

## ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PIVÔ CENTRAL E SISTEMAS DE PLANTIO

LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, ANTÔNIO MARCOS DE MELO MEDEIROS<sup>2</sup>,  
PEDRO MARQUES DA SILVEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, e-mail: coutinho@deg.ufla.br.

<sup>2</sup>Doutor de Produção Vegetal pela Universidade Federal de Goiás, e-mail: amarcosmedeiros@yahoo.com.br.

<sup>3</sup>Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e-mail: pmsilveira@cnpaf.embrapa.br.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** Nesta análise foram simulados os potenciais de consumo de energia elétrica no sistema pivô central operando em diferentes condições de uniformidade de aplicação de água e de condições climáticas, para a cultura do feijão de inverno em sistemas de plantio direto e convencional. Para tal, foi desenvolvida uma planilha eletrônica para a análise nas diversas condições de operação, cujas informações de entrada foram as características hidráulicas do sistema pivô central, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; dados climáticos; coeficientes de uniformidade de aplicação de água e; coeficientes de cultura do feijão cultivado nos sistemas plantio direto e convencional. Para tal, empregaram as séries históricas das variáveis climáticas com 24 anos de observações diárias coletadas na estação meteorológica da Embrapa. Com base nas simulações verificou-se que o aumento no consumo de energia pelo sistema pivô central foi mais sensível de energia às variações da pulverização do jato com as condições climáticas e que em média houve uma redução no consumo de energia de 17,2%, quando se substituiu o sistema de plantio convencional pelo direto.

**PALAVRAS-CHAVE:** uniformidade de aplicação; eficiência de irrigação; consumo de energia.

## SAVING ELECTRICITY FOR DIFFERENT OPERATING CONDITIONS AND CENTRAL PIVOT SYSTEMS PLANTING

**ABSTRACT:** In this analysis were simulated potential of electricity consumption in center pivot system operating in different conditions of uniformity of water application and climatic conditions for the cultivation of beans in winter no-tillage and conventional. To this end, we developed a spreadsheet for analysis in various operating conditions, whose input information were the hydraulic characteristics of the center pivot system, owned by the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; climatic data; coefficient of uniformity of water application and; crop coefficient of beans grown under conventional and no tillage. To this end, they employed the time series of climate variables with 24 years of daily observations collected at the weather station of Embrapa. Based on the simulations it was found that the increase in energy consumption by central pivot was more sensitive to variations in power spray jet with climatic conditions and that on average there was a reduction in energy consumption by 17.2%, when replacing the conventional tillage system by no- tillage.

**KEYWORDS:** application uniformity, irrigation efficiency; energy consumption.

**INTRODUÇÃO:** Dentre os setores consumidores de energia elétrica, a agricultura desponta como altamente dependente para aumentar a produção e conseguir suprir as necessidades do mercado, que é cada vez mais exigente e competitivo. Como os sistemas de irrigação são usuários de água, faz-se necessário que as pesquisas voltadas aos projetos de concepção, uso e manejo destes sistemas sejam contextualizadas e atualizadas para que os estudos tenham caráter não só científico, mas também prático e técnico, garantindo o retorno do avanço do conhecimento, para a sociedade. A energia elétrica consumida em sistemas de irrigação do tipo pivô central está associada ao bombeamento e ao acionamento dos motores elétricos instalados nas torres do sistema, responsáveis pelo deslocamento

do equipamento sobre a área irrigada. 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 (Mendoza e Frizzone, 2012). Os métodos de irrigação de baixa eficiência levam a um consumo de energia elétrica e água, superior do requerido pelos cultivos, podendo enfatizar que é possível a expansão das áreas irrigadas, devido ao investimento em equipamentos e tecnologias que permitiram maior mobilidade e controle do uso da água, com aumento de produtividade e redução dos custos de operação e de manutenção. Dessa forma, o conhecimento do desempenho do equipamento, em relação à uniformidade de distribuição da 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, devido à falta de uniformidade, uma fração dessa área é irrigada com excesso, enquanto que em outra fração ocorre déficit de água. Outro aspecto importante se refere ao uso de sistemas de plantio, que permitem uma redução do volume de água aplicado na irrigação. A palhada na superfície do solo reduz a evaporação propiciando aumento do intervalo entre irrigações. Deste modo, espera-se que, com o incremento do nível de cobertura do solo, haja economia significativa nos custos de operação do sistema de irrigação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** No estudo de otimização do sistema de irrigação utilizou-se o pivô central instalado na Embrapa Arroz e Feijão, localizado no município de Santo Antônio de Goiás-GO. O equipamento empregado no estudo é constituído de dez torres com lances médios de 38,6 m com balanço de 24 m, com raio irrigado de 411,2 m e área irrigada de 53,12 ha. O sistema pivô central possui uma altura de 2,7 m, e a tubulação da linha lateral é de aço zincado com diâmetro de 168,28 mm. A adutora, de aço zincado, tem 1038 m de comprimento e 159 mm de diâmetro e a sucção tem 2 m de comprimento e 250 mm de diâmetro. A estação elevatória é composta de uma bomba instalada modelo TK 150-50, com potência de 96,7 cv no eixo e rendimento de 70% e o motor elétrico modelo WEG de 100 cv, com rendimento de 82%. Nesta análise foram simulados os potenciais de consumo de energia elétrica no sistema pivô central operando em diferentes condições de uniformidade (80, 85, 90 e 95%), e de condições climáticas (extrema e média), irrigando feijão de inverno, para os sistemas plantio direto e convencional. Para tal, foi desenvolvida uma planilha eletrônica para a análise nas diversas condições de operação, cujas informações de entrada foram os dados climáticos, valores dos coeficientes de uniformidade, bem como os coeficientes de cultura do feijão, cultivado nos sistemas plantio direto e convencional. Os dados climáticos utilizados nesta análise foram: umidade relativa, velocidade do vento e evaporação do tanque Classe A, extraídos de uma série histórica de 24 anos de observação diária (1983 a 2007), coletada na estação meteorológica central da Embrapa Arroz e Feijão. Inicialmente, fez-se uma análise da frequência dos dados considerando o período de maio a outubro, quando se cultiva o feijão de inverno no Estado de Goiás. O consumo de energia foi avaliado para os valores médios dos dados climáticos e também para as condições das maiores ocorrências verificadas na análise frequencial. Na simulação da eficiência de aplicação foram consideradas as condições climáticas média e extrema. Na determinação da Eap empregou-se a metodologia proposta por Keller (1984), em função da evapotranspiração da cultura de referência, velocidade do vento e do índice de pulverização do jato do aspersor. Neste estudo empregou-se os valores de CI=7 (baixa pulverização) e 17 (alta pulverização). A evapotranspiração da referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada utilizando o método do tanque Classe A, instalado na estação climatológica da Embrapa Arroz e Feijão, cujo raio de bordadura gramada ao redor do tanque é de 5m. A ET<sub>o</sub> foi obtida pelo produto da evaporação do tanque Classe A de maior ocorrência no período de cultivo do feijão de inverno, extraída da série histórica, pelo coeficiente do tanque (Kt), em função da velocidade do vento medido a 2 de altura, umidade relativa e raio de bordadura do tanque circundado por grama (Bernardo et al., 2006). Baseado na demanda hídrica da área a ser irrigada, corrigida pelo número máximo de horas que o equipamento pode operar a cada dia, perdas de água que ocorrem antes da sua infiltração no solo e na fração de área que recebe a lâmina deficitária, foi calculado segundo Colombo (2003). A evapotranspiração do feijão foi obtida pelo produto da ET<sub>o</sub> pelo coeficiente de cultura (Kc), considerando os sistemas plantio direto e convencional, no período de máxima demanda de água da cultura, ou seja, no período de floração e enchimento de grãos, de 1,06 e 1,28 (Moreira et al., 1999), respectivamente. O consumo da energia elétrica foi obtido com relação à fração da área de déficit, sendo esta, a fração da área irrigada que recebe lâmina de irrigação menor que a necessária (Bernardo et al., 2006). O valor adimensional

de lâmina aplicada (Lad) está associado aos diferentes níveis de área deficientemente irrigada, para os diferentes níveis de probabilidade acumulada, baseado na distribuição estatística normal. No cálculo da Lad foram consideradas as frações da área deficientemente irrigadas (Zad) variando de 5 a 50%, e para a estimativa do CV foi considerada a sua equivalência com o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Nos cálculos da taxa de reposição diária do pivô, para todas as condições de análise, as perdas de água por escoamento superficial foram consideradas de 5% do total aplicado, valor considerado como razoável por Colombo (2003). De posse dos valores das taxas de reposição diária do pivô, para todas as situações analisadas, calculou-se a vazão que permitiu assim a análise do consumo de energia. A potência energética consumida foi obtida em função da vazão a ser aplicada para as diferentes condições de avaliação, considerando a estrutura do sistema elevação e adução da água de irrigação.

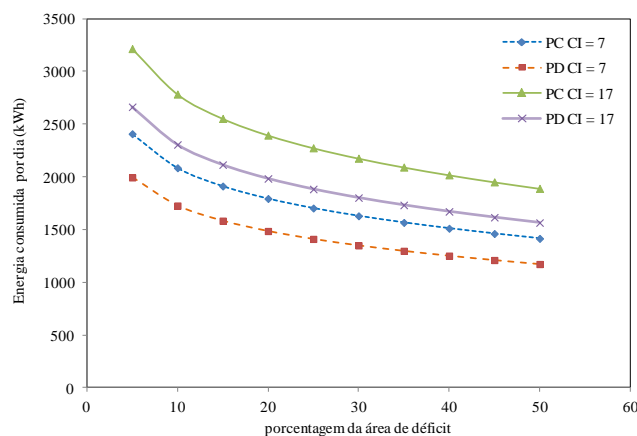
**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Pela análise dos dados climáticos, os valores da umidade relativa, velocidade do vento e evaporação que apresentaram maior frequência de ocorrência foram de 60%, 1,0 m.s<sup>-1</sup> e 6,0 mm.d<sup>-1</sup>, e os valores extremos encontrados foram de 25%, 2,2 m.s<sup>-1</sup> e 12,0 mm.d<sup>-1</sup>, respectivamente. Com base nesses valores, estimaram-se a ET<sub>o</sub> e ET<sub>c</sub>, considerado o período de maior demanda de água da cultura do feijão de inverno, que segundo Moreira et al. (1999) coincide com as fases de floração e enchimento de grãos (Tabela 1) com durações entre 35 a 60 dias e 60 a 80 dias, respectivamente. Os valores da ET<sub>c</sub> mostram que o feijoeiro é mais exigente no consumo de água na floração quando comparado com o enchimento de grãos, e que há uma redução neste consumo quando se utiliza o sistema de plantio direto, para ambas as condições de ocorrência dos valores climáticos avaliadas (extrema e média). Pela Tabela 1, verifica-se uma redução percentual média da ET<sub>c</sub> de 17,2 e 14,4%, para as fases de floração e enchimento dos grãos, quando se substitui o sistema de plantio convencional (PC) pelo direto (PD), respectivamente. A Tabela 2 apresenta os valores da E<sub>a</sub> e E<sub>ap</sub> obtidos para diferentes valores do CUC e CI, para as duas condições climáticas avaliadas neste estudo (extrema e média). Os valores de E<sub>a</sub> obtidos para CI = 7 foram superiores aos obtidos para o maior grau de pulverização, para as condições climáticas avaliadas. Para um mesmo grau de pulverização do jato de água, verifica-se nos resultados a influência das condições climáticas, sendo que nas condições extremas de evaporação, vento e umidade relativa, há uma redução nos valores da E<sub>a</sub> principalmente quando se aumenta o CI. Com relação à uniformidade de distribuição de água pelo sistema avaliado, verifica-se que há uma correlação direta entre os valores do CUC e E<sub>a</sub>, e que o aumento no CI para uma mesma condição climática, proporciona uma redução no alcance do jato e por sua vez na uniformidade de distribuição de água pelos aspersores. Portanto, pode-se inferir que para as condições climáticas do estado de Goiás, para se ter eficiência de aplicação dentro da faixa recomendada na literatura de 80%, deve-se trabalhar sempre com sistema de irrigação com baixa pulverização (CI ≤ 7) e para as condições climáticas extrema com CUC ≥ 95% e para as condições médias CUC ≥ 85%. Para as condições fora desses limites representa em uma redução da E<sub>a</sub>, o que irá proporcionar em um aumento da lâmina de irrigação e por sua vez no consumo de energia, pois Segundo Bernardo et al. (2006), um jato muito pulverizado está sujeito à deriva pelo vento reduzindo assim a eficiência de aplicação, demandando portanto, uma maior lâmina de irrigação o que reflete em um aumento no consumo de energia (Bonomo, 1999). Para os diferentes valores de uniformidade de distribuição de água, condições climáticas, pulverização do jato e porcentagem da área deficientemente irrigada, o consumo de energia foi em média 17,2% menor quando se adota o sistema de plantio direto em comparação com o convencional. Analisando o efeito da pulverização do jato, o consumo de energia para se manter os coeficientes de uniformidade e as porcentagens das áreas deficientemente irrigadas, o consumo de energia foi em média 25,1 e 64,0% superior para as condições climáticas médias e extremas, quando se variou o CI de 7 para 17, respectivamente. Em média o aumento no consumo de energia foi de 3,4%, quando se reduziu a porcentagem da área de déficit de água, e em média houve uma redução no consumo de energia quando a uniformidade de aplicação de água variou de 80 a 95%, mantendo as demais variáveis analisadas. A Figura 1 apresenta a variação no consumo de energia em função das porcentagens das áreas deficientemente irrigadas, para um CUC de 80% variando o índice de pulverização do jato e o sistema de plantio. Observa-se que para se manter a mesma uniformidade de aplicação, um aumento no consumo de energia com o CI, para o mesmo sistema de plantio para a aplicação da mesma lâmina de irrigação. O mesmo comportamento é verificado, quando para o mesmo CI, o sistema convencional de plantio é substituído pelo plantio direto.

**Tabela 1.** Evapotranspiração de referência e da cultura para os sistemas de plantio convencional e direto

Valores climáticos máximos									
ECA (mm.d <sup>-1</sup> )	UR (%)	Vv (m.s <sup>-1</sup> )	Kt	ETo (mm.d <sup>-1</sup> )	Fase	Kc		ETc (mm.d <sup>-1</sup> )	
						PC	PD	PC	PD
12,0	25	2,2	0,58	6,90	Floração	1,28	1,06	8,83	7,31
					Enchimento dos grãos	1,04	0,89	7,18	6,14
Valores climáticos médios									
6,0	60	1,0	0,73	4,37	Floração	1,28	1,06	5,59	4,63
					Enchimento dos grãos	1,04	0,89	4,54	3,89

**Tabela 2.** Eficiência da aplicação de água do sistema de irrigação pivô central

CUC (%)	CI = 7				CI = 17			
	Valores climáticos máximos		Valores climáticos médios		Valores climáticos máximos		Valores climáticos médios	
	Eap (%)	Ea (%)	Eap (%)	Ea (%)	Eap (%)	Ea (%)	Eap (%)	Ea (%)
0,80	84	67	93	75	31	24	70	56
0,85	84	71	93	79	31	26	70	59
0,90	84	75	93	84	31	28	70	63
0,95	84	80	93	89	31	29	70	66

**Figura 1.** Consumo de energia em função das áreas deficientemente irrigadas, para diferentes valores de CI, sistemas de plantio e CUC = 80%.

**CONCLUSÕES:** Pelos resultados obtidos nas simulações, pode-se concluir o consumo de energia no sistema pivô central foi mais sensível com as variações promovidas pela pulverização do jato de água emitido pelos aspersores, principalmente para as condições climáticas mais severas e, que adoção do sistema de plantio direto representa uma alternativa de redução no consumo de água para a cultura do feijoeiro de inverno na região Centro-Oeste brasileiro.

**AGRADECIMENTOS:** À FAPEMIG pelo apoio financeiro e ao CNPq pela concessão da bolsa.

## REFERÊNCIAS

- BERNARDO S.; SOARES A.A.; MANTOVANI E.C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV. 2006, 625p.
- COLOMBO, A. Pivô Central. In: Jarbas Honório de Miranda; Regina Célia de Mattos Pires. (Org.). Irrigação. Piracicaba: Funep, 2003, v.2, p.209-258.
- KELLER, J. Sprinkle and trickle irrigation. Logan: Utah State University. 1984, 621p.
- MEDEIROS, A.M.M. (2010). Otimização de sistema de irrigação por aspersão pivô central. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás. 2010, 131p.
- MENDOZA, C.J.C.; FRIZZONE, J.A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.6, p.184-197, 2012.
- MOREIRA, J.A A.; STONE, L.F.; SILVA, S.C.; SILVEIRA, P.M. Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto. Circular Técnica 33, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 31p.