

## VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA DA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL

Cristian Epifanio Toledo<sup>1</sup>, Luis Rodrigues Pires Neto<sup>2</sup>, Thályta Lharyssa Gonçalves Rodrigues Silva<sup>3</sup>, João Carlos Mohn Nogueira<sup>4</sup>

### RESUMO

Um sistema de irrigação com dimensionamento otimizado minimiza os custos de implantação e operacional. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade econômica-financeira da otimização de dois sistemas de irrigação tipo pivôs centrais, comparando as características do dimensionamento existente com a simulação de um dimensionamento otimizado. O trabalho avaliou dois pivôs centrais com mais de 15 anos de instalação. A viabilidade foi realizada com base no tempo de retorno do investimento, e aceita caso o retorno sobre investimento (do inglês *Return on Investment* – ROI) máximo seja 4 anos. Os resultados demonstraram que com a otimização, a potência necessária na motobomba dos pivôs I e II passariam de 200 cv e 150 cv existentes para 90 cv, em ambos sistemas. No pivô I com a substituição de todo o sistema, o ROI variou de 6,07 a 8,78 anos e quando proposto manter a linha lateral, o ROI caiu para 1,82 a 2,71 anos. O pivô II, apenas a tubulação adutora e a motobomba tiveram sugestão de substituição resultando no ROI variando de 2,38 a 3,51 anos. Ambos os pivôs centrais possuem um superdimensionamento, sendo o pivô I mais distante do ideal. Contudo, ambos os pivôs demonstram viabilidade econômica e financeira para sua otimização, com base na substituição parcial do sistema promovendo a redução do custo com energia elétrica.

**Palavras-chave:** dimensionamento, tempo de retorno, energia elétrica.

## ECONOMIC AND FINANCIAL VIABILITY OF THE OPTIMIZATION OF IRRIGATION SYSTEMS PIVOT-CENTRAL TYPE

### ABSTRACT

An optimally scaled irrigation system minimizes deployment and operational costs. The objective of this work was to evaluate the economic and financial viability of the optimization of two central pivot irrigation systems, comparing the characteristics of the existing design with the simulation of an

<sup>1</sup> Docente do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Palmeiras de Goiás, Rua 7, s/n, Palmeiras de Goiás - GO, CEP 76190-000. E-mail: cristian.toledo@ueg.br;

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Rua 7, s/n, Palmeiras de Goiás - GO, CEP 76190-000. E-mail: luiznetoagro@gmail.com;

<sup>3</sup> Docente do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Palmeiras de Goiás, Rua 7, s/n, Palmeiras de Goiás - GO, CEP 76190-000. E-mail: lharyssa99@gmail.com;

<sup>4</sup> Docente do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Palmeiras de Goiás, Rua 7, s/n, Palmeiras de Goiás - GO, CEP 76190-000. E-mail: jcmnogueira1@hotmail.com.

optimized design. The work evaluated two central pivots with more than 15 years of installation. Feasibility was based on the return on investment time, and accepted if the maximum return on investment (ROI) is 4 years. The results showed that with the optimization, the power required in the motor pump of the pivots I and II would go from 197,2 hp and 147,9 hp to 88,7 hp in both systems. At pivot I with the replacement of the entire system, the ROI ranged from 6.07 to 8.78 years and when proposed to maintain the lateral line, the ROI fell to 1.82 to 2.71 years. The pivot II, only the piping and the motor pump had a suggestion of replacement resulting in ROI ranging from 2.38 to 3.51 years. Both central pivots have an oversize, with pivot I being farthest from the ideal. However, both pivots show economic and financial feasibility for their optimization, based on the partial substitution of the system promoting the reduction of the cost with electric energy.

**Keywords:** sizing, payback, electricity.

## INTRODUÇÃO

No dimensionamento otimizado ou econômico o objetivo é determinar um sistema de irrigação que minimize os custos de implantação e operacional, sempre levando em consideração as diretrizes da hidráulica. Na análise econômica, o dimensionamento da tubulação é determinado considerando, a velocidade de escoamento, a vazão, a perda de carga, bem como, o consumo de energia operacional e os custos de investimento, buscando sempre o diâmetro que proporcionam o menor custo total (PEREIRA et al., 2015a; SILVA et al., 2015; GEISENHOFF et al., 2018).

A escolha de tubulação com maiores diâmetros resulta em menor perda de carga e, conseqüentemente, requer menos energia para o bombeamento de uma determinada vazão. Contudo, quanto maior o tubo, mais caro é o mesmo, o que aumenta os custos de instalação. Por outro lado, a escolha de um tubo de menor diâmetro, que custam menos, proporcionam maiores perda de carga para uma mesma vazão, requerendo um sistema de bombeamento também maior e que consome mais energia (BERNARDO et al., 2006; CARVALHO e OLIVEIRA, 2008).

O custo com energia é uma das variáveis mais importantes na agricultura irrigada, principalmente em épocas de crise energética e com constantes reajustes das tarifas (BOYER et al., 2014; BARBOSA et al., 2018). Moraes et al. (2014) em um estudo de automação com uso de inversores de frequência em sistema de bombeamento em pivô central, observaram

uma economia no gasto com energia elétrica entre 18% e 52%. Já Alves Júnior et al. (2017) verificaram que em média 7,2% do custo de produção da soja, milho e tomate, são com energia para realizar as irrigações em sistemas com dimensionamento otimizado.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade, tanto econômica quanto financeira da otimização de dois sistemas de irrigação tipo pivôs centrais, comparando as características do dimensionamento existente com a simulação de um dimensionamento otimizado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado, durante o ano de 2018, em dois sistemas de irrigação do tipo pivô central, instalados em propriedades distintas do município de Palmeiras de Goiás – GO. As propriedades escolhidas para realização do trabalho apresentam como principal função o cultivo irrigado de grandes culturas, via aspersão utilizando pivô central, de forma complementar ou total. Os sistemas analisados foram denominados como pivô I e pivô II e sua localização não foi informada resguardando assim a identidade e privacidade dos proprietários.

A caracterização dos equipamentos, ou seja, a verificação do dimensionamento existente foi realizada no ano de 2018, obtendo informações gerais do pivô central, como da linha lateral, tubulação de recalque e sucção, conjunto motobomba e topografia do terreno (cotas), conforme um check list, pré-

determinado. Junto com o *checklist* foi realizado um teste de uniformidade baseado nas normas da NBR 14244 da ABNT (1998), com o intuito de obter informações sobre a lâmina aplicada e a velocidade de deslocamento do equipamento com o percentímetro a 100% (TOLEDO et al., 2017).

Com o *checklist* e o teste de uniformidade obteve-se informações como vazão do sistema, diâmetro da tubulação e a pressão na tubulação nos diferentes segmentos do sistema (linha lateral, recalque e sucção), a perda de carga e o desnível do terreno entre os segmentos do sistema, a altura manométrica máxima e a potência do conjunto motobomba.

Para a otimização do dimensionamento dos pivôs foram realizadas simulações do diâmetro da tubulação da linha lateral e pressão da base do pivô, do diâmetro da tubulação de recalque e sucção e suas perdas de carga, a altura manométrica total (Hm), a potência do motor e, conseqüentemente, a potência requerida no eixo da bomba foram realizadas conforme descrição por Bernardo et al. (2006). A vazão adotada foi a vazão real obtida no teste de uniformidade dos equipamentos.

Alguns detalhes sobre o dimensionamento otimizado realizado para as simulações são destacados a seguir. A perda de carga da linha lateral, foi estimada considerando um fator de redução da perda de carga (F) igual a 0,548 (CHU; MOE, 1972). O fator F corrigiu a perda de carga, com base na distribuição da vazão ao longo da linha lateral, em função do número de saída na linha. Todas as perdas de carga do sistema foram calculadas pela fórmula de Hazen-Williams utilizando um coeficiente de Hazen-Williams empírico de 130 para aço zincado.

A determinação do diâmetro da tubulação de recalque foi determinada pela equação da continuidade, fixando a velocidade de escoamento dentro da tubulação em  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ .

O limite da velocidade econômica de escoamento em tubulação e custo de energia de bombeamento, deve ficar entre 1 e  $2 \text{ m s}^{-1}$ , proporcionando as menores perdas de carga, evita golpe de Aríete quando há interrupção do fluxo e proporcionam menores custo com tubulação (MANTOVANI et al., 2009; PERRONI et al., 2011).

A determinação do diâmetro da linha de sucção foi igual ao diâmetro comercial imediatamente superior ao da linha de recalque. A perda de carga localizada foi considerada igual a 5% das perdas de carga continua da linha lateral (BERNARDO et al., 2006; CARVALHO; OLIVEIRA, 2008). A potência consumida pelo conjunto motobomba foi dada em função da eficiência do motor, sendo a eficiência obtida em catálogo dos fabricantes conforme marca e modelo instalada em cada sistema avaliado.

A viabilidade econômica e financeira foi realizada com base no retorno sobre investimento (do inglês *Return on Investment – ROI*), também denominado como *payback*.

Na estimativa do ROI considerou-se o custo com a otimização parcial ou total do sistema de irrigação (aquisição e substituição de equipamento); a receita com a comercialização dos equipamentos substituídos, analisando três hipóteses: 30%, 20% e 0% do valor de um novo no mercado; e a economia de energia elétrica com a otimização (Equação 1 a 3)

$$ROI = (CS - Sc)/(CER - CEP) \quad (1)$$

$$CER = PM \times 0,75 \times TEE \times H_{irrig} \quad (2)$$

$$CEP = PM \times 0,75 \times TEE \times H_{irrig} \quad (3)$$

Em que:

ROI = Retorno sobre investimento (ano)  
 CS = Custo de substituição dos equipamentos - Otimização (R\$)  
 Sc = Receita com comercialização - Sucata (R\$)  
 CER = Custo de energia sistema instalado - real (R\$ ano<sup>-1</sup>)  
 CEP = Custo de energia do sistema otimizado (R\$ ano<sup>-1</sup>)  
 PM = Potencia de motor (cv)  
 Tee = Tarifa da energia elétrica (R\$ KW h<sup>-1</sup>)  
 H<sub>irrig</sub> = Horas de irrigação anual (horas).

Em todo tipo de investimento, o melhor será aquele que apresentar menor o período de recuperação. Investimentos de implantação de sistemas de irrigação demonstram que o tempo de retorno do investimento (*payback*) com a produção de alimento, em geral é entre quatro e

seis safras, ou seja, de 2 a 4 anos (PEREIRA et al., 2015b; REIS; REIS, 2016; ALVES JUNIOR et al., 2017). Desse modo, o ROI ou *payback* máximo para aceitar a viabilidade econômica e financeira da otimização foi fixado em 4 anos.

Os valores dos equipamentos para otimização, como tubulação e conjunto motobomba, foram obtidos através de cotações no mercado da região (Tabela 1). Já o valor da energia elétrica foi estimado para Rural Irrigante (B2) em 0,36 R\$ kW h<sup>-1</sup>, de acordo com a tabela de Tarifas, Taxas e Impostos, vigente no ano de 2018 da empresa Enel, fornecedora de energia para região de estudo. Para a quantidade de horas de irrigação foi utilizada a média anual de 1500 horas, baseada em Alves Junior et al. (2017), para atender a demanda de 3 ciclo produtivos por ano.

**Tabela 1.** Cotação dos constituintes do sistema de irrigação tipo pivô central obtido no mercado da região de Goiânia no ano de 2018.

Equipamento	Valores		
Motor (R\$ cv <sup>-1</sup> )	100,00		
Linha lateral do pivô (R\$ ha <sup>-1</sup> )	5.000,00		
Tubulação aço zincado (R\$ m <sup>-1</sup> )	200 mm	250 mm	300 mm
	59,83	94,84	158,40

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os pivôs centrais são de modelos e anos de instalações distintos (Tabela 2). O pivô I é do modelo *Asbrasil* instalado no ano de 1992 e o pivô II do modelo *Valley* instalado no ano 2000.

Os dois equipamentos demonstram desgastes na estrutura metálica, como presença de ferrugem causada principalmente pela idade e a constante exposição ao tempo. Contudo, não foi verificado problema com vazamentos e observou-se um bom nível de manutenção do equipamento.

**Tabela 2.** Dados do levantamento de campo dos dois sistemas de irrigação tipo pivô central, conforme *checklist* e teste de uniformidade.

Características	Pivô I	Pivô II
	Linha lateral	
Modelo	<i>Asbrasil</i>	<i>VALLEY</i>
Ano de instalação	1992	2000
Comprimento total (m)	424	481
Área (ha)	56,45	72,65
Pressão na torre (m.c.a)	40	45
Lâmina aplicada a 100% (mm)	4,2	4,0
Tempo de volta 100% (h)	9,5	14

VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA DA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL

Vazão do sistema (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	249,6	207,6
Linha Adutora		
Tipo de Material	Aço Galvanizado	Aço Galvanizado
Comprimento da adutora (m)	1050,0	750,0
Desnível da base do pivô a motobomba (m)	52,0	34,0
Diâmetro da sucção (m)	0,200	0,250
Distância do local de captação (m)	2,5	33,0
Desnível da motobomba a captação(m)	-9,0	4,0
Conjunto motobomba		
Marca da bomba	KSB-Múltipla	IMBIL
Modelo da bomba	125/400	00-7003
Diâmetro do rotor (mm)	362	360
Potência requerida pela bomba (cv)	100	100
Rotação requerida pela bomba (rpm)	1780	1785
Marca e modelo do motor	WEG/315SMO690	WEG/ TE280SM
Potência requerida no motor (cv)	200 CV	150 CV

Dentre as características dos pivôs centrais destaca-se a pressão na torre do pivô I de 40 m.c.a, sendo a área irrigada de 56,45 ha e o pivô II de 45 m.c.a, com a área total irrigada de 72,65 ha. As lâminas aplicadas nos pivôs I e II de 4,2 mm e 4,0 mm, respectivamente, o tempo de volta a 100% da velocidade de 9,5 horas e 14 horas, regendo uma vazão de 249,6 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> e 207,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os equipamentos apresentam tubulações de aço galvanizado ao longo de todo sistema de condução dos recursos hídricos.

O desnível da base do pivô ao conjunto motobomba do pivô I foi de 52,0 m e do pivô II de 34,0 m e o desnível do conjunto motobomba ao ponto de captação no reservatório de -9,0 m e 4,0 m, respectivamente. O desnível do terreno é uma das variáveis mais importante no dimensionamento de um sistema de irrigação, uma vez que influencia diretamente na altura manométrica do sistema e, conseqüentemente, na potência do conjunto motobomba.

No caso do pivô I, ocorreu um fato desejado para sistemas de irrigação pressurizados. Apesar de ter um desnível

moderado no trecho entre a base do pivô e o conjunto motobomba, o sistema apresenta seu conjunto motobomba abaixo da linha de água, ou seja, com sucção negativa (afogado), o que proporciona uma pressão de sucção positiva e redução da altura manométrica. No pivô II esse fato não ocorre, o conjunto motobomba está instalado acima da linha de água (não afogado), o que proporciona uma altura geométrica positiva (pressão de sucção negativa) a ser vencida pelo sistema de bombeamento.

De forma geral, o pivô I possui uma área de irrigação pequena, com maior desnível geométrico e comprimento da adutora, com isso a potência requerida do motor é maior, apesar de irrigar uma área menor, em comparação com o pivô II (conjunto motobomba pivô I é de 200 cv contra 150 cv do pivô II).

Na comparação do dimensionamento real e a simulação de um dimensionamento otimizado (Tabela 3), verifica-se que no pivô I há necessidade de substituição da parte aérea, da tubulação adutora e do conjunto motobomba.

**Tabela 3.** Comparação entre o dimensionamento instalado (real) e o dimensionamento otimizado simulado para dois pivôs centrais em propriedades distintas

Variáveis do dimensionamento	Pivô I		Pivô II	
	Real	Otimizado	Real	Otimizado
Diâmetro nominal da linha lateral do pivô (m)	0,168	0,200	0,200	0,200
Hf - Perda real da linha lateral (m.c.a)	22,59	5,93	4,22	4,22
PIN - Pressão inicial na base do pivô	40,00	23,23	45,00	28,52
D - Diâmetro nominal da linha de recalque (m)	0,168	0,250	0,200	0,250
Hf - Perda real da linha de recalque (m.c.a)	102,08	9,04	13,62	4,59
D - Diâmetro nominal da linha de sucção (m)	0,200	0,300	0,250	0,300
Hf - Perda real da linha de sucção (m.c.a)	0,06	0,01	0,200	0,08
Altura manométrica - Hm (m.c.a)	172,3	56,9	99,8	72,9
Potência do Motor (cv)	200	90	150	90

A tubulação da linha lateral do pivô I deveria ter um diâmetro maior, passando o diâmetro nominal (DN) de 168 mm ( $6\frac{5}{8}$ "") para 200 mm (8"), proporcionando assim, uma redução as perdas de carga da linha, e conseqüentemente, na pressão inicial na base do pivô, que diminuiria de 40,0 m.c.a para 23,24 m.c.a.

Já o DN da tubulação de recalque precisaria ser de 250 mm e assim, o DN da sucção ficaria em 300 mm, reduzindo cerca de 91% na perda de carga na adutora. Essas reduções de perdas de cargas resultam na diminuição da altura manométrica em 67 % (172,3 m.c.a para 56,9 m.c.a). Assim, conseqüentemente, a potência do motor requerida seria de 90 cv e não os 200 cv instalados, ou seja, a potência do conjunto motobomba poderia ser aproximadamente 50% da instalada.

No pivô II, o DN da tubulação da linha lateral instalada é igual a recomendada pela simulação do dimensionamento otimizado, sendo indicado a substituição apenas da tubulação adutora e do conjunto motobomba. Apesar da tubulação da linha lateral está dimensionada corretamente, a da pressão na base do pivô é cerca de 37% maior do que a encontrada no dimensionamento otimizado.

Em conversa com o proprietário do sistema, o mesmo informou que na época da instalação do pivô central, ocorreu a pretensão de no futuro se instalar uma bomba *booster* e um aspersor do tipo canhão no final da linha

lateral (fato não realizado até a avaliação), podendo justifica a pressão instalada. Com relação à substituição da tubulação de recalque e sucção, as mesmas deveriam passar de um DN de 200 mm e 200 mm para 250 mm e 300 mm, respectivamente, reduzindo a perda de carga em 66%. Com as reduções de perda de carga na base do pivô e na tubulação adutora a altura manométrica passaria de 99,8 m.c.a para 72,9 m.c.a e a potência do motor de 150 cv para 90 cv. Novamente, a potência requerida pelo sistema poderia ser cerca de 50% da potência instalada no conjunto motobomba.

Vale ressaltar, que a tubulação de recalque e sucção do pivô II apresentam o mesmo diâmetro, prática que deve ser evitada. A tubulação de sucção deve ser igual ao diâmetro comercial imediatamente superior ao adotado para o recalque, o que diminuiria as perdas de carga e a velocidade de deslocamento do líquido na tubulação, conseqüentemente, evitaria os efeitos danosos do fenômeno da cavitação. Contudo, para reduzir o custo de instalação ou mesmo por facilidade, já que normalmente o comprimento da tubulação de sucção é curta, é instalando o mesmo diâmetro do recalque, adquirindo uma tubulação de mesmo diâmetro para sucção e recalque.

A análise da viabilidade econômica e financeira do pivô I (Tabela 4), indica que o proprietário teria que investir R\$ R\$ 391.1226,32 (R\$ 6.930,48/ha<sup>-1</sup>) para realizar as substituições do sistema com base nas recomendações do dimensionamento

VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA DA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL

otimizado. Contudo, o mesmo poderia obter uma receita de R\$ 80.445,26 ou R\$ 120.667,90 caso os equipamentos substituídos fossem comercializados por 20% ou 30% do valor de mercado, respectivamente. Vale salientar que, no final da vida útil do pivô central (20 anos), o mesmo normalmente é comercializado por seu

valor residual, que corresponde à 20% do valor de investimento do equipamento (OKAWA, 2001).

Com relação aos custos com energia elétrica, a substituição do conjunto motobomba proporcionaria uma redução no caixa de R\$ 44.550,00 por ano.

**Tabela 4.** Variáveis utilizadas na estimativa do índice de retorno sobre investimento (ROI) para caracterização da viabilidade econômica e financeira da otimização do pivô I, com substituição da linha lateral do pivô central, da tubulação adutora e do conjunto motobomba

Variáveis	Despesa/Receita		
Potência do motor real 200 cv	R\$ 81.000,00 ano <sup>-1</sup>		
Potência do motor otimizado 90 cv	R\$ 36.450,00 ano <sup>-1</sup>		
Investimento para otimização	R\$ 391.226,32		
Receita da comercialização	30% sucata R\$ 120.667,90	20% sucata R\$ 80.445,26	0% sucata R\$ -
ROI - <i>payback</i> (anos)	6,07	6,98	8,78

Desse modo, o ROI - *payback*, ou seja, a liquidez financeira da otimização ocorreria com 8,78 anos (8 anos, 9 meses e 11 dias), caso os equipamentos substituídos não sejam comercializados e com 6,07 e 6,98 anos, caso ocorra a comercialização por 20% ou 30% do valor de mercado, respectivamente. Como o ROI máximo aceitável foi de 4 anos, em nenhuma das hipóteses, o pivô I não demonstrou viabilidade econômica e financeira para sua otimização.

Diante disso, buscou-se uma alternativa para melhorar o dimensionamento do pivô I, que seria simular o dimensionamento parcialmente otimizado, mantendo-se a linha lateral como de origem. Com um DN de 168 mm na linha lateral, a pressão na base do pivô foi de 31,17 m.c.a e a tubulação adutora e o

conjunto motobomba tiveram os mesmos valores da otimizada anteriores. Assim, a altura manométrica passou a ser de 65,2 m e a potência requerida no motor foi de 100 cv, 50% da potência instalada e em comparação com a otimização total, ocorreu um aumento de 10 cv.

Com a simulação da otimização parcial para o pivô I (Tabela 5), o custo de investimento reduziu de R\$ 391.226,32 para R\$ 109.978,00 (R\$ 1947,20/ha), ou seja, aproximadamente 28% do valor da otimização total, indicando que o principal custo de investimento de um sistema tipo pivô central, seria a implementação da linha lateral. A comercialização dos equipamentos substituídos (sucata) por 20% ou 30% do valor de comércio promoveu uma receita de R\$ 23.995,60 e R\$ 35.993,40 respectivamente.

**Tabela 5.** Variáveis utilizadas na estimativa do índice de retorno sobre investimento (ROI) para caracterização da viabilidade econômica e financeira da otimização do pivô I, com substituição apenas da tubulação adutora e do conjunto motobomba

Variáveis	Despesa/Receita		
Potência do motor real 200 cv	R\$ 81.000,00 ano <sup>-1</sup>		
Potência do motor otimizado 100 cv	R\$ 40.500,00 ano <sup>-1</sup>		
Investimento para otimização	R\$ 109.978,00		
Receita da comercialização	30% sucata R\$ 35.993,40	20% sucata R\$ 23.995,60	0% sucata R\$ -
ROI - <i>payback</i> (anos)	1,82	2,12	2,71

O custo de energia passou de R\$ 81.000,00 para R\$ 40.500,00 com a otimização parcial do sistema. Com as novas despesas e receitas o ROI - *payback* foi de 182; 2,12 e 2,71 anos caso os equipamentos substituídos sejam comercializados por 30%, 20% e 0% (sem comercialização) do valor de mercado, respectivamente. Essa nova otimização parcial, possibilitou que as mudanças recomendadas a serem realizadas obtivessem viabilidade tanto econômica quanto financeira. Verificou-se também, que mesmo sem retorno financeiro da comercialização dos equipamentos substituídos, o ROI - *payback* foi inferior a 4 anos, limite para aceite ou recusa das viabilidades econômica e financeira do projeto em análise.

No pivô II, o investimento na otimização do sistema foi de R\$ 85.357,20 (R\$ 1.174,90/ha<sup>-1</sup>). Com a receita da comercialização dos equipamentos substituídos por 30% e 20% do valor de mercado, o investimento reduziria para R\$ 57.950,04 e R\$ 67.085,76 respectivamente (Tabela 6). Por sua vez, a otimização reduziria o custo com energia elétrica em cerca de R\$ 24.300,00 por ano, o que proporcionou um ROI - *payback* de 2,38 a 3,51 anos.

Mais uma vez, sem a substituição da linha lateral do pivô (sem necessidade), a otimização do sistema demonstrou viabilidade econômica e financeira para sua execução, mesmo sem receita com a comercialização dos equipamentos substituídos.

**Tabela 6.** Variáveis utilizadas na estimativa do índice de retorno sobre investimento para caracterização da viabilidade econômica e financeira da otimização do pivô II, com substituição da linha lateral do pivô central, da tubulação adutora e do conjunto motobomba

Variáveis	Despesa/Receita		
Potência do motor real 150 cv	R\$ 60.750,00 ano <sup>-1</sup>		
Potência do motor otimizado 90 cv	R\$ 36.450,00 ano <sup>-1</sup>		
Investimento para otimização	R\$ 85.357,20		
Receita da comercialização	30% sucata	20% sucata	0% sucata
	R\$ 27.407,16	R\$ 18.271,44	R\$ -
ROI - <i>payback</i> (anos)	2,38	2,76	3,51

Outros estudos da viabilidade econômica e financeira em relação a implantação de sistema de irrigação demonstram valores de ROI - *payback* próximos, apesar da fonte de receita serem diferentes.

Alves Junior et al. (2017) estudando a viabilidade econômica da irrigação por pivô central em cultivos de soja, milho e tomate, para diferentes demandas de evapotranspiração, verificaram que, mesmo com a variação no dimensionamento hidráulico e do manejo da irrigação, o empreendimento possibilita um ROI - *payback* de 2 anos, com rentabilidade (VPL) média de R\$ 6.000,00 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Pereira et al. (2015b) estudando um sistema de irrigação em cana-de-açúcar com vida útil média de 30 anos e manejo de irrigação pleno, observaram um Valor Presente

Líquido (VPL) de R\$ 1.972,87 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, Taxa interna de Retorno (TIR) de 61,11% e *Payback* de 3 anos. Já Reis e Reis (2016) analisando a viabilidade econômica de uva irrigada, encontraram um VPL positivo de R\$ 267.544,34 ha<sup>-1</sup>, TIR de 52% e o retorno do capital invertido (ROI - *payback*) a partir do terceiro ano.

O destaque do presente trabalho foi a demonstração das viabilidades econômica e financeira da otimização dos sistemas de irrigação por pivô central ser possível apenas com a redução no consumo de energia elétrica e não com a produção de alimentos, como visto nos trabalhos citados anteriormente.

Segundo Tarjuelo et al. (2015) é importante implementar uma rotina de avaliação de energia, não só para determinar a eficiência energética de um sistema de

irrigação, mas também para auxiliar no processo de tomada de decisões sobre melhorias no sistema de distribuição de água, para otimizar o consumo de energia e reduzir custos.

No Brasil, mais de 90% da energia é produzida nas hidrelétricas, que dependem de água em níveis adequados em seus reservatórios para gerar energia.

Desse modo, em anos com precipitação abaixo da média, a oferta de energia elétrica é prejudicada e as concessionárias elétricas tomam medidas como o aumento das tarifas e das bandeiras tarifárias, sendo imprescindível a adoção de medidas que tornam mais eficiente o uso de energia elétrica no meio rural.

### CONCLUSÕES

Os sistemas de irrigação por pivôs centrais avaliados possuem um superdimensionamento, o que proporciona um maior consumo de energia, gerando maior custo de operação dos sistemas.

Sistemas tipo pivô central com dimensionamento mais próximo do dimensionamento otimizado proporcionam menor redução dos custos com energia elétricas e conseqüentemente, necessitam de maior tempo para liquidez do investimento para sua otimização.

Ambos os sistemas de irrigação por pivô central demonstram viabilidades econômica e financeira para a realização da otimização do sistema de irrigação, com base na redução do custo com energia elétrica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES JÚNIOR, J.; SALES, D. L. A.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUEZ, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, 22, 2017. DOI:10.12661/pap.2017.011.
- BARBOSA, B. D. S.; COLOMBO, A.; SOUZA, J. G. N.; BAPTISTA, V. B. S.; ARAÚJO, A. C. S. Energy efficiency of a center pivot irrigation system. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 284-292, 2018. DOI:10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n2p284-292/2018.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa. Ed: UFV, 2006. 625 p.
- BOYER, C. N.; LARSON, J. A.; ROBERTS, R. K.; McCLURE, A. T.; TYLER, D. D. The impact of field size and energy cost on the profitability of supplemental corn irrigation. **Agricultural Systems**, v. 127, p.61-69, 2014. DOI:10.1016/j.agry.2014.01.001.
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia**. Lavras, UFLA, 2008. 354 p.
- CHU, T. S.; MOE, D. L. **Hydraulics of a center pivot system**. Transactions of ASAE, v.15, n.5, p.894-896, 1972. DOI:10.13031/2013.38034.
- GEISENHOF, L. O.; FLORES, D. M.; GOMES FILHO, R. R.; SANTOS, R. C.; JORDAN, R. A.; OLIVEIRA, L. C. Irrigar – Aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, nº.4, p. 2761 – 2775, 2018. DOI:10.7127/rbai.v12n400972.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. Ed., Editora UFV. Viçosa. 2009. 355 p.
- 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, p.1075-1088. 2014. DOI:10.1590/S0100-69162014000600005.

OKAWA, H. **Pivô Central: forma prática de calcular seu custo de operação**. Instituto de Economia Agrícola. São Paulo. 2001. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=223>. Acesso em: 10 nov. 2018.

PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4–20, 2015a. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.031.

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015b. DOI:10.15809/irriga.2015v1n2p149.

PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L.C. Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.487-496, 2011. DOI:10.1590/S0100-69162011000300009.

REIS, L. P.; REIS, P. C. M. R. Viabilidade econômica do cultivo de uva irrigada no município de Petrolina, PE. **Enciclopédia biosfera**, v.13 n.24; p. 2016. DOI:10.18677/EnciBio\_2016B\_103.

SILVA, R. R.; SANTOS, I. M. S.; OLIVEIRA, G. M.; CARVALHO, A. R. P.; SANTOS JÚNIOR, P. P.; GONÇALVES, I. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura para melancia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.6, p.392 - 399, 2015. DOI:10.7127/RBAI.V9N600325.

TARJUELO, J. M.; RODRIGUEZ-DIAZ, J. A.; ABADÍA R.; CAMACHO E.; ROCAMORA C.; MORENO, M. A. Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. **Agricultural Water Management**, v. 162, p. 67-77, 2015. DOI:10.1016/j.agwat.2015.08.009.

TOLEDO, C. E.; SOUZA, C. M. P.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Eficiência da aplicação da água por pivô central em diferentes regiões Gerais. **IRRIGA**, v. 22, n. 4, p. 821-831, 2017. DOI:10.15809/irriga.2017v22n4p821-831