

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DOS ESTADOS UNIDOS

Luiz Cláudio Sayão Cortez
Universidade Federal Fluminense
luizclaudiocortez@gmail.com

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello
Universidade Federal Fluminense
joaocsmello@gmail.com

Resumo

Os EUA são atualmente o maior produtor mundial de energia elétrica a partir de seu potencial eólico, entretanto, possuem apenas 7% da sua matriz energética de fontes renováveis, sendo, portanto, altamente dependente de fontes poluentes. Diante disso, o presente artigo tem o propósito de avaliar a capacidade de melhoria no aproveitamento dos recursos eólicos dos estados americanos, buscando diversificar a matriz energética do país com um aumento da participação desta fonte limpa e renovável. Foi utilizada a técnica de Análise Envoltória de Dados para ranquear os estados americanos no que diz respeito à eficiência na geração eólica, incluindo no estudo a questão dos acidentes decorrentes deste processo de produção. Como resultado da aplicação de DEA, observou-se um amplo potencial para expansão desta fonte, além de possibilitar a geração de metas de melhoria do processo produtivo para os estados ineficientes a partir dos *benchmarks* identificados.

Palavras-chave: energia eólica, eficiência, estados americanos.

Abstract

The USA is currently the world major producer of electric energy from its eolic potential, however, it has only 7% of its energetic matrix from renewable sources, and therefore it is highly dependent on pollutant sources. Then, the present article has the purpose of evaluate the improvement capacity in usability of USA states eolic resources, focusing in diversify the country energetic matrix to increase the share of this clean and renewable source. It was used the Data Envelopment Analysis technique to rank the USA states in respect to eolic generation efficiency, including in the study the issue about accidents caused by this production process. As result of the DEA application, it shows a broadly expansion potential of this source, and the possibility to generate improvement targets of the production process to the inefficient states using the identified benchmarks.

Keywords: eolic energy, efficiency, USA states.

1. Introdução

Conforme exposto na terceira edição do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2009) publicado pela ANEEL, a energia eólica é obtida através da energia cinética gerada pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura do planeta.

A geração ocorre pelo contato do vento com as pás dos cata-ventos, que são partes integrantes das usinas, girando e dando origem à energia mecânica que aciona o rotor do aerogerador, produzindo eletricidade. O potencial de conversão em energia elétrica depende da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás e da velocidade do vento. Diante disso, observa-se que esta fonte depende da disponibilidade de condições naturais específicas e favoráveis.

Como características positivas desta fonte se destacam a renovabilidade, perenidade, grande disponibilidade, independência de importações e custo zero para obtenção de suprimento. Já o principal argumento contrário é o custo, que apesar de estar caindo ao longo do tempo, ainda é elevado em comparação com outras fontes.

A média mundial do fator de capacidade de parques eólicos, que é proporção entre produção efetiva de energia elétrica e capacidade total em determinado período de tempo, é de 30%.

Segundo o exposto por Grubb e Meyer (1993), para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Além disso, conforme informações da Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental.

Na Tabela 1 está a distribuição da área dos continentes conforme a velocidade média do vento apresentada.

Tabela 1 – Distribuição da área dos continentes segundo velocidade média do vento

Fonte: Grubb, M. J; Meyer, N. I., 1993.

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

A capacidade instalada mundial aumentou 1155% entre 1997 e 2007, passando de 7,5 mil para 93,8 mil MW, conforme publicado em 2008 pela World Wind Energy Association (WWEA). Segundo publicação desta mesma entidade referente ao ano 2007, o maior parque eólico estava na Alemanha, com capacidade total de 22 mil MW, correspondendo a 23,7% do total mundial. O segundo lugar ficou com os Estados Unidos (18% de participação), graças ao salto de 45% verificado entre 2006 e 2007 na capacidade instalada local, atingindo um total de 16,8 mil MW. Na seqüência veio Espanha com 16,1% de participação. Na Tabela 2 está este ranqueamento por potência instalada:

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Tabela 2 – Potência instalada em 2007 Fonte: WWEA, 2008.

	País	Potência (MW)	% em relação ao total
1º	Alemanha	22.247,40	23,7
2º	Estados Unidos	16.818,80	17,9
3º	Espanha	15.145,10	16,1
4º	Índia	7.850,00	8,4
5º	China	5.912,00	6,3
6º	Dinamarca	3.125,00	3,3
7º	Itália	2.726,10	2,9
8º	França	2.455,00	2,6
9º	Reino Unido	2.389,00	2,5
10º	Portugal	2.130,00	2,3
25º	Brasil	247,10	0,3
	Total	93.849,10	100,0

Entretanto, segundo informado em 2009 pelo Global Wind Energy Council (GWEC), os EUA superaram a Alemanha devido ao aumento de 8,35 gigawatts na sua capacidade instalada, elevando sua capacidade em 50% e assumindo o posto de maior produtor de energia eólica, com um total de 25,1 gigawatts, contra 23,9 gigawatts do país europeu.

2. O problema

Apesar dos Estados Unidos serem o país que mais produz energia elétrica a partir de seu potencial eólico no mundo, a participação desta fonte em sua matriz energética ainda é muito pequena, com 0,49% da oferta total de energia, representando 7% da parcela de energia renovável, conforme Figura 1:

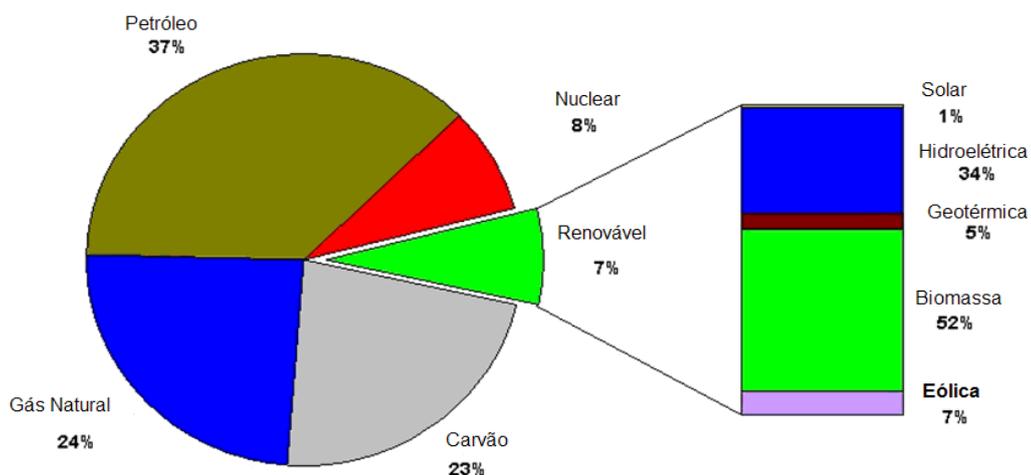


Figura 1 – Matriz Energética dos Estados Unidos

Fonte: U.S. Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, 2008.

Além disso, observa-se uma elevada dependência de fontes de energia não-renováveis, tendo 84% da matriz formada de petróleo, gás natural e carvão, que são combustíveis fósseis altamente poluentes.

Diante disso, fica evidente a necessidade de aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética, principalmente no que diz respeito melhor utilização dos recursos naturais disponíveis no país.

3. Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a eficiência dos EUA no que diz respeito à capacidade de conversão dos seus recursos naturais disponíveis relativos ao seu potencial eólico em energia elétrica.

Dos 50 estados americanos, 18 foram excluídos da avaliação pelos seguintes motivos:

- As informações necessárias para a Análise Envoltória de Dados (DEA), técnica utilizada no estudo proposto, só estavam disponíveis integralmente para os 48 estados contíguos americanos, o que motivou a exclusão dos estados do Alasca e Havaí.
- Dos 48 estados contíguos americanos que dispunham de toda informação necessária, 16 não tinham capacidade instalada, sendo então zero a produção dos mesmos. Desta forma, não existe qualquer *output* gerado, o que inviabiliza a utilização coerente da técnica proposta.

Sendo assim, a análise de eficiência deste estudo será realizada para 32 dos 50 estados americanos, e está centrada nas seguintes diretrizes:

- Aproveitamento dos recursos naturais disponíveis relacionados com potencial eólico para geração de energia elétrica.
- Mitigação de acidentes decorrentes deste processo de produção.
- Ranqueamento dos estados.
- Identificação de oportunidades de melhoria para estados mais ineficientes, tendo como referência os estados *benchmarks* adequados.

4. Justificativa

A técnica utilizada no presente estudo foi a Análise Envoltória de Dados (DEA). Conforme exposto em Soares de Mello et al. (2005), a DEA tem por objetivo primário a comparação de unidade produtivas (DMUs) que realizam tarefas similares mas se diferenciam em recursos consumidos e saídas produzidas. Desta forma, a técnica torna possível identificar as DMUs eficientes, que compõem a fronteira de eficiência e servem de *benchmarks* para as ineficientes, que por sua vez buscam maximizar suas eficiências através das metas e alvos relativos à fronteira determinada.

Diante da exposição conceitual anterior e dos objetivos propostos para o presente trabalho, a utilização da técnica de DEA mostra-se adequada, visto que as unidades produtivas ou DMUs são os estados americanos, que em suas fazendas eólicas consomem o vento (recursos de *input*) para produção de energia elétrica (*output* gerado), podendo-se então identificar a eficiência relativa entre os 32 estados estudados para posterior ranqueamento.

Uma vez determinada a eficiência relativa de cada estado dentro do grupo estudado, conforme Soares de Mello et al. (2005), é possível subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos. Sendo assim, cada estado ineficiente terá suas DMUs *benchmarks* eficientes correspondentes, que servirão de parâmetro para determinação de metas de consumo de *inputs* ou geração de *outputs* que levarão cada DMU ineficiente a fronteira de eficiência.

Entretanto, este processo produtivo está sujeito à ocorrência de acidentes. Dentre os acidentes mais comuns relacionados à utilização de energia eólica está o choque de pássaros com as turbinas, explosões por problemas elétricos ou falta de manutenção e desprendimento de hélices. Sendo assim, levando em consideração a preocupação crescente com requisitos de segurança do trabalho e meio ambiente nos processos produtivos, o *output* indesejável de número de acidentes será considerado no presente trabalho.

5. Modelagem

Os modelos de DEA mais conhecidos são o CCR, que considera retornos constantes de escala com proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, e o BCC, que considera retornos variáveis de escala. Seguem abaixo os *inputs* e *outputs* escolhidos para a modelagem do problema:

Inputs:

- Área disponível (km²) do território com no mínimo 30% Fator de Capacidade acima de 80m de altura (excluindo regiões de proteção ambiental e de uso incompatível, como áreas urbanas, aeroportos, etc.). (Fonte: *U.S. Department of Energy*)
- Capacidade Instalada (Megawatts). (Fonte: *Energy Information Administration*).

Outputs:

- Geração Anual (Megawatts-hora). (Fonte: *Energy Information Administration*).
- Número de acidentes relacionados com fazendas eólicas. (Fonte: *CWIF - Caithness Windfarm Information Forum*).

O modelo escolhido foi o BCC, visto que não existe proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, sendo a escala de produção de energia elétrica variável conforme disponibilidade de fazendas eólicas em área disponível que atenda aos requisitos mínimos de utilização dos ventos.

Além disso, foi escolhida a orientação a *output*, em que se busca maximizar a produção de energia elétrica a partir de recursos de capacidade instalada e área disponível fixos.

Já o número de acidentes é um *output* indesejável, que, ao contrário da geração de energia (Megawatts-hora), deve ser minimizado. Segundo explicação de Gomes et al. (2007), há duas maneiras de tratá-lo: como *input*, que pode ser usado tanto em modelos DEA BCC quanto em CCR, ou como um *output*, cujo valor é o seu inverso, mas só pode ser usada em modelos DEA CCR.

Sendo assim, como o modelo escolhido foi o BCC e a orientação a *output*, **o número de acidentes deixa de ser tratado como *output* da modelagem e passa a ser *input*.**

Entretanto, existem estados que não obtiveram acidentes no período avaliado (ano de 2008), o que determinaria um *input* de valor zerado. Para que a modelagem do problema não perca consistência, foi utilizada a propriedade do modelo BCC citada em Soares de Mello et al. (2005), que diz que este é invariante a translações de *inputs* quando é orientado a *outputs* e vice-versa. Por isso, foi acrescentada uma unidade ao número de acidentes para todos os 32 estados do grupo estudado.

Seguem na Tabela 3 os *inputs* e *outputs* com os valores especificados para cada um dos 32 estados que compõem o grupo de DMUs avaliadas:

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Tabela 3 – Inputs e Outputs utilizados na modelagem DEA (Informações de 2008)

Países	Inputs			Outputs
	Área Viável Disponível (km ²)	Capacidade Instalada (Megawatts)	Acidentes + 1 (Translação Eixo BCC)	Geração (Milhares de megawatts-hora)
California	6822,0	2368,0	11,0	5385,0
Colorado	77443,9	1063,0	2,0	3221,0
Idaho	3615,1	117,0	2,0	207,0
Illinois	49976,4	962,0	5,0	2337,0
Indiana	29645,5	131,0	1,0	238,0
Iowa	114142,8	2635,0	3,0	4084,0
Kansas	190474,2	812,0	2,0	1759,0
Maine	2250,2	47,0	2,0	132,0
Massachusetts	205,6	2,0	1,0	4,0
Michigan	11808,5	124,0	1,0	141,0
Minnesota	97854,1	146,0	11,0	4355,0
Missouri	54871,0	163,0	3,0	203,0
Montana	188800,9	255,0	3,0	593,0
Nebraska	183599,7	25,0	3,0	214,0
New Hampshire	427,1	24,0	1,0	10,0
New Jersey	26,4	8,0	2,0	21,0
New Mexico	98416,7	496,0	1,0	1643,0
New York	5156,3	707,0	6,0	1251,0
North Dakota	154039,2	776,0	2,0	1693,0
Ohio	10983,9	7,0	2,0	15,0
Oklahoma	103364,4	708,0	2,0	2358,0
Oregon	5420,1	1059,0	1,0	2575,0
Pennsylvania	661,4	361,0	2,0	729,0
South Dakota	176482,5	193,0	1,0	145,0
Tennessee	61,9	29,0	1,0	50,0
Texas	380305,9	7427,0	10,0	16225,0
Utah	2620,7	19,0	1,0	24,0
Vermont	589,7	5,0	3,0	10,0
Washington	3695,7	1365,0	1,0	3657,0
West Virginia	376,6	330,0	2,0	392,0
Wisconsin	20751,4	231,0	1,0	487,0
Wyoming	110414,5	680,0	1,0	963,0

Será utilizado o *software* SIAD versão 3.0 para aplicação da técnica de Análise Envoltória de Dados com os da Tabela 3.

6. Resultados

Para o modelo BCC com orientação a *output* e utilizando os dados da tabela acima, o *software* SIAD gerou os seguintes resultados relacionados às eficiências do grupo de 32 estados americanos estudados que constam na Tabela 4.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Tabela 4 – Resultados gerados pelo SIAD para o modelo BCC

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Tennessee	1,00000	0,27988	0,86006	1,00000
New_Mexico	1,00000	0,38573	0,80714	0,93847
New_Jersey	1,00000	0,39178	0,80411	0,93495
Oklahoma	0,94826	0,42483	0,76172	0,88566
Colorado	0,97329	0,48331	0,74499	0,86621
Washington	1,00000	0,55659	0,72170	0,83913
Pennsylvania	1,00000	0,60529	0,69735	0,81082
Maine	0,62796	0,27244	0,67776	0,78804
Oregon	0,90509	0,59879	0,65315	0,75942
Wisconsin	0,71344	0,42360	0,64492	0,74986
Indiana	0,55093	0,40115	0,57489	0,66843
Utah	0,41908	0,40753	0,50578	0,58807
California	1,00000	1,00000	0,50000	0,58136
Massachusetts	1,00000	1,00000	0,50000	0,58136
Minnesota	1,00000	1,00000	0,50000	0,58136
Texas	1,00000	1,00000	0,50000	0,58136
Idaho	0,46509	0,48062	0,49224	0,57233
North_Dakota	0,64026	0,67680	0,48173	0,56011
West_Virginia	0,95261	1,00000	0,47631	0,55381
Illinois	0,57317	0,69127	0,44095	0,51270
Kansas	0,64487	0,85751	0,39368	0,45774
Michigan	0,38350	0,63746	0,37302	0,43372
Iowa	0,64607	1,00000	0,32304	0,37560
New_York	0,61756	1,00000	0,30878	0,35902
Wyoming	0,46534	0,96630	0,24952	0,29013
Montana	0,36649	1,00000	0,18325	0,21306
Vermont	0,32443	1,00000	0,16222	0,18861
Nebraska	0,30617	1,00000	0,15309	0,17800
South_Dakota	0,22738	1,00000	0,11369	0,13219
New_Hampshire	0,15748	1,00000	0,07874	0,09155
Missouri	0,15463	1,00000	0,07732	0,08990
Ohio	0,09673	1,00000	0,04836	0,05623

Soares de Mello et al. (2005) descreve a fronteira invertida como uma avaliação pessimista das DMUs, que apresentam as piores práticas gerenciais, sendo também conhecida como fronteira de ineficiência. A justificativa para sua inclusão na análise é de que as DMUs podem ser eficientes ao considerar apenas algumas das variáveis, utilizando aquelas que lhes são mais favoráveis, sendo o desempenho em outras muito ruim. Por isso, a eficiência composta normalizada é a eficiência que será utilizada no ranqueamento dos estados, visto que considera a média da eficiência padrão com a invertida, avaliando de forma pior as DMUs falso positivas.

Os estados da Califórnia, Massachusetts, Minnesota e Texas são DMUs falso positivas, visto que ganharam o máximo de eficiência na fronteira padrão e na fronteira invertida. A Califórnia, Texas e Minnesota apresentaram elevada produção de energia elétrica, porém às custas de um elevado número de acidentes, o que reflete uma prática gerencial ruim. Já Massachusetts não apresenta nenhum acidente, mas também detém a menor produção entre os 32 estados avaliados.

O estado mais eficiente foi o Tennessee, enquanto que o mais ineficiente foi Ohio. Em relação à área viável disponível, Ohio tem quase 180 vezes o tamanho da área do Tennessee, porém possui uma capacidade instalada 4 vezes menor, tendo por consequência mais de 3 vezes

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

menos energia elétrica gerada. Isto retrata um grande potencial de geração por parte do estado de Ohio que é extremamente subaproveitado.

Os três piores estados, New Hampshire, Missouri e Ohio, serão avaliados no que diz respeito a definição das metas necessárias para atingirem a fronteira de eficiência, tendo como referência as DMUs eficientes da fronteira padrão que servirão de *benchmarks*. Da mesma forma, a avaliação pode ser realizada para as demais DMUs ineficientes.

Segue na Tabela 5 a definição dos alvos para os três estados citados:

Tabela 5 – Alvos para três estados mais ineficientes

New_Hampshire (eficiência: 0,157482)				
Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
Area	427,08	427,08	0,00	427,08
CapInst	24,00	24,00	0,00	24,00
AcidentesAjust	1,00	1,00	0,00	1,00
Geracao	10,00	63,50	0,00	63,50

Missouri (eficiência: 0,154630)				
Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
Area	54.871,02	54.871,02	8.853,32	46.017,70
CapInst	163	163	0	163
AcidentesAjust	3	3	0	3
Geracao	203	1.312,81	0	1.312,81

Ohio (eficiência: 0,096727)				
Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
Area	10.983,94	10.983,94	7.387,77	3.596,17
CapInst	7	7	0	7
AcidentesAjust	2	2	0,652778	1,347222
Geracao	15	155,076389	0	155,076389

Além disso, segue na Tabela 6 a relação dos benchmarks conforme eficiência padrão:

Tabela 6 – Benchmarks para os estados mais ineficientes

DMU	Massachusetts	Minessota	New_Mexico	Washington
Missouri	0,5324	0,2000	0,2676	0,0000
New_Hampshire	0,9828	0,0000	0,0017	0,0155
Ohio	0,9653	0,0347	0,0000	0,0000

No que diz respeito ao estado do Missouri, o *benchmark* relativo à geração é Minnesota, que foi um dos estados com maior produção de energia elétrica, porém também foi um dos estados com maior número de acidentes. Sendo assim, para esta variável os *benchmarks* são New Mexico e Massachusetts, que não produziram tanto, mas não tiveram nenhum acidente. Como alvo para geração com a capacidade instalada atual está o valor de 1312,81 mil megawatts-hora.

O estado de Ohio apresenta uma folga muito significativa em relação à área viável disponível, representando aproximadamente 70% do valor atual. Associando este fato a capacidade instalada reduzida, observa-se um grande subaproveitamento das dos recursos naturais disponíveis no que tange o potencial eólico.

Já no caso de New Hampshire, como este não apresentou acidentes, o foco está apenas na escala de produção, tendo como *benchmark* Massachusetts, que tem semelhanças nas características de produção, porém se mostrou uma DMU eficiente. O alvo calculado mostra que a produção deveria sair de 10 para 63,50 mil megawatts-hora.

7. Conclusão

Este trabalho analisou a eficiência dos estados americanos no que diz respeito à capacidade de conversão dos seus recursos naturais em energia de origem eólica, levando em consideração a segurança inerente ao processo de produção.

Com a aplicação da técnica de Análise Envoltória de Dados, foi mostrado que é possível aproveitar de forma mais eficiente e segura o potencial eólico dos estados americanos, que em muitos casos é subaproveitado ou tem como consequência do processo de geração um número significativo de acidentes. Além disso, esta técnica permitiu identificar estados *benchmarks* cujas práticas gerenciais podem servir de referência para os estados ineficientes, estipulando metas de geração que norteiem a implementação de programas de melhoria.

Diante disso, pode ser elaborado um plano de desenvolvimento e melhoria da geração eólica para cada estado americano, contribuindo para diversificação da matriz energética dos EUA.

Referências

ANEEL (2002). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 1ª Edição.

ANEEL (2005). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2ª Edição.

ANEEL (2009). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª Edição.

Angulo Meza, L.; Biondi Neto, L.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G. (2003). SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: uma implementação computacional de modelos de Análise Envoltória de Dados. Resumos da I Reunião Regional da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional no Rio de Janeiro, 24-24.

Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v.30, n.9, p. 1078-1092.

Caithness Windfarm Information Forum. Accidents Statistics, [on line], disponível em: <<http://www.caithnesswindfarms.co.uk/fullaccidents.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

Charnes, A.; Cooper, W.W.; Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v.2, p. 429-444.

Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Assis, A.A.; Morais, D.; Oliveira, N.A.C. (2003). Uma medida de eficiência em segurança pública, Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção da UFF.

Grubb, M. J; Meyer, N. I. (1993). Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JOHANSSON, T. B. et. al. *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Washington, D.C.: Island Press.

Nanci, L.C.; Azeredo, S.M.; Soares de Mello, J.C.C.B. (2004). Estudo da eficiência de empresas distribuidoras de jornais usando análise envoltória de dados. *Produto & Produção*, vol.7, n.3, p.27-35.

Soares de Mello, J.C.C.B.; Ângulo Meza, L.; Gomes, E.G.; Biondi Neto, L. (2005). Curso de Análise Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Gramado, RS.

U.S. Energy Information Administration. Renewable & Alternative Fuel Data, Reports, Analysis and Surveys [on line], disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

Wind World Energy Association. Wind World Energy Report 2008 [on line], disponível em: <http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2008_s.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2011.