

# DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PIVÔS CENTRAIS DE IRRIGAÇÃO

AUREO CEZAR DE LIMA <sup>1</sup>  
SEBASTIÃO CAMARGO GUIMARÃES JR <sup>2</sup>  
JOSÉ ROBERTO CAMACHO <sup>2</sup>  
CARLOS HENRIQUE SALERNO. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina, CEFET-Pet

<sup>2</sup> Professores do NERFAE – Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, UFU

## 1. Resumo

Será apresentada neste trabalho, uma metodologia para a avaliação da eficiência energética de sistemas de irrigação por pivô central. Integrando Eficiência de Aplicação de Água com a energia associada a tecnologia dos aspersores, a tubulação de adução, a linha lateral e ao rendimento do conjunto motor bomba, os índices propostos possibilitam avaliar o rendimento energético de cada componente do sistema de irrigação, contribuindo, assim, para o aumento da eficiência global da agricultura irrigada.

## 2. Abstract

It will be presented in this work, a methodology for the evaluation of the energy efficiency of center pivot systems. Integrating Efficiency Application Water with the energy associated to the sprinklers, pipeline, pivot arm and pump systems, the proposed indexes make possible to evaluate the energy income of each component of the irrigation system, contributing for the increase of the global efficiency of the irrigated agriculture.

## 3. Introdução

Segundo Christofidis, 2002, a área de agricultura irrigada no Brasil alcançou 3,15 milhões de hectares em 2001, o que representava 4,8 % da área nacional utilizada para lavouras permanentes e temporárias. O potencial da agricultura irrigada, por sua vez, pode ser observado quando se considera que com 4,8 % da área cultivada, obtém-se 16% da produção nacional e 35% do faturamento relativo à produção agrícola.

Com uma área irrigada aproximada de 650 mil hectares (Christofidis, 2002), é possível estimar um consumo anual de energia de 830 GWh nos pivôs centrais instalados no Brasil. Considerando a inexistência de uma legislação específica para etiquetagem ou padronização da eficiência energética destes equipamentos, a redução do seu custo em detrimento de sua eficiência, bem como problemas com a manutenção e modernização ao longo de sua vida útil, os sistemas de irrigação apresentam um elevado potencial para implementação de medidas que visem uma melhor eficiência energética.

A avaliação hídrica de um sistema de irrigação por pivô central normalmente busca determinar a eficiência de distribuição de água através do Coeficiente de Heerman e Hein e a Eficiência de Aplicação, que relaciona a água aplicada à água disponível na zona radicular da planta. Estes indicadores restringem-se a avaliar o sistema quanto à eficiência no aproveitamento de água na irrigação.

A associação da irrigação por pivô central com a energia, por outro lado, pode ser verificada através de indicadores como a potência específica por hectare irrigada (cv/ha) (Oliveira et al., 2004), consumo de energia por milímetro de irrigação (kWh/mm) (Pessoa, 2005), potência por

metro cúbico (kW/m<sup>3</sup>), potência por hectare (kW/ha), energia por metro cúbico (kWh/m<sup>3</sup>) e energia por hectare (kWh/ha).

Assim, um sistema de irrigação por pivô central pode ser efetivamente avaliado quanto a sua eficiência hídrica, todavia, os indicadores de potência ou consumo específico de energia não permitem determinar a eficiência energética do sistema, sendo ainda impróprio para comparar equipamentos instalados em condições topográficas diferentes.

Tendo em vista a necessidade da melhoria da eficiência energética e hídrica dos sistemas de produção agrícola, surge a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação dos sistemas de irrigação por pivô central. Esta avaliação, integrando a eficiência hídrica com a eficiência energética, pode auxiliar o proprietário na escolha do sistema mais adequado as suas necessidades, bem como estimular o desenvolvimento de equipamentos, projetos e sistemas mais eficientes.

#### 4. Material e métodos

A eficiência energética de um sistema de irrigação por pivô central pode ser determinada considerando a avaliação de dois subsistemas:

- o O equipamento pivô central – onde se buscam determinar a eficiência dos aspersores, tubulação de adução e linha lateral, bomba, motor elétrico e elementos com perdas localizadas.
- o A aplicação de água – constituída pela Eficiência de Aplicação em Potencial, Eficiência de Distribuição e a Eficiência de Aplicação de Água propriamente dita.

##### 4.1. Eficiência do equipamento pivô central

Será considerado, neste trabalho, como potência útil no equipamento de irrigação por pivô central a potência necessária para a elevação de um volume de água deste o manancial até a área a ser irrigada. Desta forma, as potências dissipadas nos aspersores, tubulações e no conjunto motor bomba representam as perdas deste sistema. A Equação 1 determina a potência útil do equipamento de irrigação.

$$P_U = \gamma \cdot Q_S \cdot h_g \quad (1)$$

Onde:  $P_U$  – Potência útil [W];  
 $\gamma$  – Peso específico da água [N/m<sup>3</sup>];  
 $Q_S$  – Vazão bombeada pelo sistema [m<sup>3</sup>/s];  
 $h_g$  – Altura geométrica de recalque [m];

A potência de entrada no equipamento, por sua vez, considera as potências associadas aos aspersores, perdas de carga nas tubulações e rendimento do conjunto motor bomba conforme é apresentada na Equação 2.

$$P_E = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \quad (2)$$

Onde:  $P_E$  – Potência de entrada no sistema [W];  
 $\gamma$  – Peso específico da água [N/m<sup>3</sup>];  
 $Q_S$  – Vazão bombeada pelo sistema [m<sup>3</sup>/s];  
 $H_m$  – Altura manométrica [m];  
 $\eta_b$  – Rendimento da bomba;  
 $\eta_m$  – Rendimento do motor;

As perdas de energia nos elementos do equipamento de irrigação, quando se considera inexistência de vazamento, são determinadas através de sua perda de carga conforme apresentado na Equação 3.

$$P_d = \frac{\gamma \cdot Q_s \cdot \Delta h}{\eta_b \cdot \eta_m} \quad (3)$$

Onde:  $P_d$  – Potência dissipada no componente [W];  
 $\Delta h$  – Perda de carga no componente [m];

Desta forma, o indicador de eficiência energética de cada elemento do equipamento pivô central pode ser obtido pela relação entre a potência útil e a potência de entrada conforme apresentado nas Equações 4 e 5.

$$IE = \left(1 - \frac{P_d}{P_E}\right) \cdot 100 \quad (4)$$

$$IE = \left(1 - \frac{\Delta h}{H_m}\right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:  $IE$  – Indicador de eficiência energética de um elemento do sistema [%];  
 $P_d$  – Potência dissipada no elemento [W];  
 $P_E$  – Potência de entrada no sistema de irrigação [W];  
 $\Delta h$  – Perda de carga no elemento do sistema [m];  
 $H_m$  – Altura manométrica total do sistema [m];

Para o fechamento do balanço energético no equipamento de irrigação é necessário definir a potência dissipada na conversão da potência útil e seu respectivo indicador de eficiência, conforme apresentados nas Equações 6 e 7.

$$P_{dU} = \frac{\gamma \cdot Q_s \cdot h_g (1 - \eta_b \cdot \eta_m)}{\eta_b \cdot \eta_m} \quad (6)$$

$$IE_U = 1 - \frac{h_g (1 - \eta_b \cdot \eta_m)}{H_m} \quad (7)$$

Onde:  $P_{dU}$  – Potência dissipada na conversão da potência útil [W];  
 $IE_U$  – Indicador de eficiência associado à conversão da potência útil [%];

## 4.2. Eficiência de Aplicação de Água

A perda de água, juntamente com a energia necessária para levá-la desde a fonte até a área a ser irrigada, está associada à lâmina que não é aproveitada pela planta, seja por que não alcançou o solo ou porque, acima da capacidade de infiltração, escorre superficialmente, ou ainda, ultrapassando a profundidade efetiva das raízes, percola profundamente. A Eficiência de Aplicação de Água pode ser analisada através da Eficiência de Aplicação em Potencial e da Eficiência de Distribuição (Cuenca, 1989 e Bernardo, 2005).

A Eficiência de Aplicação em Potencial  $E_a$  relaciona o volume que alcança o solo ( $Q_c$ ) com o volume bombeado ( $Q_s$ ) e a Eficiência de Distribuição  $E_d$  relaciona o volume disponível na zona

radicular da planta ( $Q_{pa}$ ) para uma área adequadamente irrigada com a água infiltrada ( $Q_c$  – Volume coletado quando o escoamento superficial é zero). A Eficiência de Aplicação de Água, representada na Figura 1, pode ser obtida através da Equação 8.

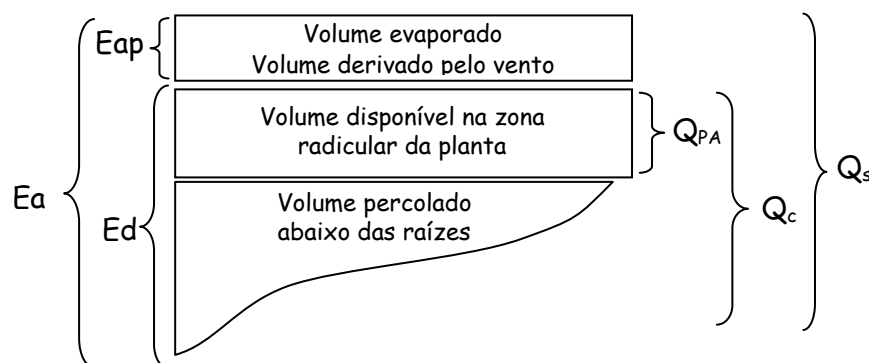


Figura 1. Representação dos volumes de água associados à Eficiência de Aplicação.

$$E_a = E_{ap} \cdot E_d = \frac{Q_c}{Q_s} \cdot \frac{Q_{pa}}{Q_c} \quad (8)$$

- Onde:
- $E_a$  – Eficiência de Aplicação de Água para uma área adequadamente irrigada [decimal];
  - $E_{ap}$  – Eficiência de Aplicação em Potencial para uma área adequadamente irrigada [decimal];
  - $E_d$  – Eficiência de Distribuição [decimal].
  - $Q_c$  - Volume ou lâmina de água infiltrada ou coletada no ensaio [ $m^3$ ] ou [mm];
  - $Q_{PA}$  - Volume ou lâmina de água disponível na zona radicular para uma área adequadamente irrigada (pa%) [ $m^3$ ] ou [mm];
  - $Q_s$  - Volume ou lâmina de água bombeada pelo sistema [ $m^3$ ] ou [mm];

Para a determinação da Eficiência de Aplicação, a obtenção da potência dissipada e o indicador de eficiência energética associado, é necessário o desenvolvimento do ensaio no sistema de irrigação conforme NBR 14244, 1990 (Figura 2).



Figura 2. Coletores para avaliação de um pivô central

A partir dos dados de ensaio, pode-se obter a energia dissipada associada à evaporação e deriva pelo vento, caracterizada pela Eficiência de Aplicação em Potencial, conforme a Equação 9 e o indicador de eficiência pela Equação 10.

$$P_{DEAP} = \frac{\gamma \cdot (Q_S - Q_C) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \cdot 100 \quad (9)$$

$$IE_{EAP} = \frac{Q_C}{Q_S} \cdot 100 \quad (10)$$

Onde:  $P_{DEAP}$  – Potência dissipada associada à Eficiência de Aplicação em Potencial de Água [W];  
 $IE_{EAP}$  – Indicador de Eficiência de Aplicação em Potencial de Água [%];

A potência dissipada associada à Eficiência de Distribuição de Água, por sua vez, pode ser obtida a partir da Equação 11 e o indicador de eficiência energética relativo às perdas por percolação profunda, determinado pela Equação 12.

$$P_{DED} = \frac{\gamma \cdot (Q_C - Q_{PA}) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \quad (11)$$

$$IE_{ED} = \frac{Q_{PA}}{Q_C} \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:  $P_{DED}$  – Potência dissipada associada à Eficiência de Distribuição de Água [W];  
 $IE_{ED}$  – Indicador de Eficiência de Distribuição de Água [%];

A combinação dos indicadores de Eficiência de Aplicação em Potencial e a Eficiência de Distribuição de Água, denominada Eficiência de Aplicação, relaciona o volume de água útil à planta com o volume total bombeado. Desta forma, é possível determinar a energia dissipada associada à eficiência hídrica do sistema através da Equação 13 e o indicador de eficiência pela Equação 14.

$$P_{DEA} = \frac{\gamma \cdot (Q_S - Q_{PA}) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \cdot 100 \quad (13)$$

$$IE_{EAP} = \frac{Q_{PA}}{Q_S} \cdot 100 \quad (14)$$

Onde:  $P_{DEA}$  – Potência dissipada associada à Eficiência de Aplicação de Água [W];  
 $IE_{EAP}$  – Indicador de Eficiência de Aplicação de Água [%];

### 4.3. Eficiência do sistema de irrigação

Determinada a potência associada a cada um dos elementos do sistema de irrigação por pivô central, pode-se obter a potência útil na irrigação considerando a vazão útil ( $Q_{pa}$ ), armazenada na zona radicular da planta para uma área adequadamente irrigada, e o desnível geométrico bombeado ( $h_g$ ) conforme apresentado na Equação 15.

$$P_I = \gamma \cdot Q_{PA} \cdot h_g \quad (15)$$

Onde:  $P_I$  – Potência hidráulica útil do sistema de irrigação [W];  
 $Q_{PA}$  – Vazão útil para uma parcela adequadamente irrigada (pa%) [m<sup>3</sup>/s];  
 $h_g$  – Altura geométrica de recalque [m];

A avaliação do sistema, por sua vez, pode ser determinada pela relação entre a potência hidráulica útil na irrigação e a potência elétrica de entrada conforme apresentado na Equação 16.

São apresentadas, na Tabela 1, as equações para a determinação da eficiência energética em cada elemento do sistema de irrigação por pivô central.

$$IE_{SI} = \frac{Q_{PA} \cdot h_g}{Q_S \cdot H_m} \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot 100 \quad (16)$$

Onde:  $IE_{SI}$  – Indicador de eficiência energética do sistema de irrigação [%];  
 $Q_{PA}$  – Vazão útil para uma parcela adequadamente irrigada (PA) [m<sup>3</sup>/s];  
 $h_g$  – Altura geométrica de recalque [m];  
 $Q_S$  – Vazão bombeada pelo sistema hidráulico [m<sup>3</sup>/s];  
 $H_m$  – Altura manométrica [m];  
 $\eta_b$  – Rendimento da bomba [Fração];  
 $\eta_m$  – Rendimento do motor [Fração];

A partir do equacionamento proposto na Tabela 1 e, utilizando os dados apresentados por Pessoa, 2005, são determinadas as potências associadas a cada elemento do sistema de irrigação por pivô central e obtidos seus respectivos indicadores.

Tabela 1. Equações para a determinação da eficiência energética de um sistema de irrigação por pivô central

ELEMENTOS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO		ASSOCIADO À:	EQUAÇÕES DAS POTÊNCIAS	INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	EQUIPAMENTO PIVÔ CENTRAL	Pivô central de irrigação completo	Alimentação elétrica do motor e a energia hidráulica útil	$P_{EE} = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m}$	
		Aspersor	Tecnologia do aspersor	$P_{EA} = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot \Delta h}{\eta_b \cdot \eta_m}$	$IE_A = \left(1 - \frac{\Delta h_A}{H_m}\right) \cdot 100$
		Linha lateral e reguladores de pressão	Perda de carga distribuída e dissipação no regulador de pressão	$P_{ELL} = \frac{\gamma \cdot Q_S}{\eta_b \cdot \eta_m} \cdot \sum_{r=0}^{r=N} \Delta h_r$	$IE_{LL} = \left(1 - \frac{\sum_{r=1}^{r=N} \Delta h_r}{H_m}\right) \cdot 100$
		Adutora	Perda de carga distribuída	$P_{EA} = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot \Delta h}{\eta_b \cdot \eta_m}$	$IE_A = \left(1 - \frac{\Delta h_A}{H_m}\right) \cdot 100$
		Perda Localizada	Perturbações nas peças	$P_{EA} = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot \Delta h}{\eta_b \cdot \eta_m}$	$IE_A = \left(1 - \frac{\Delta h_A}{H_m}\right) \cdot 100$
		Conversão da potência útil	Rendimento do motor e bomba sobre a potência útil	$P_{CPU} = \frac{\gamma \cdot Q_S \cdot h_g (1 - \eta_b \cdot \eta_m)}{\eta_b \cdot \eta_m}$	$IE_{CPU} = 1 - \frac{h_g (1 - \eta_b \cdot \eta_m)}{H_m}$
		Potência útil do equipamento	Potência hidráulica	$P_{HU} = \gamma \cdot Q_S \cdot h_g$	$IE_P = \frac{h_g}{H_m} \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot 100$
EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA		Eficiência de distribuição de água	Uniformidade de distribuição de água	$P_{DED} = \frac{\gamma \cdot (Q_C - Q_{PA}) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m}$	$IE_{ED} = \frac{Q_{PA}}{Q_C} \cdot 100$
		Eficiência em potencial de aplicação de água	Evaporação e deriva com vento	$P_{DEPA} = \frac{\gamma \cdot (Q_S - Q_C) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \cdot 100$	$IE_{EPA} = \frac{Q_C}{Q_S} \cdot 100$
			Água bombeada e água disponível para a planta	$P_{DEA} = \frac{\gamma \cdot (Q_S - Q_{PA}) \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \cdot 100$	$IE_{EAP} = \frac{Q_{PA}}{Q_S} \cdot 100$
			$P_{HUI} = \gamma \cdot Q_{PA} \cdot h_g$	$IE_{SI} = \frac{Q_{PA} \cdot h_g}{Q_S \cdot H_m} \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot 100$	

## 5. Avaliação de um sistema de irrigação

Considerando as características apresentadas na Tabela 2 de um sistema de irrigação por pivô central (Figura 3) em uma condição inicial de baixa eficiência e uma segunda condição onde são implementadas medidas de eficiência energética, foram aplicados os equacionamentos propostos na Tabela 1.



Figura 3. Linha lateral de um pivô central.

Tabela 2. Características de um pivô central em duas condições de projeto.

item	Situação A	Situação B
Área irrigada (ha)	104,5	104,5
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	400	400
Lamina bruta em 21 horas (mm)	8,04	8,04
Lâmina coletada em 21 horas (mm)	7,68	7,68
Lâmina útil para 90% da área adequadamente irrigada	4,60	6,57
Altura geométrica (m)	60	60
Diâmetro da adutora	10" (250 mm)	12"(300 mm)
Comprimento da adutora (m)	1040	1040
Diâmetro da tubulação aérea	576.7 m de 6 5/8"	8 5/8" (213 mm): 336.3 m + 6 5/8"(163 mm): 240.4 m
Pressão no balanço (mca)	20	13
Altura manométrica total (mca)	154	103
Rendimento do motor (%)	88	95
Rendimento da bomba (%)	75	77
Potência no eixo (cv/kW)	305,7/225,0	197,3/145,2
Potência de entrada (cv/kW)	347,4/255,7	207,7/152,9
Consumo de energia (kWh/mm)	664	400
Coefficiente de Uniformidade de Heerman e Hein (C <sub>UH</sub> ) (%)	75	91

Fonte: Adaptado de Pessoa, 2005.

Utilizando os dados da Tabela 2 e as equações da Tabela 1 é possível se determinar a potência e o indicador de eficiência de cada componente do sistema. Tomando como exemplo a linha lateral apresentada na Figura 3, as potências dissipadas nas situações "A" e "B" de projeto estão representadas na Figura 4.

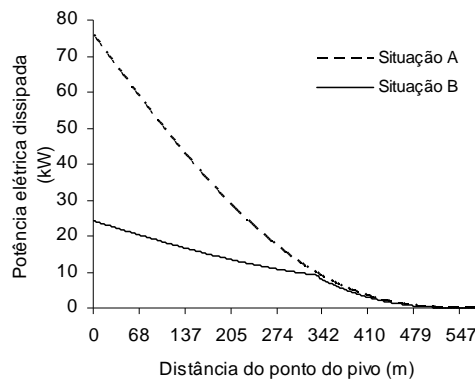


Figura 4. Potências dissipadas ao longo da linha lateral do pivô apresentado na Tabela 2.

É possível observar na Figura 4 que o aumento do diâmetro da tubulação de 163 mm para 213 mm nos primeiros 336,3 m determinou uma redução da potência elétrica necessária para suprir a perda de carga da tubulação de 77,3 kW para 26,5 kW, ou seja, uma redução de 50,8 kW, que equivale a 65,7% de economia de energia neste elemento do pivô central.

A avaliação completa do sistema de irrigação por pivô central, considerando uma área adequadamente irrigada igual a 90%, pode ser verificada na Tabela 3 para a situação “A” e na Tabela 4 para a situação “B”.

Tabela 3. Avaliação energética do sistema de irrigação tipo pivô central apresentado na Tabela 2, situação “A”

ELEMENTOS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO		ASSOCIADOS À:	Vazão (m³/h)	Altura manométrica (mca)	Potência (kW)	Perdas percentuais	Indicador Eficiência	Perda acumulada (kW)	Indicador Eficiência acumulada	
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO "A"	EQUIPAMENTO PIVÔ CENTRAL	Pivô central de irrigação completo	Alimentação elétrica do motor e a energia hidráulica útil	400	154,83	255,70				
		Aspersor	Tecnologia do aspersor	400	20,00	33,03	12,92%	87,08%	33,03	87,08%
		Linha lateral	Perda de carga distribuída e dissipação no regulador de pressão	400	46,74	77,19	30,19%	69,81%	110,22	56,90%
		Adutora	Perda de carga distribuída	400	21,50	35,51	13,89%	86,11%	145,73	43,01%
		Perda Localizada	Perturbações nas peças	400	6,59	10,88	4,26%	95,74%	156,61	38,75%
		Conversão da potência útil	Rendimento do motor e bomba sobre a potência útil	400	60,00	33,69	13,18%	86,82%	190,30	25,58%
		Potência útil do equipamento	Potência hidráulica	400	60,00	65,40000	74,42%	25,58%		
EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA		Eficiência de distribuição de água	Uniformidade de distribuição de água	228,73	154,83	98,09	38,36%	59,85%	98,09	15,77%
		Eficiência em potencial de aplicação de água	Evaporação e deriva com vento	382,17	154,83	11,40	4,46%	95,54%	109,49	14,63%
			Água bombeada e água disponível para a planta	228,73	154,83	109,49	42,82%	57,18%	109,49	14,63%
<b>SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL</b>			<b>228,73</b>	<b>60,00</b>	<b>37,40</b>	<b>85,37%</b>	<b>14,63%</b>	<b>218,31</b>		



Tabela 4. Avaliação energética do sistema de irrigação tipo pivô central apresentado na Tabela 2, situação "B"

ELEMENTOS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO		ASSOCIADOS À:	Vazão (m³/h)	Altura manométrica (mca)	Potência (kW)	Perdas percentuais	Indicador Eficiência	Perda acumulada (kW)	Indicador Eficiência acumulada	
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO "B"	EQUIPAMENTO PIVÔ CENTRAL	Pivô central de irrigação completo	Alimentação elétrica do motor e a energia hidráulica útil	400	102,61	152,90				
		Aspersor	Tecnologia do aspersor	400	13,00	19,37	12,67%	87,33%	19,37	87,33%
		Linha lateral	Perda de carga distribuída e dissipação no regulador de pressão	400	17,68	26,34	17,23%	82,77%	45,72	70,10%
		Adutora	Perda de carga distribuída	400	8,86	13,20	8,63%	91,37%	58,92	61,47%
		Perda Localizada	Perturbações nas peças	400	3,07	4,57	2,99%	97,01%	63,49	58,47%
		Conversão da potência útil	Rendimento do motor e bomba sobre a potência útil	400	60,00	24,01	15,70%	84,30%	87,50	42,77%
		Potência útil do equipamento	Potência hidráulica	400	60,00	65,40	57,23%	42,77%		
EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA		Eficiência de distribuição de água	Uniformidade de distribuição de água	326,91	102,61	21,12	13,82%	85,54%	21,12	36,86%
		Eficiência em potencial de aplicação de água	Evaporação e deriva com vento	382,17	102,61	6,82	4,46%	95,54%	27,94	34,96%
			Água bombeada e água disponível para a planta	326,91	102,61	27,94	18,27%	81,73%	27,94	34,96%
<b>SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL</b>			<b>326,91</b>	<b>60,00</b>	<b>53,45</b>	<b>65,04%</b>	<b>34,96%</b>	<b>99,45</b>		

## 6. Resultados e discussão

Considerando a estratificação da energia nos elementos do sistema de irrigação proposto neste trabalho foi possível verificar elevadas perdas na condição de projeto "A", bem como o elevado potencial para implementação de medidas de eficiência energética nos pivôs centrais de irrigação.

Na avaliação do fluxo energético para a situação "A" obteve-se, pelo indicador de eficiência proposto neste trabalho, a eficiência de 14,63% e, na situação "B", após a implementação de medidas de eficiência energética, a elevação do índice para 34,96%.

O índice de eficiência energética igual a 14,63% indica que, quando se objetiva que 90% da área obtenha a lâmina d'água projetada, o sistema "A" absorve da rede de energia 255,70 kW, associando 37,40 kW à potência útil do sistema e 218,31 kW às perdas de carga, rendimento do conjunto motor-bomba, tecnologia dos aspersores, evaporação e deriva pelo vento e percolação profunda.

Por outro lado, implementando-se medidas de eficiência energética como aumento do diâmetro da tubulação de adução e de parte da linha lateral, substituição do motor e bomba por equipamentos mais eficientes e trocando-se os aspersores por emissores de menor pressão de trabalho e melhor distribuição de água, obteve-se uma elevação do índice de eficiência energética do pivô para 34,96%.

Esta avaliação comprova o potencial para implementação de medidas de eficiência energética, pois a nova condição de projeto propiciou a redução da potência elétrica de entrada para 152,90 kW e aumento da potência relativa ao trabalho útil para 53,45 kW, ou seja, uma redução de 99,45 kW da energia dissipada no sistema.

Em outra análise, considerando que a potência útil da situação "A" represente o trabalho necessário para satisfazer a demanda hídrica da cultura (37,4 kW), as medidas de eficiência energética implementadas levam a necessidade de 106,98 kW de potência de entrada para a situação "B" (eficiência de 34,96%). Sob este aspecto, a eficiência energética propicia a redução de 148,7 kW, ou ainda, 58,2% da potência elétrica de entrada inicial.

## 7. CONCLUSÃO

Considerando a ampla utilização dos sistemas de irrigação por pivô central, bem como seu elevado potencial para implementação de medidas de eficiência energética, verificou-se a necessidade da avaliação destes sistemas quanto ao uso integrado de energia e água.

Através da avaliação proposta foi possível se determinar a energia elétrica e os indicadores de eficiência energética associados à tecnologia do aspersor, a linha lateral e reguladores de pressão, à adutora, às perdas de carga localizadas, bem como associados ao equipamento de irrigação completo.

Fixando-se uma área adequadamente irrigada com o valor de 90 %, por exemplo, através da avaliação da Eficiência de Aplicação de Água foi possível associar energia elétrica e indicadores de eficiência energética ao aproveitamento da água bombeada, ou seja, armazenada na zona radicular da planta.

As eficiências energéticas obtidas nos sistemas de irrigação analisados (14,63% e 34,96%) reafirmam a necessidade do controle de projeto e manutenção nestes equipamentos, de forma a auxiliar o agricultor na escolha e monitoramento de seu sistema, bem como estimular o desenvolvimento de projetos e equipamentos mais eficientes. Assim, sistemas de irrigação mais eficientes possibilitam o aumento dos lucros do agricultor, a redução da necessidade de ampliação da oferta de energia e a redução do desperdício de água, propiciando importantes benefícios ao meio ambiente.

## 8. Palavras chaves

Pivô central de irrigação, eficiência energética; avaliação, ensaio

## 9. Referências

- [1] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14244 - Equipamento de irrigação mecanizada – Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos – Determinação da uniformidade de distribuição de água.** dez, 1998. 11 p
- [2] BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação.** 7ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 611p.
- [3] CHRISTOFIDIS, Demétrios. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos.** ITEM (Irrigação & Tecnologia Moderna); nº 54 – 2º trimestre 2002; pag. 46-55.
- [4] COLOMBO, Alberto. Pivô central. **IRRIGAÇÃO: Engenharia Agrícola Irrigação.** Editores: Jarbas Honório de Miranda, Regina Célia de Matos. Piracicaba: FUNEP. 2003. SBEA. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. Volume 2. pag. 209-258.
- [5] CUENCA, Richard H. **Irrigation System Design: An engineering approach.** New Jersey. 1989. 547 p.
- [6] LIMA, Aureo Cezar de. **Desenvolvimento de indicadores de eficiência energética para sistemas de irrigação por pivô central: Estudo de caso no Assentamento Itamarati – Ponta Porã - MS.** Qualificação de doutoramento, Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU; 165 pag.; 2005.
- [7] OLIVEIRA, Aureo Silva de; PEREIRA, Francisco Adriano de Carvalho; PAZ, Vital Pedro da Silva; SANTOS, Carlos Amilton. **Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia.** Revista: Irriga, Botucatu, v.9, nº 2, p. 126 – 135, maio-ago, 2004.
- [8] PESSOA, Paulo César Silveira. **Otimização hidráulica e energética de sistemas de irrigação em olericultura.** Disponível em: [www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/otimizacaohidraulica.doc](http://www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/otimizacaohidraulica.doc). Acessado em: 26 jan. 2005.