

MODELO DE LABORATÓRIO DE SISTEMA EÓLICO PARA BOMBEAMENTO DE PETRÓLEO: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE

José Wilson Lage Nogueira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
wilson@ufrnet.br

Jander Teixeira Dantas

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
jandermec@yahoo.com.br

Daniel da Silva Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
danielveio@yahoo.com.br

Igor Mont'Alverne Jucá Seabra

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
igorseabra@uol.com.br

Ricardo Castilhos de Araújo Neves

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
ricardocastilhos@yahoo.com.br

Resumo. *A pesquisa em questão enfoca o dimensionamento e análise de um modelo de laboratório de elevação artificial de petróleo que utiliza energia eólica. O sistema de elevação foi avaliado com o propósito de verificar a possibilidade de alimentação elétrica de uma bomba destinada a poços de baixa produtividade que exijam pouca potência em áreas não servidas pela rede elétrica convencional. Este estudo utiliza como critério preponderante, as condições de vento do Nordeste brasileiro com base em dados eólicos desta região onde há poços terrestres produtores de petróleo utilizando motores a diesel, poluidores do ambiente. A modelagem e análise desse sistema foram iniciadas definindo-se o local de medição, onde há condições que viabilizam a implantação do modelo, como por exemplo, regime favorável dos ventos. Os dados de velocidade dos ventos foram obtidos com base em Atlas Eólico, bibliografia especializada e informações já coletadas previamente por anemômetros, aumentando a confiabilidade do tratamento dos dados. Os resultados confirmaram a possibilidade de utilização de fonte renovável de energia como alternativa no acionamento de bomba que eleve artificialmente o petróleo. Os resultados também mostram que se podem diversificar as técnicas de elevação desse óleo em regiões isoladas.*

Palavras-chave: *energia eólica, elevação de petróleo, modelo de laboratório*

1. INTRODUÇÃO

Vários poços de petróleo, em terra, localizam-se em regiões de difícil acesso ao abastecimento da rede elétrica convencional e, portanto, podem utilizar outras fontes de energia para a sua exploração, suprimindo todas as necessidades de produção, dependendo do tipo e característica do poço produtor.

A pesquisa em questão desenvolve (dimensiona e analisa) um modelo de laboratório de elevação artificial de petróleo que usa energia eólica. Simula o sistema de elevação e seu funcionamento com o propósito de alimentar, eletricamente, uma bomba usada em poços de baixa produtividade que exijam baixa potência e em áreas não servidas pela rede elétrica do sistema de abastecimento convencional. Utiliza como critério preponderante as condições específicas de vento do Nordeste brasileiro pela existência de dados eólicos da região e por existir muitos poços produtores de petróleo que não são servidos pela rede elétrica convencional fazendo uso de motores movidos a óleo diesel, poluidores do meio ambiente.

Para a modelagem e posterior montagem do sistema eólico, será necessária uma definição mais específica do local a ser estudado estando sujeito a condições que viabilizem a implantação desse sistema como regime dos ventos e características de produção do poço.

Os dados de velocidade dos ventos foram obtidos através de estimativas utilizando Atlas Eólico Brasileiro e também informações já coletadas previamente por instrumentos específicos (anemômetros), aumentando a confiabilidade no tratamento desses dados na modelagem do sistema.

Este sistema vem demonstrar a possibilidade de utilização de fonte renovável e inesgotável de energia como alternativa no acionamento de bomba que eleve, artificialmente, o petróleo. Diversifica as técnicas de elevação desse óleo em regiões isoladas sem necessidade de manutenção convencional e mais freqüente dos mecanismos que acionam os equipamentos de produção do poço.

2. O PETRÓLEO

2.1. Elevação do Petróleo

Quando a pressão do reservatório é relativamente baixa, os fluidos não alcançam a superfície sem que sejam utilizados meios artificiais para elevá-los. O mesmo ocorre no final da vida produtiva por surgência ou quando a vazão do poço está muito abaixo do que poderia produzir, necessitando de uma suplementação da energia natural através de “elevação artificial”. Utilizando equipamentos específicos reduz-se a pressão de fluxo no fundo do poço, com o conseqüente aumento do diferencial de pressão sobre o reservatório, resultando em um aumento de vazão (PETROBRAS, 2003).

Segundo Thomas (2001), alguns métodos de elevação artificial mais comuns na indústria do petróleo são:

- ✓ bombeio Mecânico com Hastes (BM): o movimento rotativo de um motor elétrico ou de combustão interna é transformado em movimento alternativo por uma unidade de bombeio localizada próxima à cabeça do poço. Uma coluna de hastes transmite o movimento alternativo para o fundo do poço, acionando uma bomba que eleva os fluidos produzidos pelo reservatório para a superfície;
- ✓ bombeio por Cavidades Progressivas (BCP): é uma bomba de deslocamento positivo que trabalha imersa em poço de petróleo, constituída de rotor e estator.

3. FONTES DE ENERGIA

3.1. Não-Renováveis

As energias não-renováveis são aquelas cuja escala de tempo de renovação excede de muito a duração da vida humana, da civilização, ou, até, da própria espécie, como o petróleo e o gás natural (Cerqueira Leite, 2002).

- petróleo: é mais utilizada. Atende as necessidades das populações como matéria-prima para os combustíveis automotivos. Também é matéria-prima para plásticos, borrachas, tintas, asfalto e inúmeros outros produtos;

- gás natural: ocorre na natureza associado ou não ao petróleo. A pressão nas reservas impulsiona o gás para a superfície, onde é coletado em tubulações (PETROBRAS, 2003).

3.2. Renováveis

A energia renovável é caracterizada pela sua abrangente distribuição e pela política “ecologicamente correta”, já que sua utilização depende apenas das condições ambientais, cuja principal qualidade está no fato de ser menos poluidora, ou seja, é considerada uma energia “limpa”. Quando comparada às fontes convencionais, as fontes alternativas de energia vêm através dos tempos ganhando mais adeptos e força no seu desenvolvimento e aplicação, tornando-se uma alternativa viável para a atual situação energética em que o mundo se encontra. As principais fontes renováveis de energia são:

- ✓ solar: uma maneira de aproveitar eficientemente a energia solar incidente é através do uso de coletores térmicos. Outra maneira é converter a energia solar diretamente em energia elétrica, utilizando células fotovoltaicas revestidas de semicondutores que, ao absorver luz, produzem uma pequena corrente elétrica;
- ✓ hidráulica: é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, através da evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre (Palz, 1995);
- ✓ eólica: o aproveitamento da energia eólica no mundo cada vez mais se consolida como uma alternativa viável e limpa. Esse tipo de energia compõe completamente matriz energética de muitos países e, uma vez que os ventos oferecem uma opção de suprimento e em conjunto com outras fontes renováveis, poderá conciliar as necessidades de uma sociedade industrial moderna com os requisitos de preservação ambiental (MME, 2001).

A velocidade dos ventos é monitorada através de equipamentos de coleta e armazenamento dos dados, conhecidos como anemômetro e registrador, exemplificados na Fig. (1 a e 1 b). As modernas estações anemométricas possuem acoplado ao anemômetro um sistema de transmissão de dados para uma central de processamento. Com os dados medidos e armazenados, pode-se efetuar um tratamento e o cálculo de grandezas estatísticas. Esses procedimentos são conhecidos como análise do comportamento dos ventos no período em que foram realizadas as medições (Hirata; Araújo, 2000).

As máquinas que transformam a energia dos ventos em energia elétrica são conhecidas como aerogeradores ou turbinas eólicas. Na Figura (1 c), observa-se o aerogerador instalado no Núcleo Tecnológico Industrial na Universidade Federal do RN – UFRN. A utilização dos sistemas eólicos para a geração de energia em larga escala constitui-se, atualmente, numa das mais promissoras alternativas. Nesse caso, utiliza-se um número grande de turbinas eólicas interconectadas; são as fazendas ou usinas eólicas, ilustradas na Fig. (1 d). Essas fazendas, formadas por dezenas e até centenas de sistemas eólicos, são instaladas em sítios com regimes de vento de excepcional qualidade; esse fato permite um aproveitamento mais eficiente de todas as potencialidades energéticas do sítio (Hirata; Araújo, 2000).

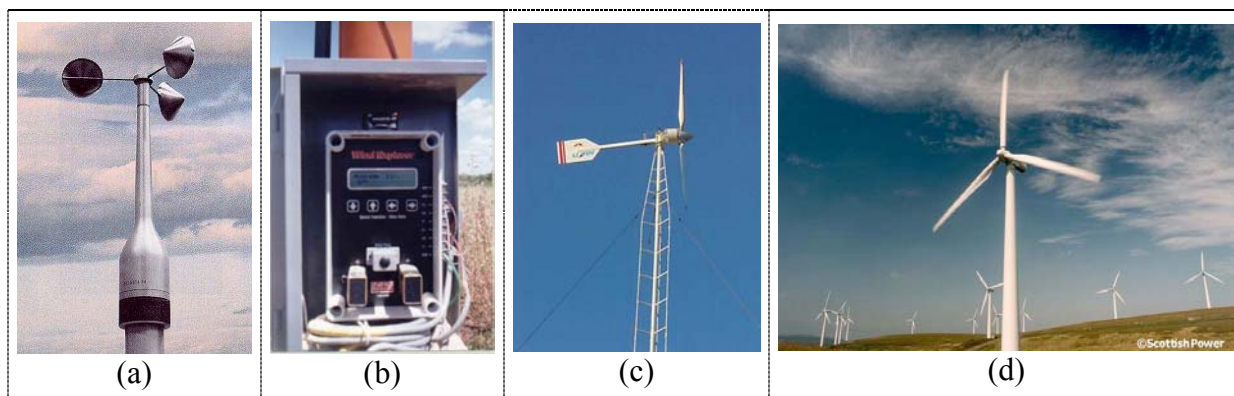


Figura 1. (a) Exemplo de anemômetro (PUC MINAS, 2003), (b) típico registrador coletor de dados eólicos (Fonte: LabDTE/UFRN), (c) aerogerador de pequeno porte (potência de 750 W) (Fonte: LabDTE/UFRN) e (d) usina eólica (BRITISH WIND ENERGY, 2003)

4. O MODELO

Segundo Fox (2001), modelo é a reprodução fiel do protótipo, obedecendo à semelhança geométrica construtiva por meio de transposição de escalas, fornecendo todos os fenômenos físicos que existiriam nos testes com o protótipo. A semelhança geométrica requer que o modelo e o protótipo tenham a mesma forma e que todas as dimensões lineares do modelo sejam relacionadas às correspondentes dimensões do protótipo por um fator de escala constante.

4.1. Definição do Local de Estudo

O local de estudo tem por base alguns fatores importantes, como regime dos ventos favorável à implantação do modelo, significando que na região devem incidir ventos com boa velocidade média anual, pequeno desvio padrão e direção sem grandes variações.

Para o dimensionamento do modelo, a região de análise foi Natal/RN, escolhida com base em dados de Atlas Eólico, bibliografia especializada e medições de ventos que definiram com maior confiabilidade essa área como sede para o modelo.

4.2. Aquisição e Análise dos Dados Eólicos

Duas fontes de dados eólicos foram utilizadas neste trabalho. A primeira usou dados gerais disponíveis em Atlas Eólico, Fig. (2), e a segunda, dados locais da UFRN coletados na Estação Meteorológica do Departamento de Geografia daquela Universidade, obtidos em uma torre com 10 metros de altura seguindo os padrões internacionais preconizados pela OMM – Organização Mundial de Meteorologia.

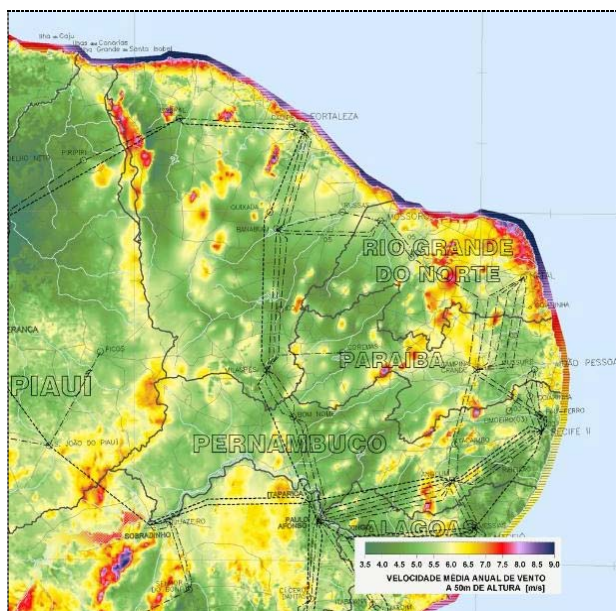


Figura 2. Médias anuais de vento com ênfase no Nordeste do Brasil com base no Atlas Eólico Brasileiro (MME; 2001).

Os dados coletados na UFRN, estão na tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Velocidades médias mensais desde agosto/1998 até julho/1999.

MÊS	MÉDIA MENSAL (m/s)	MÊS	MÉDIA MENSAL (m/s)
Agosto/98	4,2	Fevereiro/99	4,3
Setembro/98	4,5	Março/99	4,0
Outubro/98	4,9	Abril/99	4,0
Novembro/98	4,2	Mai/99	3,4
Dezembro/98	4,3	Junho/99	3,8
Janeiro/99	4,3	Julho/99	3,8

Fonte: Estação Meteorológica do Departamento de Geografia da UFRN.

O segundo banco de dados (da tabela 1) é mais detalhado no que diz respeito à distribuição dessas velocidades ao longo do ano. Foram usados os dados eólicos da UFRN como referência nos cálculos de energia pela modelagem matemática do sistema, já que apresentam uma boa confiabilidade e aplicabilidade durante o período de um ano de coleta. Para o cálculo da velocidade do vento em determinada altura, usa-se a relação seguinte (B. Ai et al., 2003):

$$V = V_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^n \quad (1)$$

V : velocidade do vento na altura desejada (m/s); V_0 : velocidade do vento medida na altura conhecida (m/s); h : altura desejada (m); h_0 : altura conhecida (m); n : fator de rugosidade (adimensional) do terreno de acordo com o quadro 1.

Descrição do terreno	Fator de rugosidade (n)
Terreno sem vegetação	0,10
Terreno gramado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores ou poucas edificações	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edifícios altos	0,32

Quadro 1. Variação do fator de rugosidade do terreno de acordo com o tipo de região da coleta dos dados eólicos. Fonte: ALDABÓ, 2002.

4.3. Modelagem Matemática do Sistema

Segundo (Palz, 1995), a energia eólica é a energia cinética do ar, ou seja, aquela que pode ser aproveitada e transformada em energia elétrica. Então, pode-se quantificar a equação base para o estudo; a energia cinética do ar (E_c):

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2)$$

E_c : energia cinética (J); m : massa de ar que atravessa a turbina (kg); v : velocidade dos ventos (m/s).

Assim, derivando-se a Eq. (2) em função do tempo, encontrar-se-á a potência eólica disponível para ser convertida em eletricidade:

$$\frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dm}{dt} \cdot v^2 \quad (3)$$

mas,

$$\frac{dE_c}{dt} = P_d \quad (4)$$

e

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot v \quad (5)$$

então

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (6)$$

P_d : potência eólica disponível (W); ρ : massa específica do ar (kg/m^3); A : área de varredura das pás da turbina (m^2).

Acrescentando-se dois fatores a Eq. (6) que dizem respeito aos rendimentos aerodinâmico e do gerador elétrico considerado síncrono, que são o coeficiente de potência e o outro fator denominado eficiência, respectivamente, chega-se à Eq. (7), que quantifica a potência elétrica de saída da turbina (Costa, 2001).

$$P_e = \eta(v) \cdot C_p(v) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (7)$$

P_e : potência elétrica de saída (W); η : eficiência e C_p : coeficiente de potência (adimensionais).

4.4. Produção de Energia do Sistema

A produção de energia elétrica por unidade de área proveniente dos ventos é geralmente realizada em alturas superiores a 10 m. Como o estudo terá como referência os dados da Estação Meteorológica da UFRN que está a 10 m, há necessidade de determinação da velocidade para a altura requerida fazendo-se uso da Eq. (1). Os cálculos foram realizados com os valores das velocidades de vento já estimados para 20 m e utilizando-se fator de rugosidade (n) de 0,26.

Na tabela 2 a seguir, estão os resultados da energia produzida para o caso analisado e por unidade de área de varredura das pás do aerogerador.

Tabela 2. Energia produzida por mês por unidade de área de varredura das pás do aerogerador.

<i>MÊS</i>	<i>V (a 20 m)</i>	<i>ENERGIA (kW.h/m².mês)</i>	<i>MÊS</i>	<i>V (a 20 m)</i>	<i>ENERGIA (kW.h/m².mês)</i>
Ago/98	5,03	11,6	Fev/99	5,15	11,2
Set/98	5,39	13,8	Mar/99	4,79	10,0
Out/98	5,87	18,4	Abr/99	4,79	9,7
Nov/98	5,03	11,2	Mai/99	4,07	6,1
Dez/98	5,15	12,4	Jun/99	4,55	8,3
Jan/99	5,15	12,4	Jul/99	4,55	8,6

No cálculo da energia produzida por mês adotou-se: coeficiente de potência (C_p) e eficiência (η) combinados = 0,2; massa específica do ar padrão (ρ) dada a 15° C no nível do mar = 1,225 kg/cm³; área de varredura (A) das pás da turbina eólica = 1 m².

4.5. Energia Produzida por Aerogerador de Pequeno Porte

Este estudo considera o aerogerador de pequeno porte instalado no Núcleo Tecnológico Industrial do Centro de Tecnologia da UFRN. Esta turbina eólica possui diâmetro de pás = 2,4 m; área de varredura = 4,524 m²; potência nominal = 750 W.

A produção de energia estimada para este aerogerador seguiu a modelagem matemática descrita no subtítulo 4.3. Os resultados estão na tabela 3.

Tabela 3. Energia produzida pelo aerogerador.

<i>MÊS</i>	<i>ENERGIA (kW.h/mês)</i>	<i>MÊS</i>	<i>ENERGIA (kW.h/mês)</i>
Ago/98	52,5	Fev/99	56,3
Set/98	64,6	Mar/99	45,3
Out/98	83,4	Abr/99	45,3
Nov/98	52,5	Mai/99	27,8
Dez/98	56,3	Jun/99	38,8
Jan/99	56,3	Jul/99	38,8

4.6. Dimensionamento da Bomba

Para garantir o funcionamento do sistema, sem que haja interrupções no fornecimento de energia para a bomba, o dimensionamento deverá considerar o mês de menor produção energética, no caso, o mês de maio/99. Com média estimada de energia produzida de 27,8 kW.h/mês, a bomba a ser selecionada não deverá ultrapassar o consumo de 926 W.h/dia.

4.7. Dimensionamento Específico: Análise Funcional de Bomba em Bancada de Testes

A bancada de testes desenvolvida na UFRN / NETZSCH tem as seguintes especificações e condições de trabalho, conforme Fig. (3) e quadro (2):

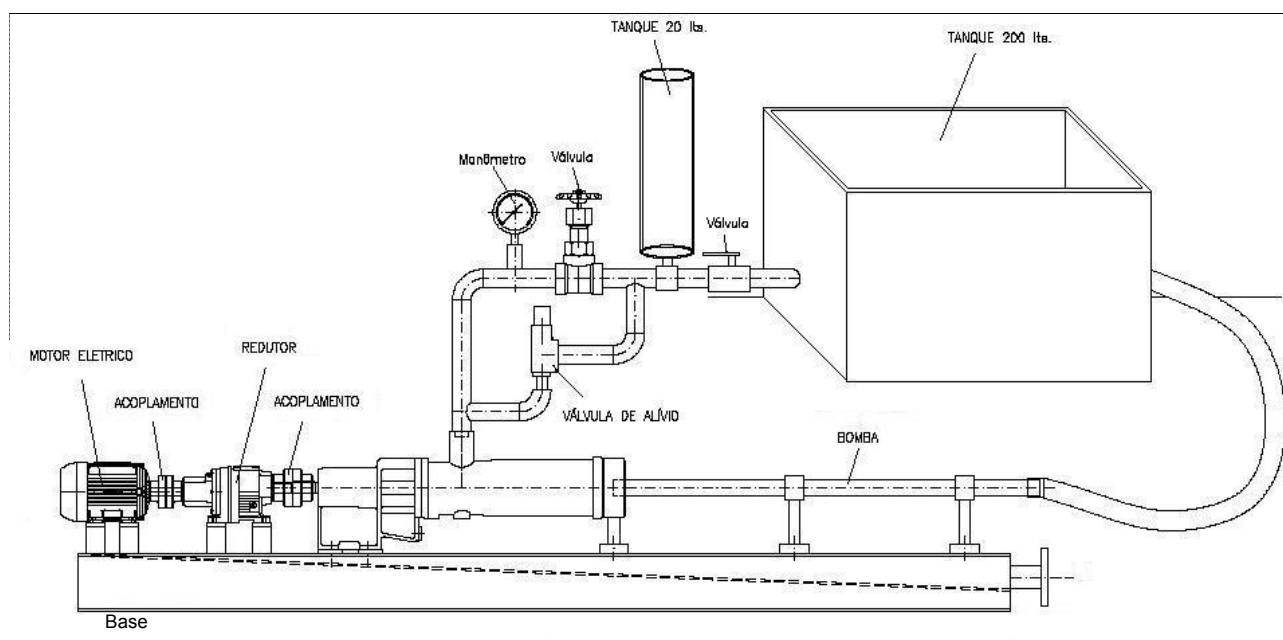


Figura 3. Esquema de parte da bancada de testes alimentada eletricamente por aerogerador de pequeno porte instalado no LabDTE/UFRN. Fontes: UFRN / NETZSCH do Brasil.

<i>Equipamento da bancada</i>	<i>Tipo</i>
Bomba	Cavidades progressivas
Base	Metálica
Tanque/reservatório	✓ Acrílico graduado com capacidade para 20 L (0,02 m ³) ✓ Aço carbono com capacidade para 200 L (0,2 m ³).
<i>Condições de trabalho</i>	<i>Características</i>
Meio de bombeio	Petróleo + água
Temperatura de bombeamento	40° C
Massa específica do fluido	9,6 x 10 ² kg/m ³
Viscosidade do fluido	0,4 Pa.s
Pressão manométrica	Max. 6 MPa
Rotação	300 rpm
Potência instalada	746 W

Quadro 2. Equipamentos instalados na bancada e condições de trabalho da bomba.

As condições do petróleo aproximam-se das características obtidas em poços de petróleo da região de Icapuí, no estado do Ceará.

Como o pequeno aerogerador em operação pode produzir 926 W.h/dia de energia e a potência instalada da bancada é de 746 W, o tempo de funcionamento será de 74 minutos diários, aproximadamente, sem que haja queda na capacidade de armazenamento do banco de baterias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, as energias alternativas vêm ganhando destaque na produção energética de muitos países. É uma fonte de energia inesgotável, em plena ascensão e que cada vez mais indústrias de alta tecnologia e universidades de todo o mundo vêm realizando pesquisas com objetivo de aumentar os conhecimentos para as aplicações de aerogeradores.

O estudo desenvolvido aliado à pesquisa realizada em um modelo de laboratório, comprova a possibilidade de utilização da energia eólica como fonte energética para bombeamento de petróleo como também identifica suas limitações.

Embora a autonomia do sistema estudado ser ainda pequena – 72 *min/dia* – a energia eólica pode ser utilizada como alternativa no acionamento de bomba de elevação de petróleo em casos reais usando aerogeradores de maiores potências. Pode-se dizer, também, que na região específica do estudo, a nova técnica para a elevação de petróleo pode ser usada e que a região Nordeste, dentre outras, apresenta características de vento favoráveis para a utilização da energia eólica como fonte energética renovável e não poluidora do meio ambiente.

6. AGRADECIMENTOS

Agência Nacional do Petróleo – ANP – através do Programa de Recursos Humanos nº 30 (PRH/UFRN-30) pela bolsa de estudos concedida;

FINEP e PETROBRAS pelos financiamentos;

NETZSCH do Brasil pela colaboração no desenvolvimento da bancada.

7. REFERÊNCIAS

ALDABÓ, Ricardo, 2002, “Energia Eólica”, Artliber, São Paulo, 157p.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso dia 22 fev.2003.

MME – Ministério das Minas e Energia, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001, CD.Rom.

B. Ai; H. Yang *et al*, 2003, “Computer-aided design of PV/wind hybrid system. RENEWABLE ENERGY”, n.28, pp.1491-1512.

BRITISH WIND ENERGY. Disponível em <<http://www.britishwindenergy.com.uk>>. Acesso em: 22 fev.2003.

CERQUEIRA LEITE, R.C. de, 2002, “Energia para o Brasil: um modelo de sobrevivência”, Rio de Janeiro, Expressão e Cultura, 136p.

COSTA, Alexandre Carlos Araújo da, 2001, “Metodologia em Análise e Projeto de Sistemas Híbridos Eólico – Solar – Bateria Para a Geração de Energia Elétrica”, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

FOX, Robert W.; McDONALD. 2001, “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, Tradução de Ricardo Nicolau Nassar Koury e Geraldo Augusto Campolina França. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 504 p. Título original: Introduction to fluid mechanics.

HIROO HIRATA, Miguel; ARAÚJO, Maria Regina O.P., 2000, “Introdução ao Aproveitamento de Energia Eólica”, Rio de Janeiro: [s.n.].

PALZ, Wolfgang, 1995, “Energia Solar e Fontes Alternativas”, Hemus, São Paulo, 358p.

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro s/a. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso dia 23 fev.2003.

PUC MINAS – Pontifícia Universidade Católica. Disponível em <<http://www.green.pucminas.br>>. Acesso em: 22 fev.2003.

THOMAS, José Eduardo, 2001, “Fundamentos de Engenharia do Petróleo”, Interciência, Rio de Janeiro, 271p.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso.

MODEL OF LABORATORY OF WIND SISTEM FOR PUMPING OF PETROLEUM: DESIGN AND ANALYSIS

José Wilson Lage Nogueira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
wilson@ufrnet.br

Jander Teixeira Dantas

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
jandermec@yahoo.com.br

Daniel da Silva Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
danielveio@yahoo.com.br

Igor Mont’Alverne Jucá Seabra

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
igorseabra@uol.com.br

Ricardo Castilhos de Araújo Neves

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
ricardocastilhos@yahoo.com.br

This research is about a design and analysis of a laboratory model of an oil artificial elevation system, which uses wind energy. The elevation system was evaluated to verify the feasibility of using anelectrically powered pump in low productivity wells, in areas not served by the conventional electrical power. This research uses as main criterion, the wind conditions data at the Brazilian Northeast where oil production uses diesel motors, increasing environmental pollution. The modelling and analysis of that system started wich the definition of the location where the data would be collected based on the conditions that made possible the implantation of the model, for example, favorable regime of the winds. The wind speed data were obtained from a wind Atlas, technical references and information previously collected by anemometers, increasing the reliability of the treatment of the data. The results confirmed the possibility of using energy from a renewable source as an alternative to pumping oil artificially. The results also showed that they can diversify the techniques of oil’s elevation in isolated areas.

Keyword: wind energy, elevation of petroleum, laboratory model