

# **UM ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GLOBAL PARA VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA**

**José Angelo Cagnon**

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia Elétrica, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP. E-mail: jacagnon@feb.unesp.br

**Ivan Nunes da Silva**

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia Elétrica, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP. E-mail: ivan@feb.unesp.br

**Nilton José Saggioro**

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia Elétrica, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP. E-mail: nsaggioro@adaptanet.com.br

**Resumo.** Em muitos casos, os sistemas de distribuição de água oriunda de poços profundos utilizam bombas elétricas submersíveis. Assim, toda energia necessária é fornecida a esta bomba, entretanto, outros componentes do sistema, tais como tubulações, válvulas, etc, também são responsáveis por um maior ou menor consumo de energia elétrica. Os gerentes e operadores destes sistemas devem conhecer o comportamento energético global de todo o processo para administrarem adequadamente essa atividade. Este trabalho propõe um Índice de Eficiência Energética Global para poços profundos utilizando-se modelos matemáticos envolvidos com o processo e redes neurais artificiais. Resultados de simulações são também apresentados para demonstrar a validade da metodologia proposta, indicando que a técnica proposta é uma ferramenta interessante para auxiliar nos processos envolvidos com a extração de água.

**Palavras-chave:** eficiência energética, identificação de sistemas, poços profundos, gestão energética, redes neurais artificiais.

## **1. INTRODUÇÃO**

Muitas comunidades obtêm água para abastecimento público de fontes subterrâneas denominadas de aquíferos. Empresas públicas ou privadas, as quais são responsáveis pelo abastecimento perfuram poços no solo até atingirem os aquíferos, e através de bombeamento, retiram a água contida nele. Um aquífero pode ser definido como uma formação geológica capaz de fornecer água para um poço em quantidades economicamente viáveis de exploração. Os métodos convencionais para estimar a vazão de exploração de um aquífero exigem o conhecimento de seus parâmetros estruturais e de suas correlações. Esses parâmetros são dependentes das propriedades do solo e de aspectos geológicos e hidrogeológicos (Domenico, 1972).

O transporte da água do aquífero até os reservatórios é normalmente feito através de motobombas submersíveis elétricas, consequentemente, a energia elétrica torna-se um dos principais insumos para a produção de água. Considerando-se a dificuldade cada vez maior de obtenção de novas fontes produtoras de energia elétrica, a necessidade de redução de custos operacionais e a atual situação energética do mundo, há então a necessidade de um gerenciamento eficiente do uso da energia elétrica. Assim, para que o acompanhamento e a tomada de decisões operacionais referentes aos poços profundos sejam eficientes, é imprescindível a determinação de um parâmetro que expresse o comportamento energético de todo o conjunto de captação de água, o qual será definido como Índice de Eficiência Energética Global (IEEG).

Uma metodologia baseada em redes neurais artificiais e em modelos matemáticos envolvidos com a potência absorvida por motobombas submersíveis será desenvolvida para a determinação do IEEG. Dentro desse contexto, o IEEG de um poço profundo será expresso em W.h/m<sup>3</sup>.m. Mediante uma análise dimensional, observa-se que quanto menor for o valor numérico do IEEG, melhor será a eficiência energética do sistema de captação.

## 2. O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA EM AQÜÍFEROS

Os aquíferos são constituídos normalmente por areia e cascalho. Rochas sedimentares permeáveis como o arenito e calcáreo, rochas vulcânicas e cristalinas fraturadas, podem ser também classificadas como aquíferos.

Após a perfuração de poços profundos são realizados os testes de rebaixamento do aquífero. Estes testes consistem na verificação da relação entre o rebaixamento do nível de água no interior do poço e a vazão de extração do aquífero no decorrer do tempo. O nível do aquífero no instante em que a bomba é ligada é denominado Nível Estático, e o nível do aquífero após a estabilização do mesmo, durante um processo de extração de água em vazão constante, é denominado Nível Dinâmico. Este teste determina a máxima vazão que poderá ser extraída do poço. Outra característica obtida a partir desse teste é a Curva de Rebaixamento versus Vazão, o qual representa o comportamento do nível do aquífero em relação à vazão de exploração (Domenico e Schwartz, 1990). As curvas obtidas são normalmente expressas através de uma equação matemática característica do poço analisado, porém com baixa precisão.

Considerando que o comportamento do aquífero apresenta variação ao longo de seu ciclo de operação, a Curva de Rebaixamento versus Vazão obtida no teste inicial representa o seu comportamento apenas naquele momento específico. Esta variação ocorre por diversos fatores, tais como: i) alteração na capacidade de recarga do aquífero; ii) interferência de outros poços próximos, devido às alterações nas suas condições de exploração ou perfuração de novos poços; iii) alteração do nível estático quando do instante em que a bomba é ligada; iv) ciclo de operação da bomba; e v) tempo de repouso do poço. Assim, o mapeamento do aquífero através de técnicas convencionais apresenta certa complexidade, exigindo conhecimentos específicos. Além do comportamento do aquífero, outros componentes do sistema de exploração também interferem na eficiência energética global do sistema.

O conjunto motor-bombeador instalado no interior do poço, o qual está submerso na água oriunda do aquífero, recebe toda a energia elétrica fornecida ao sistema. Através de uma tubulação edutora, que também sustenta fisicamente o motor-bombeador, a água é transportada até a superfície do solo, e através de uma tubulação adutora é transportada até o reservatório, o qual normalmente está localizado em uma posição geograficamente mais elevada em relação ao poço. Inseridos neste circuito hidráulico, destinado ao transporte da água, existem diversos acessórios necessários a sua construção ou operação do sistema, tais como curvas e registros.

A resistência à passagem da água, devido ao estado das paredes do tubo, é contínua ao longo de toda a tubulação, e será admitida uniforme em qualquer trecho de uma tubulação de diâmetro constante, independente da posição desta tubulação. Esta resistência provoca a necessidade da motobomba fornecer uma pressão (ou carga) adicional para que a água seja elevada até o reservatório. Assim, o efeito desta resistência também é chamado de perda de carga distribuída ao longo da tubulação. De modo similar às tubulações, esses elementos oferecem uma resistência ao escoamento do fluido, e portanto, perdas de carga. Essas perdas são denominadas locais, localizadas, acidentais ou singulares, pelo fato de decorrerem especificamente de pontos ou partes bem determinadas da tubulação, ao contrário do que acontece com as perdas em consequência do escoamento ao longo de tubulações.

Quanto ao circuito hidráulico, observa-se que a perda de carga (distribuída e localizada) é um parâmetro importante, e que esta varia com o tipo e estado do material. Assim, uma tubulação antiga, com incrustações agregadas ao longo do tempo de operação, apresenta uma perda de carga diferente daquela presente em uma tubulação nova; um registro com duas voltas fechadas introduz

uma perda de carga também maior que aquela com ele totalmente aberto; uma variação na vazão de extração também provoca variações na perda de carga. Outro fator importante para a análise da eficiência energética global do sistema é o desnível geométrico. Porém, este parâmetro não apresenta variações após a implantação total do sistema.

Nesse ponto, entende-se que possam ser feitas duas afirmações: i) quando utilizados modelos matemáticos para o estudo do rebaixamento da superfície piezométrica, estes deverão ser reavaliados com certa periodicidade; e ii) a vazão de exploração do aquífero assume papel fundamental no estudo do circuito hidráulico, devendo ser objeto de cuidadosa análise.

A fim de contornar esses problemas, o presente trabalho considera a realização de medição de alguns parâmetros, cuja determinação prática é de fácil realização, e a utilização de redes neurais artificiais para a determinação da vazão de exploração.

### 3. DEFININDO O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GLOBAL (IEEG)

De acordo com Ferreira et al (1994), a “Eficiência Energética” é um conceito generalizado para referir às medidas a implementar (ou implementadas), bem como os resultados alcançados na redução do crescimento da procura de energia, ou mais genericamente, na melhor utilização da energia. Também segundo este autor, os indicadores de eficiência energética são estabelecidos através de relações e de variáveis que podem ser usadas com o objetivo de monitorar as variações e desvios nas eficiências energéticas dos sistemas.

Ainda de acordo com Ferreira et al (1994), os “Indicadores Descritivos” são aqueles que caracterizam a situação energética sem procurar as justificativas para as suas alterações ou desvios.

#### 3.1. Definição do IEEG

A conceituação teórica para o Índice de Eficiência Energética Global proposto será desenvolvida a partir de modelos matemáticos que relacionam a potência absorvida da rede elétrica e os demais parâmetros envolvidos, ou seja, a vazão, a altura manométrica e os rendimentos.

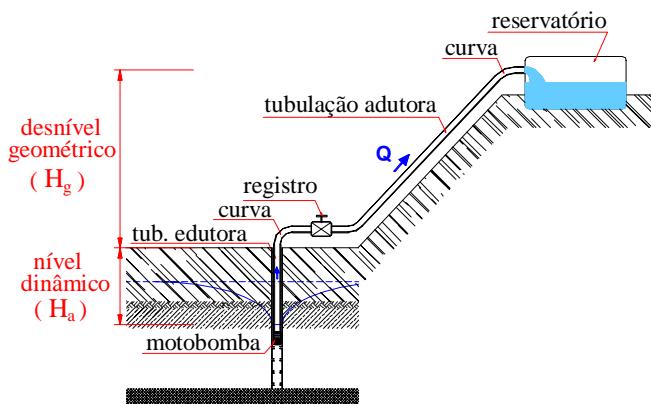


Figura 1. Componentes do sistema de captação de água

A Figura 1 apresenta os componentes típicos de um sistema de captação de água através de poços profundos com a finalidade de abastecimento público, permitindo então a identificação de seus componentes.

Conforme o apresentado por Neto (1998), a potência de um conjunto elevatório motor-bomba é dada por:

$$P_{mb} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_T}{75 \cdot \eta_{mb}} \quad (1)$$

onde:  $P_{mb}$  é a potência do conjunto motor-bomba (CV),  $\gamma$  é o peso específico da água ( $1000 \text{ kgf/m}^3$ ),  $Q$  é a vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_T$  é a altura manométrica total (m), e  $\eta_{mb}$  é o rendimento global do conjunto motor-bomba definido por  $\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$  (adimensional).

Entretanto sabe-se que 1 CV é aproximadamente 736 Watts,  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  é igual a  $1/3600 \text{ m}^3/\text{h}$ , e o peso específico da água é  $1000 \text{ kgf/m}^3$ . Substituindo esses valores em (1), obtem-se:

$$P_{mb} = \frac{2.726 \cdot Q \cdot H_T}{\eta_{mb}} \quad (2)$$

A altura manométrica total ( $H_T$ ) em conjuntos elevatórios para extração de água de aquíferos subterrâneos é constituída por:

$$H_T = H_a + H_g + \Delta hf_t \quad (3)$$

onde  $H_a$  é o nível dinâmico do aquífero no poço (m),  $H_g$  é o desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m), e  $\Delta hf_t$  é a perda de carga total no circuito hidráulico (m).

Analizando os componentes da altura manométrica total, nota-se que apenas a parcela correspondente ao desnível geométrico ( $H_g$ ) poderá ser considerada constante, enquanto as outras duas serão variáveis ao longo do período de operação do poço.

O nível dinâmico ( $H_a$ ) irá variar (rebaixar) desde o início do bombeamento até o momento de sua estabilização, caso a observação seja limitada a períodos relativamente curtos, como um mês por exemplo. Além desta variação, que poderá apresentar comportamento cíclico, é possível ocorrer outro tipo de variação devido a interferências de outros poços vizinhos ou alterações nas características do aquífero produtor.

A perda de carga total ( $\Delta hf_t$ ) também irá variar durante o bombeamento, e esta é dependente das características do circuito hidráulico (diâmetro e comprimento da tubulação e acessórios hidráulicos, tais como curvas e registros). Essas características poderão ser consideradas constantes, uma vez que normalmente não sofrem alterações depois de instaladas. Entretanto, a perda de carga total também é dependente de outras características do circuito hidráulico, que normalmente variam ao longo do período de vida útil de um poço profundo. Estas características variáveis são: i) rugosidade da tubulação; ii) vazão; e iii) problemas operacionais, tais como registros semi-fechados, vazamentos, etc.

Observando-se novamente a Figura 1, conclui-se que toda a energia necessária para transportar a água do aquífero até o reservatório, superando todas perdas de cargas inerentes, é fornecida ao conjunto motor-bomba pela rede elétrica alimentadora.

Assim, aplicando estas considerações e substituindo os resultados de Eq. (3) em Eq. (2), tem-se:

$$P_{el} = \frac{2.726 \cdot Q \cdot (H_a + H_g + \Delta hf_t)}{\eta_{mb}} \quad (4)$$

onde  $P_{el}$  é a potência elétrica absorvida da rede elétrica.

A partir da Eq. (4) e considerando que um índice de eficiência energética deve ser um indicador descritivo genérico, então propõe-se o Índice de Eficiência Energética Global (IEEG), o qual é definido por:

$$\text{IEEG} = \frac{P_{el}}{Q \cdot (H_a + H_g + \Delta hf_t)} \quad (5)$$

Observando-se a Eq. (5), nota-se que o IEEG irá depender da potência elétrica, da vazão, do nível dinâmico, do desnível geométrico e da perda de carga total do circuito hidráulico.

O rendimento do conjunto motobomba não faz parte do índice proposto porque seu comportamento será refletido inversamente pelo IEEG. Assim, quanto maior for o rendimento do conjunto motobomba ( $\eta_{mb}$ ) menor será o número indicador do IEEG e vice-versa. Portanto, IEEG melhores serão aqueles que apresentarem menores valores numéricos.

Outra razão da não utilização do rendimento do conjunto motobomba para o cálculo do IEEG é a dificuldade que se apresenta para a obtenção prática deste valor, pois o mesmo é uma grandeza fictícia, não sendo passível de medição direta, mas sim, mediante uma relação entre outras grandezas. Sua variação é notória durante seu ciclo de operação. Após o início do bombeamento ocorre o rebaixamento do nível de água no interior do poço, a altura manométrica varia, e consequentemente, altera também a vazão. Também ao longo da vida útil de um conjunto motobomba seu rendimento irá variar, seja em virtude do desgaste do equipamento, de incrustações na tubulação, de vazamentos no circuito hidráulico, de obstrução de filtros no interior do poço, de registros fechados ou semi-fechados, etc.

Voltando à Eq. (5), e agrupando-se todos os termos com unidade em metros, tem-se a forma mais genérica do IEEG, a qual é dada por:

$$\text{IEEG} = \frac{P_{el}}{Q \cdot H_T} \quad (6)$$

Definido desta forma unitária, o IEEG poderá ser utilizado para a análise temporal de um mesmo poço profundo.

### **3.2. Utilização de Redes Neurais Artificiais**

De todos os parâmetros necessários para a determinação do IEEG proposto, a determinação da vazão de exploração apresenta a maior dificuldade prática, quer pelo custo elevado de medidores fixos, tais como os eletromagnéticos, quer pelo método trabalhoso exigido quando da utilização de medidores do tipo ‘pitot’, ou ainda pela imprecisão de métodos rudimentares, tais como a cronometragem do tempo de enchimento de um tambor de volume conhecido.

Para contornar este problema prático, propõe-se aqui a utilização de Redes Neurais Artificiais para determinar-se a vazão exploração a partir dos outros parâmetros medidos, previamente ao cálculo do IEEG.

Redes Neurais Artificiais (RNA) são sistemas dinâmicos que exploram arquiteturas de processamento inherentemente paralelas e adaptativas. Consistem de vários elementos processadores simples que possuem alta conectividade entre si. Em cada um desses elementos está associado um conjunto de parâmetros que possuem a finalidade de sintonizar a rede neural para determinada aplicação. Estes parâmetros, conhecidos como pesos da rede, descrevem um modelo que permite o mapeamento de um conjunto de valores conhecidos (entradas da rede) para um conjunto de valores associados (saídas da rede). O processo de ajuste dos pesos para os valores adequados – treinamento da rede – é executado através da apresentação sucessiva de um conjunto de dados de treinamento, objetivando a minimização do erro entre a resposta produzida pela rede e a respectiva saída desejada. Após o processo de treinamento, a rede é capaz de estimar valores para um conjunto de entradas que não foram incluídas nos dados de treinamento.

Nesta aplicação, uma RNA será utilizada como aproximador de funções, uma vez que a vazão de exploração de um poço é uma variável dependente daquelas que serão utilizadas como variáveis de entrada. A tarefa da aproximação de funções consiste em mapear a relação existente entre as diversas variáveis que descrevem o comportamento de um sistema físico real (Tagliarini, 1991).

A habilidade de redes neurais artificiais em mapear funções não-lineares complexas as torna uma ferramenta atrativa para identificar e estimar modelos referentes ao comportamento dinâmico de processos de engenharia. Esta característica é particularmente importante quando o

relacionamento entre as várias variáveis do processo é não-linear e/ou não bem definido, tornando assim difícil a sua modelagem por técnicas convencionais.

Uma rede Perceptron Multi-Camadas (PMC), conforme mostrado na Figura 2, treinada com o algoritmo “backpropagation”, foi utilizada como um veículo prático para realizar a determinação da vazão a partir dos parâmetros medidos. Uma descrição detalhada dos conceitos envolvidos com a área de redes neurais artificiais pode ser encontrado em Haykin (1999).

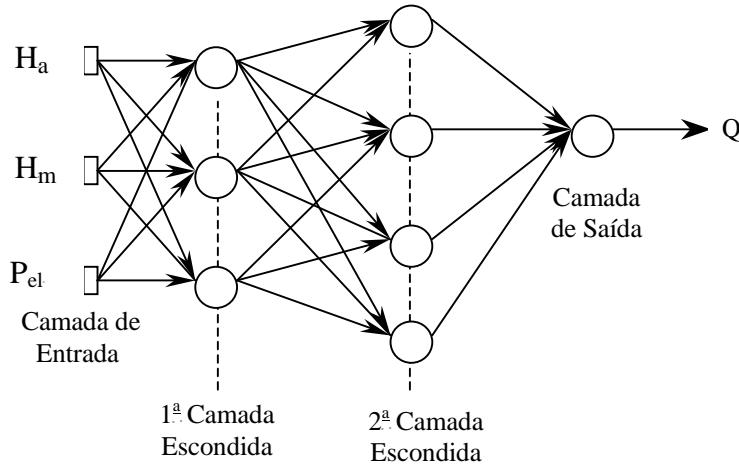


Figura 2. Rede neural utilizada para determinação da vazão

As variáveis de entrada aplicada à rede neural proposta são as seguintes:

- Nível de água do aquífero em metros no interior do poço ( $H_a$ ).
- Altura manométrica em metros de coluna de água ( $H_m$ ), a qual é definida por  $\{H_m = H_a + H_g\}$ .
- Potência elétrica em Watts absorvida da rede elétrica ( $P_{el}$ ).

A única variável de saída da rede é a vazão de exploração do aquífero ( $Q$ ), expressa em metros cúbicos por hora. Observa-se que para cada conjunto de valores de entrada para um dado instante  $t$ , a rede neural oferecerá um resultado para a vazão neste mesmo instante.

Conforme mostrado na Figura 2, a rede neural usada neste trabalho é composta de duas camadas escondidas e uma camada de saída com um neurônio apenas. A primeira camada escondida é composta por 15 neurônios e a segunda camada escondida é formada por 10 neurônios.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação do IEEG será feita a partir da Eq. (5), com os valores de vazão obtidos a partir da rede neural, e os demais parâmetros originados das medições de campo.

Para a fase de treinamento da rede neural proposta, foi apresentada uma série de eventos completos desde as primeiras horas de bombeamento do poço até a sua saturação. Para a fase de validação da rede, utilizou-se um total de 15 padrões de teste (Tabela 1), sendo que os mesmos não participaram do treinamento da rede.

Os valores das variáveis de entrada e a saída correspondente para um período de bombeamento, utilizados para o treinamento da rede, constituem um conjunto de 40 padrões (ou vetores) de treinamento. O erro aceitável durante o treinamento foi especificado a partir dos resultados obtidos em Silva et al (2000) e Cagnon et al (2000).

Portanto, após o treinamento, foram aplicados os valores das variáveis de entrada a fim de se obter os valores de vazão fornecidos pela rede. Esses valores obtidos da rede foram então comparados com aqueles medidos experimentalmente com o objetivo de se avaliar a precisão obtida. A Tabela 1 compara alguns valores fornecidos pela rede neural com aqueles medidos experimentalmente. A coluna “Erro Relativo” fornece o erro relativo entre os valores experimentais e aqueles computados pela abordagem neural.

Tabela 1. Comparativo entre as vazões fornecidas pela rede neural e medidas

Nível de Água $H_a(m)$	Altura Manométrica $H_m(m)$	Potência Elétrica $P_{el}(W)$	Vazão (Rede Neural) $Q (m^3/h)$	Vazão (Experimental) $(m^3/h)$	Erro Relativo (%)
25,10	8,25	26.256	74,99	75,00	0,013
31,69	40,50	26.155	53,00	62,00	14,52
31,92	48,00	25.987	56,00	56,00	0,000
31,12	48,00	25.953	55,00	55,00	0,000
32,50	48,00	25.970	54,08	54,00	0,148
32,74	48,00	25.970	54,77	54,50	0,495
33,05	48,00	25.937	54,15	54,00	0,278
33,26	48,00	25.954	58,54	54,00	8,407
33,59	48,00	25.869	53,01	53,00	0,019
33,83	48,00	25.886	53,49	53,50	0,019
34,15	48,00	25.887	53,50	53,00	0,943
34,41	48,00	25.886	53,48	53,50	0,037
34,71	48,00	25.785	53,25	53,30	0,094
34,95	48,00	25.870	53,14	53,00	0,264
35,00	48,00	25.801	53,14	53,00	0,264

Analisando a Tabela 1, observa-se que a abordagem neural fornece resultados bastante aceitáveis. O maior erro obtido é verificado nos instantes iniciais do processo, o qual representa uma situação de transitório no sistema de bombeamento do conjunto motobomba. Neste ponto cumpre observar que seria desejável um maior número de padrões de treinamento para a rede neural, especialmente se pudesse ser obtida uma maior amostragem nos instantes iniciais do processo.

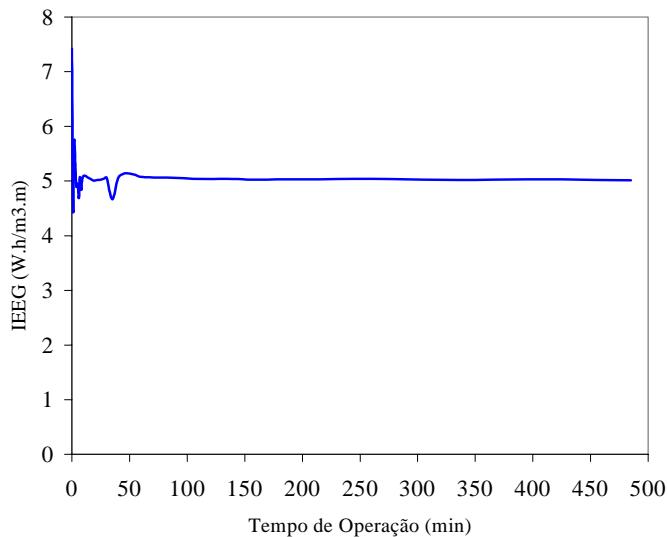


Figura 3. Comportamento do IEEG em relação ao tempo de operação

A partir dos valores medidos da potência elétrica, do nível dinâmico, do desnível geométrico e da pressão na saída do poço, e também da vazão obtida pela rede neural, determinou-se o comportamento do IEEG em relação ao tempo de operação. A Figura 3 mostra o comportamento do IEEG durante o período de bombeamento analisado. Os valores numéricos que geraram o gráfico da Figura 3 estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. IEEG calculado utilizando-se a abordagem neural

Tempo de Operação (min)	IEEG(t) (W.h/m <sup>3</sup> .m)	Tempo de Operação (min)	IEEG(t) (W.h/m <sup>3</sup> .m)
0	7,420*	40	5,054
1	4,456*	45	5,139
2	5,738*	50	5,134
3	5,245*	55	5,115
4	4,896*	60	5,073
5	4,951*	75	5,066
6	4,689*	90	5,060
7	5,078*	105	5,042
8	4,840*	120	5,037
9	5,027*	135	5,042
10	5,090*	155	5,026
11	5,100*	185	5,032
12	5,092*	215	5,030
14	5,066*	245	5,040
16	5,044*	275	5,034
18	5,015*	305	5,027
20	5,006*	335	5,017
22	5,017	365	5,025
24	5,022	395	5,030
26	5,032	425	5,031
28	5,049	455	5,020
30	5,062	485	5,015
35	4,663		

Na Tabela 2, os valores marcados com asteriscos representam o período de transitório do sistema. Observa-se também que a partir do regime transiente, os valores do IEEG ficam em torno de 5.

## 5. CONCLUSÕES

A cada dia que passa torna-se mais importante utilizar bem os recursos naturais disponíveis. A gestão dos recursos naturais de sistemas que exploram aquíferos subterrâneos compreende a análise de dois componentes básicos: a água, proveniente dos aquíferos; e a energia elétrica, necessária para seu transporte até o ponto de utilização. Assim, o desenvolvimento de um índice de eficiência que demonstre o comportamento energético de um dado sistema de captação, reveste-se de grande importância para o gerenciamento de um sistema consumidor de energia ou para mensurar o resultado obtido através de medidas gerenciais que visem a redução do consumo energético.

O IEEG então obtido irá indicar o comportamento energético global do sistema de captação de água de aquíferos, sendo um indicador de ocorrência de anormalidades, seja ela referente ao rompimento de tubulações ou obstrução das mesmas.

Quando da utilização prática da metodologia desenvolvida e da determinação do índice proposto, constatou-se que a obtenção dos parâmetros necessários não apresenta grandes dificuldades, podendo ser feita de maneira rotineira pelos próprios operadores dos poços. Posteriormente, o cálculo do IEEG poderá ser feito pelos próprios operadores, ou então ser implementado por meio de software e disponibilizado aos usuários através de sistemas computacionais amigáveis.

## **6. REFERÊNCIAS**

- Cagnon, J.A., Saggioro, N.J. and Silva, I.N., 2000, "Application of Neural Networks for Analysis of the Groundwater Aquifer Behavior", Proceedings of INDUSCON, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W, 1990, "Physical and Chemical Hydrogeology", John Wiley and Sons, New York, USA.
- Domenico, P.A., 1972, "Concepts and Models in Groundwater Hydrology", McGraw-Hill, New York, USA.
- Ferreira, J.J. and Ferreira, T.J., 1994, "Economia e Gestão da Energia", Texto Editora Lda, Lisboa, Portugal.
- Haykin, S., 1999, "Neural Networks – A Comprehensive Foundation", Prentice-Hall, New York, USA.
- Neto, J.M.A., 1998, "Manual de Hidráulica", Editora Edgar Blucher Ltda., 8a. edição, São Paulo.
- Silva, I.N., Saggioro, N. J. and Cagnon, J.A, 2000, "Using Neural Networks for Estimation of Aquifer Dynamical Behavior", Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Como, Itália.
- Tagliarini, G.A., Christ, J.F. and Page, E.W., 1991, "Optimization Using Neural Networks", IEEE Transactions on Computers, vol. 12, pp. 115-133.

## **7. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### **DETERMINATION OF GLOBAL ENERGETIC EFFICIENCY INDICATOR FOR WATER EXTRACTION PROCESSES TITLE**

#### **Nilton José Saggioro**

State University of São Paulo, Department of Electrical Engineering, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brazil. E-mail: nsaggioro@adaptanet.com.br

#### **Ivan Nunes da Silva**

State University of São Paulo, Department of Electrical Engineering, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brazil. E-mail: ivan@feb.unesp.br

#### **José Angelo Cagnon**

State University of São Paulo, Department of Electrical Engineering, CP 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brazil. E-mail: jacagnon@feb.unesp.br

**Abstract.** In most of the cases, the systems of water distribution from groundwater wells use electrical submersible pumps. All electrical energy is applied to the pumps; however, other components (pipes, valves, etc.) of these systems are also responsible by the higher or lower consumption of electric energy. The supervisors and operators of the systems should thus have knowledge of the global energetic behavior of the process in order to administrate it properly. This work suggests a 'Global Energetic Indicator' for groundwater wells by using mathematical equations and neural networks. Simulation results are presented in order to demonstrate the validity of the proposed approach.

**Keywords.** energetic efficiency, systems identification, deep wells, energetic administration, artificial neural networks.