

## **INFLUÊNCIA DO CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA E DO MATERIAL DA TUBULAÇÃO NA VELOCIDADE ECONÔMICA DE BOMBEAMENTOS**

**BRUNO LEITE TEIXEIRA PERRONI<sup>1</sup>; LESSANDRO COLL FARIA<sup>2</sup>; JACINTO DE ASSUNÇÃO CARVALHO<sup>3</sup> E HENRIQUE FONSECA ELIAS DE OLIVEIRA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, Mestre, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, CEP 37200-000, e-mail: bruno.perroni@gmail.com

<sup>2</sup>Eng. Agrícola, Doutor, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, CEP 96010-610, e-mail: lessandro.faria@ufpel.edu.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Doutor, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, CEP 37200-000, e-mail: jacintoc@deg.ufla.br

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, Doutor, Instituto Federal Goiano, Ceres – GO, CEP 76300-000 e-mail: henrique.fonseca@ifgoiano.edu.br

### **1 RESUMO**

Diversos fatores podem atuar como limitante para a atividade agrícola irrigada, dentre eles pode-se destacar os custos com a energia de bombeamento. Neste trabalho foram realizadas simulações da influência da elevação do custo da energia e da tubulação sobre a velocidade econômica de escoamento. Como resultado, observou-se que quando o aumento do custo da energia elétrica é maior que o da tubulação, a velocidade econômica tende a diminuir. Já quando o aumento da tubulação é maior que o da energia elétrica a velocidade econômica tende a aumentar. O aumento do custo da energia elétrica provoca uma maior redução na velocidade econômica em tubulações de menor comprimento quando comparado as tubulações de maior comprimento. Quando o aumento do custo da tubulação é maior que o da energia elétrica, percebe-se que a velocidade econômica aumenta mais em tubulações de maior comprimento quando comparado as tubulações de comprimento menor.

**Palavras-chave:** Consumo de Energia, Tubulações, Irrigação

**PERRONI, B. L. T.; FARIA, L. C.; CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, H. F. E.  
EFFECT OF ELECTRICAL ENERGY AND PIPE COSTS ON ECONOMIC  
PUMPING SPEED**

### **2 ABSTRACT**

Several factors may limit irrigated agriculture activities, including costs of pumping energy. Based on simulations, the influence of rising the energy and pipe costs on the economic flowage speed was evaluated. When the increase in energy cost is higher than that in pipe cost, the economic flowage speed tends to decrease. Conversely, it tends to increase when the rise in pipe costs is greater than that in energy costs. The increase in electric energy cost causes a greater decrease in economic flowage speed in shorter length pipes as compared to longer length pipes. When the increase in pipe cost is higher than that of electric energy, the economic flowage speed is higher in longer length pipes.

**Keywords:** energy consumption, pipe line, irrigation

### 3 INTRODUÇÃO

A utilização da irrigação constitui um acréscimo tecnológico para melhoria da produtividade de diversas culturas, sendo de suma importância o uso mais eficiente dos recursos hídricos e energéticos disponíveis. Além disso, em regiões onde há escassez de água ou irregularidades de chuvas a irrigação torna-se imprescindível para garantir a produção agrícola.

Entretanto, a utilização da irrigação demanda um alto investimento, com elevados custos operacionais em função, principalmente, do gasto de energia para bombeamento. Estudos têm sido realizados visando melhorar a eficiência energética em projetos de irrigação (MELLO et al., 1999; OLIVEIRA FILHO et al., 2000; LIMA et al., 2009; OLIVEIRA FILHO et al., 2011), principalmente quando relacionados com a parte hidráulica do sistema (DEB, 1978; ZOCOLER et al., 2011), buscando um melhor aproveitamento da água e da energia de bombeamento utilizadas durante a irrigação.

É importante ressaltar ainda que um sistema de irrigação, ainda que esteja hidráulicamente bem dimensionado, pode não ser economicamente viável ao produtor rural, pois fatores como o custo de energia, a cultura irrigada e a época de produção podem atuar como limitantes na agricultura irrigada, sendo necessário um estudo mais aprofundado das variáveis econômicas que envolvem o projeto, principalmente quando relacionadas ao consumo de energia do mesmo (PERRONI et al., 2011).

A energia utilizada nos sistemas de irrigação pode representar, dependendo do sistema, mais da metade do seu custo variável (AZEVEDO NETTO et al., 2002), sendo então alvo de potenciais estudos na busca pela otimização da irrigação e minimização dos custos de implantação e manutenção do sistema. Neste contexto, é de suma importância conhecer o diâmetro econômico da tubulação que, de acordo com Porto (1999), é aquele em que o custo total do projeto será mínimo.

Nos últimos anos constatou-se um acréscimo substancial na demanda de energia elétrica (OLIVEIRA FILHO et al., 2000), isto ocorre devido ao crescimento demográfico, a industrialização e as crescentes inovações tecnológicas.

O uso mais eficiente da energia elétrica é fundamental tanto para a sociedade, quanto para as concessionárias de energia. De acordo com Oliveira Filho et al. (2004), o uso eficiente de energia elétrica, para as concessionárias, a nível de demanda, implica na: i) possibilidade do adiamento de investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia, viabilizando o fornecimento de energia elétrica, a custo reduzido, a um número cada vez maior de consumidores; ii) maior competitividade da energia elétrica em relação a outros recursos energéticos; e iii) na conservação dos recursos naturais, colaborando para o desenvolvimento sustentável.

De acordo com o Ministério das Minas e Energia - BRASIL (1996), em 20 anos será necessário quase que triplicar a oferta de energia, o que acarretaria aos cofres públicos, investimentos de cerca de 200 bilhões de reais. Oliveira Filho et al. (2004) salientam ainda um crescimento considerável dos índices de eletrificação rural, em particular nas regiões Sul e Sudeste, estimando-se que 25% das propriedades rurais brasileiras ainda não são eletrificadas.

A disponibilidade e o custo da energia são considerados fatores limitantes para a expansão da agricultura irrigada, e ganha cada vez mais importância no estudo econômico da irrigação (FAVETTA, 1998).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), os consumidores de energia elétrica pagam um valor correspondente à quantidade de energia elétrica consumida, estabelecida em kWh e multiplicada por um valor unitário, denominada tarifa. Essa tarifa pode ser composta por uma demanda de potência e o consumo de energia. Entretanto, nem todos os consumidores pagam tarifas de demanda de potência, isso depende da estrutura tarifária e da modalidade de fornecimento na qual o consumidor está enquadrado.

Com base nesses dados, esse estudo teve por objetivo analisar a influência da variação dos custos de energia elétrica e de tubulações, de aço galvanizado e PVC, na velocidade econômica de bombeamento e, conseqüentemente, na viabilidade econômica de sistemas pressurizados de irrigação.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram levantados, em diversos estabelecimentos comerciais e em diferentes estados da federação (Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Goiás), os preços de cada componente de um sistema de recalque. No levantamento foi considerado o preço na condição de pagamento a vista e com impostos incluídos (PERRONI, 2008).

A determinação do custo da energia elétrica seguiu critérios estabelecidos pela concessionária de energia elétrica do estado de Minas Gerais (CEMIG). A CEMIG divide os consumidores por potência instalada, em dois grupos: i) consumidores do grupo B: com transformadores de até 75 kVA; e ii) consumidores do grupo A: com transformadores maiores que 75 kVA.

No estudo adotou-se o funcionamento no período seco, quando existe a necessidade de se irrigar, o qual varia para cada estado da federação analisado neste estudo, e fora do horário de ponta, evitando as tarifas elevadas dos horários de picos de consumo de energia. Foi considerada também uma situação de funcionamento em que o valor de demanda não ultrapassasse a demanda contratada, evitando possíveis multas aplicadas pela concessionária de energia elétrica.

Os valores de velocidade econômica utilizados neste estudo foram os apresentados por Perroni (2008), Tabela 1, para um sistema de irrigação operando durante 2880 horas ano<sup>-1</sup>, para diferentes vazões e comprimentos de adutoras de 100 e 2000 m, em tubulações de PVC e aço galvanizado.

**Tabela 1.** Valores de velocidade econômica para diferentes vazões e comprimentos de adutoras de PVC e aço galvanizado, em um sistema de irrigação operando 2880 horas ano<sup>-1</sup>.

Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Velocidades econômicas (m s <sup>-1</sup> )			
	100 m		2000 m	
	Aço galvanizado	PVC	Aço galvanizado	PVC
< 0,011	0,69	0,62	0,67	0,62
0,011 – 0,022	0,89	0,80	0,98	0,99
0,022 – 0,033	0,94	0,94	1,05	1,05
0,033 – 0,044	1,13	1,13	1,12	1,36
0,044 – 0,055	1,04	1,04	1,13	1,14
0,055 – 0,066	1,37	1,26	1,26	1,37
0,066 – 0,083	1,18	1,32	1,03	1,32
Média	1,03	1,02	1,04	1,12

Na análise da influência do custo da energia elétrica e da tubulação no comportamento da velocidade econômica simularam-se, com o auxílio de uma planilha eletrônica em Excel, desenvolvida especificamente para esse fim, as elevações nos custos desses parâmetros.

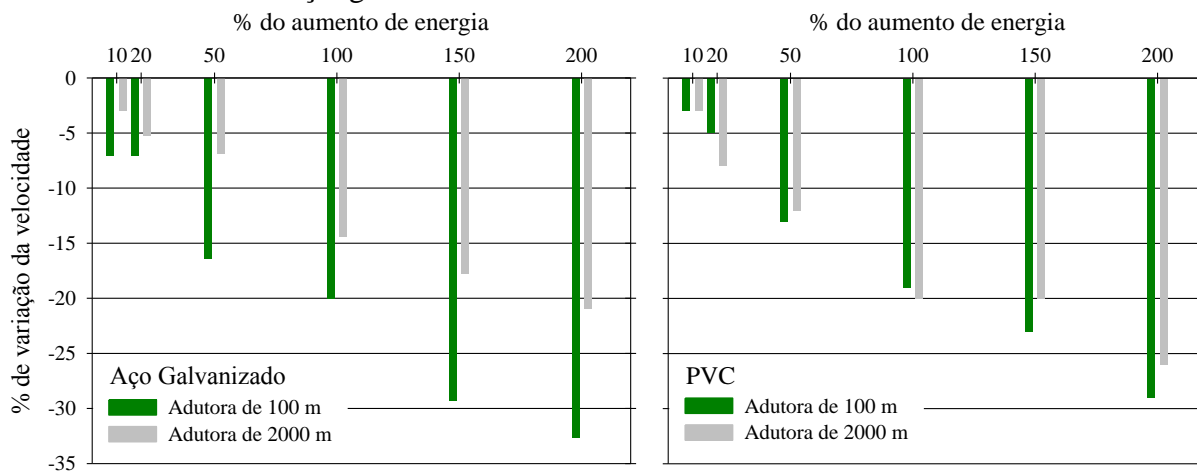
Para analisar a influência da energia elétrica sobre a velocidade econômica foi considerado que somente a energia apresentou variação de custo, permanecendo constantes as outras variáveis. Adotou-se como elevação da tarifa de energia valores de 10, 20, 50, 100, 150 e 200% do valor atual.

Na influência do custo da tubulação também foi considerando todos os fatores que compõe o custo fixo, variando somente o custo da tubulação. Foram utilizados os mesmos acréscimos ao custo da tubulação que foram adotados para energia elétrica. Além disso, foram realizadas interações variando simultaneamente o custo da energia elétrica e da tubulação. Para tal empregou-se acréscimos de 50 a 200% do custo atual para ambos os fatores variados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as variações percentuais dos valores das velocidades econômicas em função do aumento da energia elétrica, considerando tubulações de 100 m e 2000 m de comprimento de aço galvanizado e PVC, respectivamente, operando 2880 horas ano<sup>-1</sup>.

**Figura 1.** Influência do aumento da tarifa energética sobre a velocidade econômica para a adutora de aço galvanizado e PVC.



Com base na Figura 1, pode-se observar que, em geral, o aumento do custo da energia elétrica provocou uma redução no valor da velocidade econômica.

Para tubulações de aço galvanizado, a velocidade econômica mostrou-se mais sensível ao aumento da energia quando adutora é de pequena extensão (100 m), nestes casos, o valor inicial de investimento com a aquisição da tubulação tem menor representatividade no custo total do sistema, assim, o aumento da energia tem maior impacto nos custos finais, resultando em diâmetro econômico maior e, conseqüentemente, velocidade econômica menor.

Para a adutora maior, comprimento de 2000 m, observa-se a situação inversa, ou seja, para o comprimento de 2000 m, devido à grande extensão da adutora, os custos iniciais de investimento são elevados, e, uma variação do diâmetro teria um impacto maior nos custos totais, em comparação a uma adutora de menor comprimento. Embora um aumento de energia

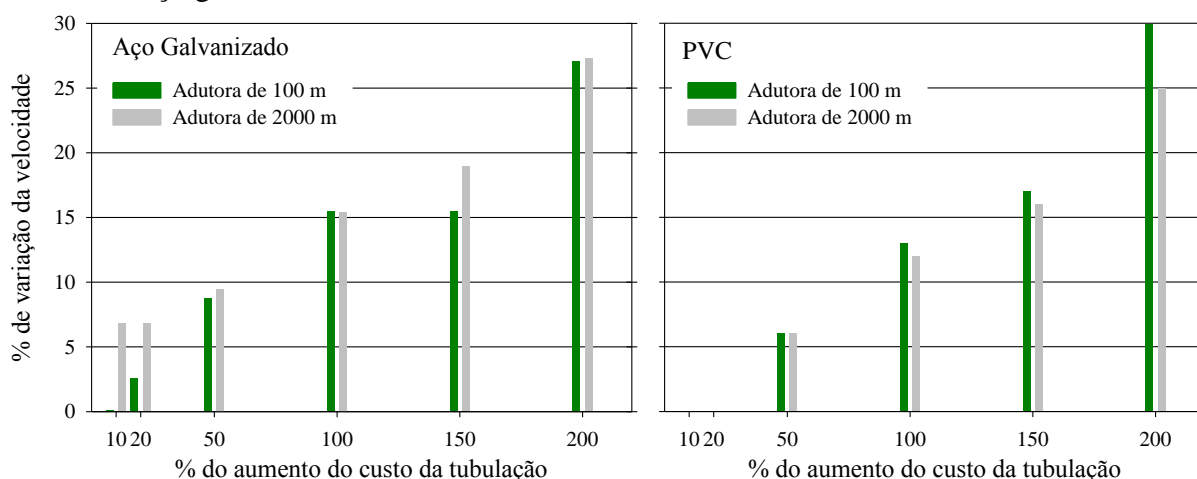
resulte em uma variação negativa da velocidade de escoamento, esta não é tão acentuada quanto aquela observada para o comprimento de 100 m.

Comparando as adutoras de aço galvanizado e PVC (Figura 1) observa-se que quando a adutora possui maior extensão (2000 m) a variação da velocidade econômica, em função do aumento da energia, é menor para tubulações de aço galvanizado. O tubo de aço possui um custo maior que o PVC, constituindo em um valor inicial de investimento superior, assim, a energia terá menor impacto no custo total. Este comportamento é semelhante ao verificado quando foram comparadas adutoras de mesmo material, porém, de diferentes comprimentos.

Porém, para a adutora menor (100 m), os custos iniciais com investimento são menores, representando, portanto, um menor percentual do custo total do sistema, neste caso, o aumento da energia apresenta maior impacto no valor final dos custos, resultando em uma maior variação da velocidade econômica para tubulações de aço galvanizado, as quais por serem mais rugosas, proporcionam maiores valores de perda de carga para uma mesma extensão da adutora em relação ao PVC.

Na Figura 2 estão apresentadas as variações da velocidade econômica em função do aumento do custo da tubulação de aço galvanizado e PVC, com comprimentos de 100 e 2000 m, respectivamente, funcionando 2880 horas ano<sup>-1</sup>.

**Figura 2.** Influência do aumento do custo da tubulação sobre a velocidade econômica para aço galvanizado e PVC.



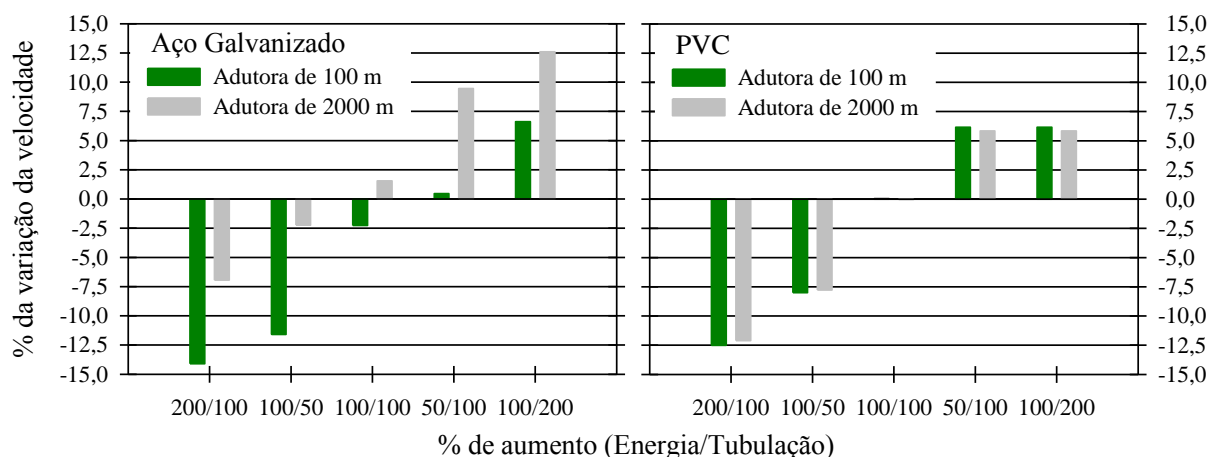
Observa-se, Figura 2, que independentemente do material da tubulação, há um aumento da velocidade econômica com o custo da tubulação. O aumento da tubulação representa um aumento dos custos fixos, e conseqüentemente, uma maior participação na composição dos custos finais, assim, o diâmetro econômico tende a ser menor (menor diâmetro menor custo) com conseqüente aumento da velocidade economia de escoamento.

Comparando as tubulações de aço galvanizado e PVC (Figura 2) observa-se que para adutora de maior extensão (2000 m) a magnitude do aumento da velocidade foi semelhante para o aço galvanizado e PVC. Quando se utilizou uma adutora de menor comprimento (100 m) o aumento da velocidade econômica foi ligeiramente superior para adutora de aço galvanizado sendo que o custo da tubulação de aço galvanizado é superior ao da tubulação de PVC, considerando um mesmo diâmetro.

Na Figura 3 podem ser observadas as variações da velocidade econômica de escoamento em função do aumento concomitante da energia elétrica e da tubulação,

considerando adutoras de 100 e 2000 m, para aço galvanizado e PVC, respectivamente, funcionando 2880 horas ano<sup>-1</sup>.

**Figura 3.** Variação da velocidade econômica em função do aumento dos custos da energia e da tubulação, em adutoras de 100 e 2000 m de aço galvanizado e PVC, com tempo de funcionamento de 2880 horas ano<sup>-1</sup>.



As variações da velocidade econômica (Figura 3) para adutoras de PVC com 100 e 2000 m, não apresentaram diferenças acentuadas entre si, independentemente da variação da relação de custos energia/tubulação. Já para aço galvanizado a variação foi grande. Os maiores custos de investimento na aquisição dos tubos de aço e, também, a perda de carga, conferem uma maior sensibilidade às variações de custos da energia e da tubulação.

Considerando apenas tubulações de aço galvanizado (Figura 3) observa-se uma maior diminuição da velocidade econômica para adutoras menores, quando o aumento do custo de energia é maior que o verificado para tubulação. Já, quando o aumento da tubulação é maior que a energia há uma tendência de aumento da velocidade econômica, ou seja, há uma tendência de menores diâmetros econômicos.

Nos últimos 10 anos o custo da energia elétrica aumentou 360% em média, enquanto o custo da tubulação sofreu um aumento de 200% (PERRONI, 2008). Esse comportamento de preços reforça os resultados deste trabalho, o qual apresenta velocidades econômicas menores que aquelas normalmente encontradas em literaturas e, também, utilizadas em muitos projetos técnicos de dimensionamentos de sistemas de recalque, que é de 2,5 m s<sup>-1</sup> (PERRONI et al., 2011). Com o crescente aumento da demanda de energia no país, há uma tendência do preço da energia continuar crescendo, o que, baseado nos resultados deste trabalho, permite prever, então, uma tendência de redução da velocidade econômica, como as observadas por Souza et al. (2012), que obtiveram um valor máximo de velocidade econômica de 1,18 m s<sup>-1</sup> em adutoras utilizadas em sistemas pressurizados de irrigação.

Os resultados obtidos neste estudo, referentes ao custo de energia e seu impacto em sistemas de bombeamento utilizados na irrigação, seguem as tendências obtidas por Oliveira & Zocoler (2013), que observaram que o impacto da irrigação nos custos de produção da cultura do feijoeiro atingem valores de até 21,5%, para desnível topográfico de 80 m e adutora de 3000 m, tendo grande influência o custo energético para acionamento do sistema de irrigação.

Cabe ressaltar ainda que os resultados obtidos neste estudo inferem a necessidade de se atualizar, constantemente, os custos de bombeamento e determinar diâmetros que sejam

mais econômicos para utilização em adutoras em sistemas de recalque utilizados na irrigação pressurizada.

## 6 CONCLUSÕES

O aumento do custo da energia elétrica provocou a redução da velocidade econômica para adutora de 100 m, sendo este efeito maior para tubulação de aço galvanizado quando comparado à tubulação de PVC.

A elevação do custo da tubulação provocou aumento da velocidade econômica para adutoras de aço galvanizado e PVC de 100 e 2000 m de extensão.

Como o custo da energia elétrica aumenta mais que o custo da tubulação a velocidade econômica tende a reduzir, havendo necessidade de constantes atualizações desta variável, garantindo que a energia não seja limitante à agricultura irrigada.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDES, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: E. Blücher, 2002. 669p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica**. Brasília: 2005. (Cadernos Temáticos ANEEL).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, 1996. 150p.

DEB, A. K. Optimization in design of pumping systems. **Journal of the environmental engineering division**, ASCE, New York, v.104, n.EE1, p. 127-136, 1978.

FAVETTA, G. M. **Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central**. 1998. 110p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

LIMA, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, S. C.; FIETZ, C. R.; CAMACHO, J. R. Avaliação e análise da eficiência energética na irrigação em sistemas de pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, 2009.

MELLO, C. R.; CARVALHO, J. A.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; RENATO, C. H.; SANTANA, M. J. Economia de energia e instalação de bombeamento para irrigação com uso de inversor de frequência. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.4, p.78-88, 1999.

OLIVEIRA FILHO, D.; CAMPANA, S.; SOARES, A. A. Estudo do comportamento de parâmetros elétricos e hidráulicos em sistema de irrigação tipo pivô central utilizando inversores de frequência para racionalização do uso da energia elétrica. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC00000002200000100017&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200000100017&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 01 ago. 2007.

OLIVEIRA FILHO, D.; SAMPAIO, R. P.; MORAES, M. J. DE; PIZZIOLLO, T. DE A; DAMIÃO, J. H. A. DE C. Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1097-1103, 2011.

OLIVEIRA FILHO, D.; TEIXEIRA, C. A.; RIBEIRO, M. C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.135-143, 2004.

OLIVEIRA, J. S. de; ZOCOLER, J. L.; Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro em sistema pivô central sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, p.121-128, 2013.

PERRONI, B. L. T. **Velocidade econômica de escoamento e composição de custos de sistemas de irrigação por aspersão**. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L. C. Velocidade econômica de escoamento e custo de energia de bombeamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.487-496, 2011.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. 2. ed. São Carlos: EESC – USP, 1999. 540p.

SOUZA, R. O. R DE; AMARAL, M. A. C. M; SCARAMUSSA, P. H. M; RODRIGUES, R. A. S. Velocidade econômica em adutoras de irrigação no estado do Pará. In: Workshop internacional de inovações tecnológicas na irrigação, 4, 2012, Ceará. **Anais...** Fortaleza: Inovagri International Meeting, 2012.

ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ, F. B. T.; SAAD, J. C. C.; CRUZ, R. L. Período de recuperação do investimento em bomba hidráulica de melhor rendimento em sistemas de bombeamento na tarifa horossazonal verde. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.290-302, 2011.