{MP} - precipitação média ponderada coletada (mm), dada pela Equação 2.

$$X_{MP} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (2)$$

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi estimado pela Equação 3.

$$CUD = 100 \left(\frac{\sum_{i=p}^q Ni Xi}{X_{MP} \sum_{i=p}^q Ni} \right) \quad (3)$$

em que,

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$Ni = i - 0,5$;

p - número de ordem do primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas;

q - número de ordem do elemento da série crescente de

lâminas coletadas que faz com que $\sum_{i=p}^q Ni$ atinja

aproximadamente 25% da sua soma total.

A classificação do CUH e CUD foi feita pela ABNT:NBR 14244 (ABNT, 1998), (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação do CUH e do CUD.

CUH (%)	CUD (%)	Classificação
< 80	< 70	Ruim
80 a 84	70 a 74	Regular
85 a 89	75 a 81	Boa
> 90	> 82	Muito Boa

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de velocidade da última torre, velocidade do vento, evaporação durante o ensaio, lâmina projetada, lâmina média coletada, variação da lâmina projetada em relação à coletada, CUH, CUD e classificação de acordo com ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998) são apresentados na Tabela 3.

Dos pivôs avaliados, em 18,75% a classificação do CUH e do CUD foi considerada “muito boa”; em 31,25% apresentaram CUH “boa” e em 37,5% o CUD como “boa”; em 25% o CUH e CUD foram “regular” e em 25% o CUH foi

“ruim” e em 18,75% o CUD foi considerado “ruim”. Considerando culturas com alto valor comercial, apenas 3 pivôs apresentaram CUH aceitável (> 90%). Para cultivos extensivos e sistema radicular médio, 5 pivôs apresentaram índices adequados (85% a 90%). Em cultivos com sistema radicular profundo, 4 pivôs apresentaram índices adequados (80% a 85%), sendo que 4 pivôs não atendem a nenhum desses critérios (< 80%) (BERNARDO et al., 2006). Três desses 4 pivôs apresentaram CUD < 70%, não satisfazendo aos índices mínimos aceitáveis pela literatura, sendo um número elevado, considerando-se que os investimentos para implantação do pivô são elevados e, normalmente, cultivam-se culturas de alto valor comercial. Demonstram ainda, o descaso com a manutenção dos equipamentos por parte do agricultor, que tem demonstrado maior preocupação com investimentos em insumos para implantação das culturas e também devido à falta de orientação técnica, tanto por parte das empresas que comercializam esses equipamentos, bem como dos órgãos de assistência técnica municipal e estadual. As conseqüências imediatas da falta de manutenção dos equipamentos e manejo inadequado da irrigação são o maior consumo de energia e impactos ambientais, como erosão, lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas,

Tabela 3 – Velocidade da última torre (Vu), velocidade do vento (Vv), evaporação (Ev), lâmina projetada (Lp), lâmina média coletada (Lc), variação da lâmina coletada em relação à projetada, CUH, CUD e classificação (Clas) de acordo com ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998).

Pivôs	Vu (m h ⁻¹)	Vv (m s ⁻¹)	Ev (mm)	Lp (mm)	Lc (mm)	Variação (%)	CUH (%)	Clas	CUD (%)	Clas
PC 01	266,6	-	0,1	4,10	4,02	-1,95	86,25	boa	76,32	boa
PC 02	205,0	-	-	3,86	3,95	+2,33	87,81	boa	81,52	boa
PC 03	231,1	1,6	-	4,40	4,34	-1,36	85,56	boa	78,34	boa
PC 04	224,5	-	1,0	5,85	5,60	-4,27	93,16	muito boa	87,68	muito boa
PC 05	174,2	-	-	5,28	5,13	-2,84	82,65	regular	73,68	regular
PC 06	165,5	1,0	-	4,96	5,03	+1,41	88,92	boa	80,91	boa
PC 07	278,0	-	-	4,87	4,51	-7,39	85,59	boa	74,72	boa
PC 08	271,4	1,8	-	5,27	5,19	-1,52	93,01	muito boa	82,50	muito boa
PC 09	272,7	-	-	5,18	4,90	-5,41	83,17	regular	71,43	regular
PC 10	183,4	2	0,4	4,88	4,49	-7,99	91,44	muito boa	86,19	muito boa
PC 11	124,9	2	-	15,31	13,27	-13,32	60,54	ruim	52,55	ruim
PC 12	275,5	1,5	-	6,26	6,47	-1,37	80,11	regular	74,19	regular
PC 13	126,6	1,2	-	10,35	10,02	-3,19	80,89	regular	77,35	boa
PC 14	182,3	1,5	-	7,51	6,99	-6,92	78,35	ruim	67,53	ruim
PC 15	184,3	1,3	-	8,22	8,55	+4,01	79,37	ruim	71,46	regular
PC 16	172,4	1,5	-	16,12	5,76	-2,37	71,59	ruim	64,28	ruim

contaminando as fontes de água superficiais e subterrâneas.

Uma análise mais detalhada ao longo da linha lateral de cada pivô permite detectar com maior precisão os principais fatores que estão interferindo no seu desempenho e propor medidas, que em muitas situações, podem solucionar ou amenizar os problemas observados com procedimentos simples e de baixo custo, implementadas pelo próprio agricultor, dispensando mão-de-obra mais qualificada.

De maneira geral, os principais inconvenientes observados e descritos na seqüência, são decorrentes da falta de manutenção periódica do equipamento ao longo do tempo de uso e mau dimensionamento do sistema de bombeamento e dos distribuidores de água ao longo da linha lateral e sistema de automação, como problemas técnicos no relê porcentual. Nos PC 12 e PC 14, as velocidades de deslocamento medidas em campo foram de 66% e 88%, respectivamente, enquanto que, no relê porcentual, registrou-se 80% para ambos os equipamentos. Nos PC 13, PC 15 e PC 16 foram observados no painel 90%, 70% e 40% e no ensaio de campo 65%, 62% e 39%, respectivamente, o que concorre para as diferenças em lâmina aplicada projetada e real.

Dos equipamentos avaliados, o PC 11 apresentou o pior desempenho, constatando-se que, a partir do 8º vão, a lâmina coletada apresentou tendência de redução progressiva, como resultado da queda de pressão do sistema, onde registrou-se 40 kPa na extremidade do pivô, inferior à recomendada em projeto (180 kPa). Com exceção ao 8º vão (CUH “regular”), todos os demais apresentam CUH “ruim” (< 80%). Pinto et al. (2006) observaram, para o pivô avaliado, que a pressão no final da lateral foi menor que a recomendada e a lâmina de água aplicada ficou abaixo da média e as eficiências de irrigação foram menores do que o recomendado pela literatura como aceitáveis. Rodrigues et al. (2001) observaram na avaliação de um pivô central, que o CUC (77,97%) e CUD (67,12%) foram inferiores ao aceitável para esse tipo de equipamento, como observado em 4 equipamentos nesse trabalho e que a lâmina média coletada foi inferior à lâmina média projetada, o mesmo ocorrendo em 13 pivôs avaliados. Oliveira et al. (2003) constataram que os índices de CUC e CUD foram muito próximos aos índices mínimos aceitáveis para dois tipos de manejo do solo: preparo com grade aradora (CUC = 80,66% e CUD = 70,83%) e plantio direto (CUC = 81,09% e CUD = 70,20%). Bonomo

et al. (2003) também observaram índices de CUC e CUD acima dos mínimos aceitáveis. A diferença de uniformidade obtida entre os diferentes equipamentos avaliados, pode ser atribuída, dentre outros fatores, ao tempo de uso dos mesmos, aliada à frequência de manutenção preventiva e corretiva.

No PC 03, embora seja um equipamento relativamente antigo, a uniformidade obtida foi considerada aceitável, mesmo apresentando uma distância entre emissores maior que os pivôs instalados mais recentemente. No PC 04, com menos de 2 anos de uso, a uniformidade foi aceitável, embora os reguladores de pressão tenham sido instalados para operarem a 69 kPa, sugerindo-se por questões hidráulicas, substituir por outros de 103 kPa, de forma que os jatos dos aspersores tenham um maior raio de alcance, minimizando o efeito de vento e por conseqüência o surgimento de locais com lâmina insuficiente ou “faixas” com deficiência hídrica. A atuação adequada dos reguladores de pressão tem grande importância sobre a uniformidade de aplicação de água, conforme comprovado por Teixeira et al. (2003), que obtiveram índices de CUC de 94,1%, 94,0%, 94,1% e CUD de 88,9%, 89,3%, 89,0%, respectivamente, para as condições em declive, nível e alicive, constatando que os reguladores de pressão foram eficientes no equilíbrio da pressão. O mesmo foi observado por Zocoler et al. (2004).

Na Figura 1, apresenta-se a lâmina coletada e lâmina média coletada ao longo da linha lateral de dois pivôs, sendo o que apresentou o maior índice de CUH (93,16%, PC 04 – Joviânia), Figura 1a e o pivô com o menor índice de CUH (60,56%, PC 11- Paranoá), Figura 1b.

Os PC 02, PC 06 e PC 15 apresentaram lâmina coletada média maior que a lâmina projetada, sendo os principais fatores a utilização de bocais com diâmetro maior que os considerados adequados e o relê porcentual não estar funcionando adequadamente (Tabela 3). Nos locais onde a lâmina aplicada diferir em 10%, para mais ou para menos em relação à lâmina média projetada, conforme ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998) devem ser investigadas as causas e providenciar as mudanças necessárias. Apenas o PC 11 apresentou diferença maior que 10% entre lâmina coletada e projetada (13,32%), não sendo recomendável, pois, induzirá na aplicação de uma lâmina de água acima ou abaixo da considerada adequada para satisfazer as necessidades hídricas da cultura.

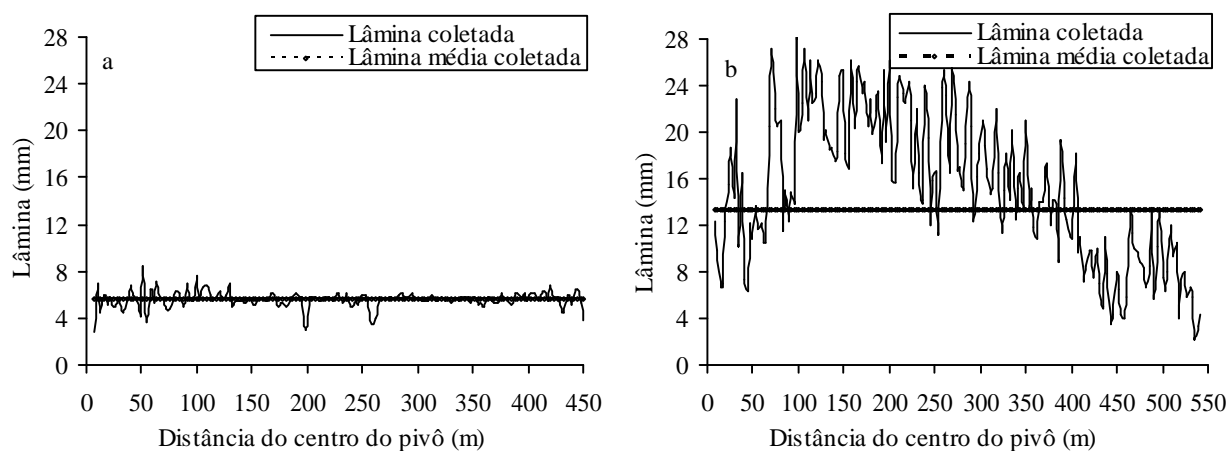


Figura 1 – Lâmina coletada e lâmina média coletada ao longo da linha lateral do PC 04 (a) e PC 11 (b).

A pressão na extremidade do PC 08 foi de 280 kPa, quando deveria ser de 130 kPa, devido ao conjunto motobomba fornecer uma pressão em sua saída de 1100 kPa, quando deveria ser de 950 kPa. A pressão mais elevada resultou no rompimento de várias mangueiras dos pendurais, interferindo na manutenção das condições hidráulicas. No PC 09, a pressão na extremidade que deveria ser de, no máximo, 180 kPa, foi de 380 kPa, garantindo uma ótima pressurização do sistema, no entanto, ficou sujeita à ação do vento devido a maior fragmentação do jato de água. A solução mais viável, tecnicamente, é substituir os bocais dos aspersores por outros de maior vazão, ajustando-os à pressão do sistema. No PC 10, a pressão no final do pivô foi de 160 kPa, quando deveria ser de 180 kPa, devido à potência da motobomba ser inferior à necessária, comprometida pelo desnível de 4 m entre o ponto fixo e a extremidade do pivô. No PC 13, a pressão de projeto no centro era 307 kPa e no final de 200 kPa, no entanto, foram observadas pressões de 260 kPa e 157 kPa, respectivamente, mesmo assim a lâmina coletada (10,35 mm) foi semelhante à projetada (10,02 mm). No PC 14, a pressão no centro do pivô foi de 700 kPa e na extremidade final de 100 kPa, quando deveriam ser de 807 e 200 kPa, respectivamente, resultando em uma lâmina muito baixa nos últimos 3 vãos. Nos demais pivôs, as pressões foram consideradas adequadas segundo dados técnicos de projeto e observações realizadas.

No PC 01, a lâmina coletada foi inferior à projetada no 1º vão, entre o 3º e 4º vão, no final do 4º vão, no início do 6º, no final do 7º vão e no início do lance em balanço, decorrente de alguns emissores parcialmente obstruídos. Nesse pivô, o “kit” de aspersores apresentava cerca de 4

anos de uso, sugerindo-se assim a limpeza ou substituição dos emissores total ou parcialmente obstruídos ou danificados. Com exceção ao 2º vão do PC 11 e no 1º, 2º, 8º, 11º vãos do PC 12 e no lance em balanço, a lâmina coletada foi maior que 10% em relação à lâmina projetada, devido a bocais com diâmetros maiores que o necessário, para esse intervalo. Nos vãos 1º, 2º, 3º, 5º, 6º, 11º, 12º, 13º e no lance em balanço do PC 14, nos vãos 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 8º, 9º, 10º, 12º e o balanço do PC 15 e nos vãos 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 10º, 11º e o balanço do PC 16, a uniformidade foi “ruim” (< 80%), com a maioria desses vãos apresentando lâmina coletada superior ou inferior a 10% em relação à lâmina projetada, também causada principalmente por bocais com diâmetros diferentes do necessário para esses intervalos. Do 1º ao 4º vão do PC 09, a lâmina coletada foi maior que a lâmina projetada, também causada por bocais de diâmetros maiores que os recomendados. Do 2º ao 8º vão do PC 11, a lâmina aplicada foi muito elevada, aumentando a perda de carga, resultando em baixa pressão na extremidade final do equipamento, causado por bocais com diâmetros maiores do que os recomendados para esse intervalo, auxiliado por reguladores de pressão danificados, devendo ser substituídos. Houve vazamento nos “mangotes” da 2ª e 3ª torre, contribuindo para redução dos índices de uniformidade, aumento da lâmina de irrigação e redução da pressão no final do pivô.

No PC 15 e PC 16 alguns reguladores de pressão e sprays estavam danificados, além de vários vazamentos nos pendurais e nos tubos do 1º, 2º, 3º e 13º vão, além de alguns emissores sem pendural do PC 15. No PC 16 houve vazamentos nas curvas do pendural do 2º, 9º, 11º e 12º vãos, nas duas flanges dos tubos do 3º vão e vazamento

no “mangote” de transição e na flange de um dos tubos do 5º vão. No PC-02, a lâmina coletada foi muito acima da lâmina projetada no 1º vão, mesmo estando em bom estado de conservação, por possuir bocais com diâmetro maior do que o recomendado para esse intervalo do pivô, que tinha cerca de 4,5 anos de uso.

No 1º vão do PC 03, a lâmina coletada foi inferior à lâmina projetada, causada por bocais obstruídos. O pivô estava em bom estado de conservação, porém, existiam vazamentos nas “botas” de borracha que fazem a transição de uma torre para outra e um dos tubos da lateral, estando enferrujado que poderá resultar no tombamento do equipamento. Nesse pivô e no PC 08, o manômetro instalado no centro do equipamento, fundamental para o acompanhamento do funcionamento do sistema apresentou defeito. No PC 05, a lâmina coletada variou de forma acentuada em relação à projetada em, praticamente, toda a lateral, devido a bocais com diâmetros diferentes dos recomendados para esse equipamento, o mesmo ocorrendo no 2º e 5º vão do PC 10. No PC 06, nos intervalos de 0 a 30 m, 63 a 66 m, 115 a 118 m e 177 a 180 m e no intervalo de 0 a 365 m do PC 07, a lâmina coletada foi inferior à projetada, causada por bocais com diâmetro inferior ao recomendado para esses intervalos. O mesmo ocorreu nos 1º, 2º, 3º e 5º vãos e no lance em balanço do PC 13 (10 anos de uso), além de vazamento nas flanges do 2º e do 6º vão. Constatou-se também ausência de pendurais no PC 07, PC 09, PC 12, PC 13 e PC 16, elevando a perda de água por evaporação e deriva. No PC 08, observa-se, no perfil de lâminas de água, 3 intervalos distintos: o primeiro do centro do pivô até 232 m, com lâmina coletada inferior à projetada em cerca de 20%, o segundo de 232 m até 365 m, com 11% e o terceiro de 365 m ao final do pivô, com lâmina coletada próxima à projetada (4,5%).

CONCLUSÕES

Dos 16 pivôs avaliados, 4 (25%) apresentaram CUH inadequado (< 80%) e em 3 deles (18,75%) o CUD foi inadequado (< 70%). A lâmina média coletada foi superior à projetada em 3 pivôs e inferior em 13, sendo a diferença maior que 10%, em apenas um deles.

A maioria dos pivôs avaliados necessita de manutenção e reparos urgentes, especialmente para solucionar problemas como: bocais com vazão diferente da considerada adequada em algum intervalo do pivô, emissores total ou parcialmente obstruídos ou danificados, ausência de pendurais, reguladores de pressão danificados, resultando em pressões diferentes das especificadas em projeto, vazamentos como nas flanges, e velocidade de

deslocamento do pivô diferente da indicada no relé porcentual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244**: equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, RJ, 1998. 11 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 611 p.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Eficiência de irrigação em sistemas pressurizados, empregados na cafeicultura, em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2003. (Boletim técnico, 8).

CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 142 p. (Bulletin, 670).

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial na irrigação. **ITEM - Irrigação & Tecnologia Moderna**. Brasília, n. 69/70, p. 89-97, 2006.

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

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

HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A. Custo da melhora da uniformidade de distribuição de água por um pivô central vs. economia de energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBEA, 1995. p. 189.

HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1491, 1998.

OLIVEIRA, L. F. C.; ALVES FILHO, A. S.; SILVEIRA, P. M. Distribuição de água no solo aplicada por um pivô central. **Bioscia Jornal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 79-87, maio/ago. 2003.

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

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

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

SANO, E. E.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação na demanda de água para

irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 508-515, maio/ago. 2005.

GOIÁS. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento. **Plano diretor de irrigação em Goiás**: termo I: proposições básicas. Goiânia, 2004. 106 p.

TEIXEIRA, M. B.; SOUZA, G. F.; MANTOVANI, E. C.; REIS, C. G. **Estudo da influência da declividade do terreno e da utilização de reguladores de pressão na uniformidade de aplicação de água em pivô central equipado com LEPA**. Viçosa: UFV, 2003. (Boletim Técnico, 8).

ZOCOLER, J. L.; CÉSAR, L. E. V.; VANZELA, L. S. Efeito da posição relativa da linha lateral de um equipamento de irrigação por pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência da irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 290-297, out./dez. 2004.