



ESTUDO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO ANALISANDO O ÍNDICE ENERGIA-PRODUTIVIDADE

Jhonnathan Gomes Ferreira Faustino*¹, Lucas Silva Moura¹, Caique Melo Bontempo¹, Antônio Marcos De Melo Medeiros¹, Fabricia Neres Borges¹, Bruno Quirino de Oliveira¹

¹PUC - Goiás –Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Resumo - Este trabalho científico visa descrever o estudo de um sistema de irrigação a Pivô Central com a aplicação de um sistema de controle, analisando a eficiência energética, a partir da aplicação de equipamentos com alto nível de tecnologia, como inversor de frequência, com objetivo de proporcionar a redução no consumo de energia elétrica, atingindo o ponto ótimo de produtividade.

Palavras-chave - Eficiência Energética, Inversor de Frequência, Irrigação, Pivô Central, Irrigação, Produtividade.

STUDY OF AN AUTOMATED IRRIGATION SYSTEM BY ANALYSING THE ENERGY-PRODUCTIVITY INDEX

Abstract - This article describes the study of a center pivot irrigation system using a control system, analyzing the energy efficiency from the application of high-technology equipments, such as variable-frequency drive, in order to reduce the energy consumption and reaching the optimum point of productivity.

Keywords – Center Pivot, Energy Efficiency, Irrigation, Variable-Frequency Drive, Productivity.

I. INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia traz à tona a necessidade da otimização de recursos, bem como sua aplicação em diferentes segmentos de interesse social. Considerando a crescente demanda de alimentos por uma população mundial cada vez mais seletiva, que busca produtos de qualidade superior para seu consumo, se faz necessário o uso da técnica de irrigação, visando aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos.

A história da irrigação se confunde com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos. As civilizações antigas se desenvolveram em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação [1].

Com cerca de 20 mil pivôs centrais irrigando uma área de 1,275 milhão de hectares, o Brasil está entre os dez

países com maior área irrigada no planeta. Mesmo assim, o

País tem potencial para aumentar em cinco vezes as lavouras com essa tecnologia de irrigação, Tabela 1. Foi o que mostrou estudo feito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). O estudo revelou um aumento de 43% no uso de pivôs entre 2006 e 2014. Segundo a Embrapa, existe uma forte concentração na adoção de pivôs: os 100 maiores municípios concentram 70% da área total brasileira irrigada. O levantamento foi realizado por meio de imagens de satélite em todo o território nacional. Foram identificados pivôs em 22 unidades da federação, todavia 80% da área irrigada encontram em quatro estados: Minas Gerais, Goiás, Bahia e São Paulo. O estudo também registrou uma forte expansão da atividade nos últimos anos em Mato Grosso e Rio Grande do Sul [2].

Tabela 1: Variação da área irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 2013 e 2014 [3].

Unidades da Federação (UF)	Número relativo de pivôs centrais (%)	Área relativa irrigada por pivôs centrais (%)
Minas Gerais	31,74	31,70
São Paulo	14,06	20,20
Goiás	18,28	16,65
Bahia	15,76	15,05
Rio Grande do Sul	5,95	5,58
Mato Grosso	6,26	3,33
Outras 16 UFs	7,49	7,95

O objetivo deste artigo é a aplicação de um sistema de controle na agricultura, no processo de irrigação por pivô central, buscando obter índices de redução no consumo de energia elétrica, por meio do uso de um inversor de frequência, juntamente com transmissores de pressão para controlar a velocidade de rotação do sistema motor-bomba que permite uma redução no consumo de energia, fazendo uma análise do impacto da redução desse custo da energia elétrica sobre o custo da produção.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema de irrigação do tipo pivô central se encontra entre os mais utilizados (Figura 1). O gasto com energia elétrica e água são os fatores mais significantes na

*jhon_pba@hotmail.com

composição dos custos. O pivô central é um método de irrigação por aspersão móvel com alto grau de automatização [4]. Consiste numa tubulação com vários aspersores espaçados regularmente, suspensa acima da cultura mediante o apoio sobre torres, que possuem rodas e são movidas por um motor e outros dispositivos que permitem que o equipamento se movimente enquanto irriga o terreno. O pivô central é um sistema constituído por uma linha lateral móvel, girando em torno de um ponto fixo (Figura 2), que irriga uma área circular. Emissores instalados ao longo da linha lateral móvel são responsáveis pela distribuição da água na área irrigada [5].

Figura 1: Pivô central. Fonte: própria.

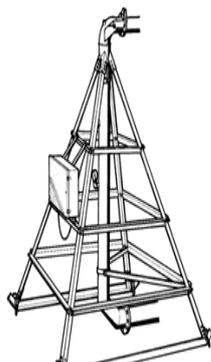


Dessa forma, a velocidade de deslocamento dos emissores aumenta do centro para as laterais da área irrigada. O aumento da velocidade tangencial de deslocamento dos emissores reduz o tempo disponível para aplicação da água fazendo com que a intensidade de precipitação proporcionada também aumente.

Têm-se a velocidade de rotação da lateral móvel controlada que comanda a velocidade dos pivôs nas torres em áreas com menor altura manométrica. Uma unidade de bombeamento é instalada junto ao ponto de captação de água para o pivô central e uma adutora é utilizada para conduzir a água bombeada até o ponto fixo, localizado no centro da área irrigada. A demanda de potência para acionamento da unidade de bombeamento será menor quando o pivô estiver irrigando a faixa de menor requisito de altura manométrica e a demanda de potência será máxima quando o pivô estiver irrigando a posição correspondente à maior altura manométrica [6].

Uma torre central junto ao pivô será localizada no centro da área circular irrigada. Sua forma é piramidal de base quadrada, sendo a sua estrutura construída normalmente de aço e zinco (Figura 2).

Figura 2: Torre central do pivô [7].



Alocado à torre teremos a caixa de controle que é onde está localizado o comando que usará a informação de pressão vindo dos transmissores. Estará montada na torre central como um pequeno armário resistente às condições climáticas.

Os transdutores de pressão transmitem informações de irrigação para um rádio receptor que é convertido no controlador lógico programável (CLP) em um sinal digital e assim irá controlar a rotação do sistema de bombas feita pelos motores elétricos.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de controle desenvolvido utiliza a informação de pressão de dois transmissores, situados na torre central do pivô e no último aspersor, onde se encontra o pior caso. O controle consiste na variação de rotação do motor de acordo com a pressão medida pelos transmissores. Os transdutores de pressão transmitem os dados obtidos para um rádio transmissor por meio de um sinal analógico de corrente em miliamperes (4 a 20mA). Esse sinal é transmitido para um rádio receptor que está situado no painel de controle dos motores. Esse sinal é então convertido pelo CLP para um sinal digital, que é transmitido para um inversor de frequência, o qual irá controlar a rotação do sistema motor-bomba de acordo com os dados obtidos. O inversor de frequência deve controlar a velocidade de rotação do motor de modo que a pressão do último aspersor seja a mais próxima possível da pressão nominal estipulada pelo estudo, gerando uma economia de energia nos pontos de menor altura manométrica, além de manter regular a lâmina de água ao longo de toda a área irrigada.

Para a proteção e acionamento do sistema de bombas, foi utilizado um painel de controle de motores, onde estão situados os componentes utilizados no controle do sistema, como inversor de frequência, CLP, rádio receptor, além de suas proteções, como disjuntores, dispositivos contra surto, chaves seccionadoras fusíveis, entre outros.

Para evitar problemas na irrigação em caso de possíveis falhas, foram utilizados contatores e uma chave comutadora de três posições para alternar o sistema entre automático e manual, sendo esse último a irrigação sem controle.

Para o estudo de eficiência energética, foi considerado um pivô da Fazenda Lago Azul, situada no município de Paracatu, Minas Gerais. O pivô é da marca Valley, modelo 6000 2LM 7LL, apresenta 9 torres e tem uma área irrigada de 80,2 hectares. Um estudo foi realizado para o dimensionamento correto do sistema motor-bomba. O sistema é composto por dois motores elétricos em série com potência, dada em cavalo-vapor, de 75cv, totalizando um sistema de 150cv. Os motores são da marca WEG, trifásicos e com rotação, em rotações por minuto, de 1770 rpm (Figura 3). Foram utilizados também, duas bombas MegaNorm 125-315 da marca KSB.

Os materiais utilizados para a implementação do sistema de controle, bem como sua proteção, podem ser verificados na Tabela 2, que foram financiados pelo proprietário da Fazenda Lago Azul.

Figura 3: Sistema motor-bomba em série. Fonte: própria.



Tabela 2: Lista de materiais. Fonte: própria.

Qtd.	Descrição	Marca
1	Chave comutadora OT123F3C	ABB
1	Chave seccionadora XLP00, 3 polos 160A	ABB
1	CLP	-
4	Contator de força AX115-30	ABB
4	DPS OVR T2 20 275, tipo 2, 20kA	ABB
1	Inversor ACS550 55kW 125A trifásico 380V	ABB
11	Mínidisorjuntor linha SH200, 3kA, curva C	ABB
1	Multimedidor NEXUS II	ABB
2	Transmissor de pressão NP-300	NOVUS
2	Rádio modem transmissor	ABS

IV. ESTIMAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA

O procedimento adotado para a obtenção do potencial de economia de energia elétrica na irrigação com pivô central tem como princípio a comparação entre um sistema automático, onde a velocidade do sistema motor-bomba é controlado a partir dos dados de pressão obtidos e um sistema sem controle onde a rotação do sistema motor-bomba é constante.

Para calcular a economia do potencial de energia utilizado pelo sistema, é necessário calcular a altura manométrica do sistema e as perdas de carga da tubulação, além de plotar a curva característica do sistema motor-bomba controlado. Sendo assim, é possível calcular a nova potência consumida pelo conjunto motor-bomba.

Para calcular a altura manométrica do sistema, foi utilizado a Equação 1 de Hazen-Williams:

$$H_s = H_G + KQ^{1.852} \quad (1)$$

Onde:

- H_s – Altura manométrica do sistema (mca);
- H_G – Altura geométrica (mca);
- K – Fator K;
- Q – Vazão (m³/s);

As perdas de cargas acidentais foram calculadas utilizando a Equação 2 de Darcy-Weisbach:

$$KQ^2 = f \frac{L}{D} \frac{16Q^2}{2\pi^2 g D^4} \quad (2)$$

Onde:

- f – Fator de atrito de Darcy-Weisbach;
- L – Comprimento do tubo (m);

- D – Diâmetro interno no tubo (m);
- g – Aceleração da gravidade local (m/s²);

As curvas características das bombas centrífugas relacionam a vazão recalçada com a altura manométrica, com a potência absorvida, com o rendimento e, às vezes com a altura máxima de sucção. Pode-se dizer que as curvas características constituem-se no retrato do funcionamento das bombas em diversas situações. Estas curvas são obtidas nas bancadas de ensaio dos fabricantes ou em laboratórios[7]. A mais comum é a Equação 3:

$$H_{\text{bomba}} = f(Q) \quad (3)$$

A curva da bomba pode ser representada por um polinômio de terceira ordem Equação 4:

$$H_{\text{bomba}} = d + cQ + bQ^2 + aQ^3 \quad (4)$$

Sob condições de rotação normal, iguala-se os polinômios, Equação 5:

$$H_{\text{sistema}} = H_{\text{bomba}} \quad (5)$$

Determinando as raízes da equação, obtém-se a vazão do ponto de operação e, conseqüentemente, a pressão de operação.

A potência consumida pelo conjunto motor-bomba pode ser calculada pela Equação 6:

$$P_{\text{motor}} = \frac{\gamma QH}{1000\eta_{\text{bomba}}\eta_{\text{motor}}} \quad (6)$$

Onde:

- P – Potência (kW)
- γ – Peso específico da água (N/m³);
- Q – Vazão (m³/s);
- H – Altura manométrica (mca);
- η – Rendimento;

Considerando a vazão constante, o rendimento das bombas também será constante. Sendo assim, podemos observar que a economia do potencial de energia depende da diferença de pressão de diferentes pontos do sistema de irrigação, Equação 7:

$$P_{\text{ECON}} = \frac{Q_2(H_1 - H_2)\gamma}{1000\eta} \quad (7)$$

A energia economizada pode ser calculada multiplicando a potência economizada pelo tempo de operação, Equação 8:

$$E_{\text{ECON}} = \frac{Q_2(H_1 - H_2)\gamma}{1000\eta} t \quad (8)$$

Onde:

- t – Tempo de operação (h);
- E – Energia economizada (kWh);

Foi feita uma simulação para estimar o potencial de energia para o sistema controlado para o pivô em questão. Para isso, foi utilizado um *software* “Estimativa de Economia em Sistema de irrigação por Pivô Central” [7] para calcular a

redução desse potencial, onde foram inseridos os dados do pivô, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Dados do pivô. Fonte: própria.

Pressão no extremo do pivô (mca)	13
Desnível do ponto central ao ponto mais alto (mca)	11
Perdas no pivô (mca)	21
Alturas dos aspersores (mca)	3
Desnível da moto bomba ao centro do pivô (mca)	22
Perda na tubulação adutora (mca)	19,25
Altura de sucção (mca)	1,4
Perdas diversas (mca)	2
Vazão (m ³ /h)	295
Rendimento da bomba (%)	76,6

Após o preenchimento dos dados do pivô, é necessário preencher os dados referentes às bombas. Os dados necessários para o cálculo podem ser verificados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados das bombas. Fonte: própria.

Marca	KSB
Modelo	MegaNorm 125-315
N-de-estágios	2
Diâmetro dos rotores (mm)	321
Vazão prevista (m ³ /h)	295
Pressão prevista (mca)	87
Rendimento (%)	76,6
Rotação (rpm)	1770
Número de conjunto motor-bomba	2

Por fim, é necessário apresentar pontos de vazão e pressão das bombas, que podem ser verificados na curva das bombas (Figura 4), fornecidas pelo fabricante. Os pontos apresentados podem ser verificados na Tabela 5.

Figura 4: Gráfico da curva das bombas KSB MegaNorm 1750rpm [8].

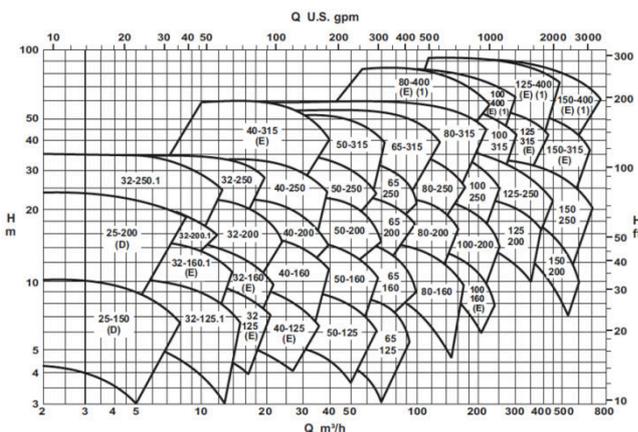


Tabela 5: Pontos de vazão e pressão das bombas. Fonte: própria.

Pontos	Vazão (m ³ /h)	Pressão (mca)
P1	0	53
P2	120	52
P3	210	50
P4	260	48
P5	300	46
P6	330	44

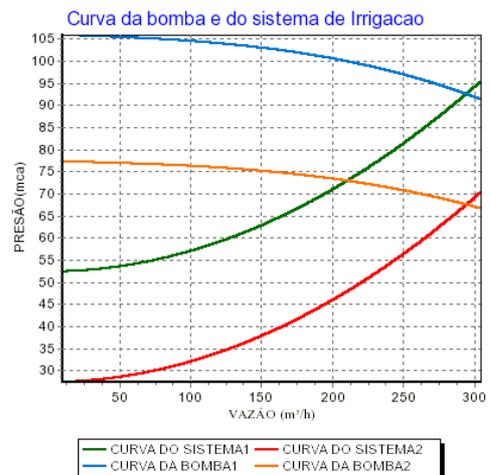
Com todos os dados necessários, o software é capaz de calcular a equação da bomba, a pressão total necessária, a nova rotação e a economia de energia ao utilizar o sistema de controle, além de plotar um gráfico (Figura 5) do sistema com e sem controle para uma comparação. Todos esses dados são salvos em um arquivo formato txt. Os resultados apresentados pelo *software* [7] podem ser verificados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados obtidos. Fonte: própria.

Pressão total (mca)	92,65
Fator K	0,000462510772766446
Desnível PC ao PA=1	52,4
Desnível PC ao PA=0	27,4
Nova rotação (rpm)	1512,11
Economia de energia (%)	27,02

É possível verificar nos resultados obtidos (Tabela 3) e no gráfico comparativo (Figura 5) a economia de energia elétrica do sistema controlado. No pivô em questão, é possível economizar até 27,02% de energia elétrica utilizando o sistema automatizado de controle do sistema motor-bomba.

Figura 5: Gráfico da curva da bomba e do sistema de irrigação com e sem controle. Fonte: própria.



No gráfico gerado (Figura 5), é possível verificar uma redução de aproximadamente 25 mca de pressão necessária para manter a vazão, em metros cúbicos por hora, de 295 m³ h⁻¹ no ponto de menor altura manométrica. Essa redução de pressão é responsável pela redução do consumo de energia elétrica, uma vez que a rotação do motor é alterada.

V. METODOLOGIA DO RETORNO FINANCEIRO

A metodologia utilizada para o cálculo do retorno financeiro segue a orientação do Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [9].

Os parâmetros utilizados no cálculo do retorno financeiro foram a energia economizada (kWh/ano), a demanda retirada (kW), o preço do projeto e a depreciação.

A avaliação econômica do projeto será feita por meio de cálculos da relação custo-benefício (RCB), sendo calculado da seguinte Equação 9:

$$RCB = \frac{\text{custos atualizados}}{\text{benefícios atualizados}} \quad (9)$$

Para calcular o custo atualizado do projeto, é necessário calcular a depreciação do mesmo, utilizando a taxa SELIC anual, Equação 10:

$$K = FRC \times CT \quad (10)$$

Onde:

K – Investimento atualizado do projeto (R\$);

FRC – Fator de recuperação de capital;

CT – Custo total do projeto (R\$);

O FRC pode ser chamado também de depreciação e pode ser calculado como, Equação 11:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

Onde,

i – Taxa de juros (taxa de descontos em decimal);

n – Vida útil em anos;

Calculado o fator de recuperação de capital, é possível, então, calcular o valor total atualizado do projeto, Equação 12:

$$CA = CT + K + MO \quad (12)$$

Onde:

CA – Custo total atualizado (R\$);

MO – mão-de-obra (R\$);

Após o cálculo do custo totalizado, foi necessário o cálculo dos benefícios atualizados, que se baseia na energia economizada e na demanda reduzida, Equação 13:

$$Y = (EE_{hp} \times CE_{hp}) + (EE_{hfp} \times CE_{hfp}) + (EE_{hr} \times CE_{hr}) + (DR \times CD) \quad (13)$$

Onde:

Y – Benefícios atualizados (R\$);

EE – Energia economizada (kWh/ano);

CE – Custo de energia (R\$/kWh);

DR – Demanda reduzida (kW);

CD – Custo de demanda (R\$/kW);

hp – Horário de ponta;

hfp – Horário fora de ponta;

hr – Horário reduzido;

Quando a relação custo-benefício for menor que a unidade, o projeto torna-se economicamente viável, Equação 14:

$$RCB = \frac{K}{Y} < 1 \quad (14)$$

VI. CÁLCULO DO RETORNO FINANCEIRO

Usando a metodologia apresentada acima, o cálculo foi realizado de acordo com a taxa SELIC atualizada[10], de

6,65% ao ano. O custo do projeto foi estimado em R\$42.000,00, de acordo com o mercado, com uma vida útil de 15 anos e o custo de mão-de-obra para manutenção de R\$4.000,00.

Com esses dados, obtemos o custo total atualizado do projeto, de R\$50.509,96. Esse valor será utilizado para calcular o custo-benefício mais adiante.

Utilizando as faturas de energia elétrica do pivô nos meses de janeiro a agosto de 2017 (Figura 6), foi possível calcular a energia economizada ao ano e a redução da demanda.

Ainda utilizando as faturas de energia elétrica, foi calculado os custos da energia evitada e da demanda reduzida.

Figura 6: Histórico de consumo do último ano (fatura de energia elétrica de agosto de 2017). Fonte: própria.

Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		
	HP	HFP	HP	HFP	HR
JUL/17	1	117	0	2.952	20.008
JUN/17	17	116	82	1.148	8.282
MAI/17	0	0	82	3.198	19.188
ABR/17	53	121	82	2.706	16.400
MAR/17	76	117	82	2.542	15.990
FEV/17	55	115	0	410	2.214
JAN/17	117	117	328	1.394	2.624
DEZ/16	0	0	0	0	0
NOV/16	0	0	0	0	0
OUT/16	0	0	0	1.886	13.940
SET/16	0	0	0	1.722	12.874
AGO/16	0	0	0	1.640	12.136

Vale destacar que por ser uma propriedade rural e irrigante noturno, o pivô recebe descontos de acordo com a resolução da ANEEL[11]. A unidade consumidora recebe um desconto rural de 20% e um desconto de irrigante noturno de 70%, além de utilizar a maior parte da sua energia ativa em horário noturno ou reduzido (21h30 às 6h).

A economia de energia anual calculada no horário de ponta foi de 199,26kWh, no horário fora de ponta de 5734,26kWh e no horário reduzido de 36353,88kWh. Já a demanda reduzida foi de 324,81kW. As tarifas utilizadas para o cálculo do custo da energia evitada foram de R\$1,48 por kWh no horário de ponta, R\$0,28 por kWh (já com o desconto rural de 20%) no horário fora de ponta e R\$0,10 por kWh (já com o desconto de irrigante noturno, de 70%) no horário reduzido. Para o cálculo do custo evitado de demanda, foi utilizada a tarifa de R\$13,13 por kW. Todas as tarifas utilizadas foram retiradas das faturas de energia elétrica da unidade consumidora, fixado pela Companhia Elétrica de Minas Gerais (CEMIG)[12].

Os benefícios por fim foram calculados utilizando as equações e dados apresentados, resultando num total de economia de R\$9.800,63 por ano. A relação custo-benefício foi de 5,15, apontando um retorno financeiro de, aproximadamente, 5 anos e 2 meses.

VII. ÍNDICE ENERGIA-PRODUTIVIDADE

A metodologia utilizada para o cálculo do índice energia-produtividade se baseia na energia utilizada para a irrigação da safra em relação à quantidade de sacas produzidas e o

preço da saca na época. Pode ser melhor exemplificada pela equação:

$$IEP = \frac{CE}{(Pd \times Ha) \times Ps} \quad (15)$$

Onde,

IEP – Índice energia-productividade;
CE – Custo de energia utilizada (R\$)
Pd – Produção (sacas por hectares);
Ha – Hectares colhidos;
Ps – Preço da saca (R\$);

O índice energia-productividade indica a porcentagem do valor da produção gasto em energia elétrica. O índice energia-productividade é inversamente proporcional ao lucro obtido pelo produtor rural, ou seja, quanto menor o índice, melhor para o produtor.

Com uma área irrigada de 80,2 hectares e uma produção de 34 sacas (60kg) por hectare, foi utilizado o valor de R\$65,77[13] por saca referente à cotação estadual (Minas Gerais) no mês de novembro de 2017. Foi possível, então, calcular o valor de R\$179.341,64 de produtividade.

Utilizando dados das faturas de energia elétrica do pivô dos meses de junho a outubro de 2017 (período plantado), foi possível calcular um gasto de R\$18.174,97 referente à energia elétrica utilizada.

Utilizando a equação 15 com os dados acima citados, foi possível calcular um índice energia-productividade de 10,13. Podemos dizer, então, que 10,13% do preço da soja produzida é de energia elétrica utilizada na irrigação sem o sistema de controle.

Utilizando o sistema de controle, encontramos, no item IV desse trabalho, uma economia de 27,02% de energia elétrica. O que gera uma economia de R\$4.907,24 no custo da produção desse período. Utilizando a mesma produção e o custo de energia elétrica já reduzida, obtemos um índice de energia-productividade de 7,40% com a utilização do sistema de controle de irrigação.

VIII. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi de estudar o caso do pivô central da fazenda Lago Azul, no município de Paracatu-MG e determinar a porcentagem de economia elétrica com a implementação de um sistema de controle. Por meio de estudos e cálculos, foi possível observar uma economia elétrica de, aproximadamente, 27% para o pivô com um desnível médio da área irrigada de 11m.

Na análise econômica, foi verificado um retorno financeiro para o produtor de, aproximadamente, 5 anos, com uma economia anual de R\$9.800,00.

Analisando o índice energia-productividade, foi possível verificar uma queda de 2,73 pontos, o que significa que 2,73% do custo da produção foram convertidos em lucro para o produtor, sendo assim, possibilitando planos de implementação por parte do proprietário.

Na parte social, tanto o produtor como a concessionária e os cidadãos apresentariam ganhos, uma vez que o produtor obteria uma redução de custo, enquanto a concessionária poderia destinar a demanda economizada (324,81kW) para unidades consumidores residenciais. Considerando um consumo mensal de 200kWh/mês nessas unidades

consumidoras, seria possível suprir aproximadamente 18 residências com a economia de 42.287,4kWh/ano proveniente da economia elétrica do sistema.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bernardo S., Soares A. A., Mantovani E. C., *Manual de Irrigação*, 8 ed., editora UFV, Viçosa-MG, 2008, 625p.
- [2] Brito S., *Brasil está entre os países com maior área irrigada do mundo*. Notícias, Manejo de Recursos Hídricos, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, Maio 2006. Acedido em Outubro de 2017, em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/busca-de-noticias/-/noticia/12990229/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-irrigada-do-mundo>.
- [3] Landau E., Guimarães D. P., Souza D. L., *Variação da área irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 2013 e 2014*, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, 2015.
- [4] Altoé M. A. C., *Sistema Automatizado de Irrigação para Cultura Específicas*, Trabalho de conclusão de curso, Engenharia da Computação, UniCEUB, Brasília-DF, Junho 2012.
- [5] Moraes M. J., Filho D. O., Mantovani E. C., Monteiro P. M. B., Mendes A. L. C., Damião J. H. A. C., “Automação em Sistema de Irrigação Tipo Pivô Central para Economia de Energia Elétrica”, *revista Engenharia Agrícola*, v.34, n.6, Jaboticabal-SP, n°3, Novembro 2016.
- [6] Campana S., Oliveira Filho D. O., Soares A. A., *Adequação de Força Motriz em Sistemas de Irrigação por Aspersão Convencional e Pivô Central*, 3º Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas-SP, 2000. Acedido em Outubro de 2017, em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022000000200030&script=sci_arttext.
- [7] Medeiros A. M. M., *Potencial de Economia de Energia Elétrica em Sistemas de Irrigação a Pivô Central com Uso de Inversor de Frequência no Estado de Goiás*, Dissertação de Mestrado, Coordenação Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e Computação, UFG, Goiânia-GO, 2005.
- [8] KSB, *Folheto de Curvas Características*, Megnorm, Frankenthal, Julho de 2013.
- [9] ANEEL, *Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética*, Brasília-DF, 2008.
- [10] Banco Central do Brasil, Taxa SELIC. Acedido em 13 de Março de 2018, em: www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp.
- [11] ANEEL, Resolução normativa n° 414, Seção XI – Do Desconto ao Irrigante e ao Aquicultor, Brasília, 9 de Setembro de 2010.
- [12] CEMIG, Valores de Tarifa e Serviços. Acedido em 13 de Março de 2018, em: http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx.
- [13] AGROLINK, Histórico de Cotações de Soja em Grão Saca 60kg em MG, Cotações, Grãos, Soja. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/historico/mg/soja-em-grao-sc-60kg>. Acesso: Maio de 2018.