ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA DOS ESTADOS BRASILEIROS

David Costa Correia-Silva[1]
Marcos Rodrigues[2]

O Brasil possui relevantes diferenças regionais em termos de renda, qualidade de vida e consumo de energia. O objetivo deste artigo foi verificar a eficiência do uso de energia e qualidade de vida entre as Unidades Federativas (UFs) brasileiras. A hipótese estabelecida é de que os estados com melhores Índices de Desenvolvimento Humano (IDHs) seriam os mais eficientes. Para testar a hipótese foi utilizada a metodologia de análise envoltória de dados (DEA, do inglês *data envelopment analysis*). Os resultados mostram que não há necessariamente relação de eficiência entre consumo de energia e qualidade de vida. Existe uma heterogeneidade na eficiência entre os estados que é observada justamente por essas marcantes diferenças no desenvolvimento regional brasileiro.

Palavras-chave: eficiência; DEA; IDH; desigualdade.

ANALYSIS OF EFFICIENCY IN ENERGY CONSUMPTION OF BRAZILIAN STATES

Brazil has significant regional differences in terms of income, quality of life and energy consumption. The aim of this paper was to verify the efficiency of energy use and quality of life among Brazilian states. The established hypothesis is that states with higher human development index would be the most efficient. To test the hypothesis, it was used the data envelopment analysis methodology – data envelopment analysis (DEA). The results show that there is not necessarily a relationship between energy consumption efficiency and quality of life. There is heterogeneity in efficiency between the states that is precisely observed by these striking differences in the Brazilian regional development.

Keywords: efficiency; DEA; HDI; inequality.

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONSUMO DE LOS ESTADOS DE BRASIL

Brasil tiene importantes diferencias regionales en términos de ingresos, calidad de vida y el consumo de energía. El objetivo de este trabajo fue verificar la eficiencia del uso de energía y la calidad de vida entre los estados brasileños. La hipótesis establecida es que los estados con mayor índice de desarrollo humano serían los más eficientes. Para probar la hipótesis de que se utilizó la metodología de análisis envolvente de datos – *data envelopment analysis* (DEA). Los resultados muestran que no hay necesariamente una relación entre la eficiencia del consumo de energía y la

1. Bacharel em ciências econômicas pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mestre em economia por esta universidade e doutorando em desenvolvimento sustentável do trópico úmido na mesma instituição. *E-mail*: <davidcorreiasilva@hotmail.com>.

2. Mestre em agronegócios e desenvolvimento regional pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e doutorando em desenvolvimento sustentável do trópico úmido na UFPA. *E-mail*: <marcos.rodrigues.adm@gmail.com>.

calidad de vida. Hay heterogeneidad en la eficiencia entre los estados que se observa precisamente por estas notables diferencias en el desarrollo regional brasileña.

Palabras clave: eficiência; DEA; IDH; desigualdad.

ANALYSE DE L'EFFICACITÉ DANS LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES ÉTATS BRÉSILIENS

Le Brésil a d'importantes différences régionales en termes de revenus, la qualité de vie et la consommation d'énergie. Le objectif de cet article était de vérifier l'efficacité de la consommation d'énergie et la qualité de vie entre les Etats brésiliens. L'hypothèse est établi que les Etats ayant un indice de développement humain seraient les plus efficaces. Pour tester l'hypothèse, il a été utilisé la méthodologie d'analyse d'enveloppement des données – *data envelopment analysis* (DEA). Les résultats montrent qu'il ne existe pas nécessairement de lien entre l'efficacité et la qualité de vie la consommation d'énergie. Il existe une hétérogénéité de l'efficacité entre les Etats qui est précisément observées par ces différences frappantes dans le développement régional brésilien.

Mots-clés: efficacité; DEA; IDH; inégalité.

JEL: C61; Q41.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia é um fator fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer nação. Parte relevante das fontes de energia do mundo é de origem fóssil; isso significa que são poluidoras e não renováveis. Neste sentido, garantir o uso eficiente é um importante fator para o contínuo progresso dos países tanto por questões financeiras quanto ambientais. No contexto econômico, as fontes energéticas são divididas entre eletricidade e combustível, e esses são os insumos que atendem aos lares e aos setores produtivos da sociedade. Do ponto de vista ambiental, questões sobre as emissões de gases tóxicos na atmosfera têm preocupado a população mundial, que tem buscado fontes de energia ou equipamentos menos impactantes ao meio ambiente.

A matriz energética brasileira (MEB) refere-se ao conjunto de fontes energéticas disponíveis no país. Destaca-se que a matriz nacional é uma das mais limpas do mundo, em razão das condições naturais do território brasileiro, que conta com grande quantidade de rios represáveis para construção de usinas hidrelétricas e terras para plantação de culturas utilizáveis na produção de biocombustíveis. Naturalmente, a MEB passa por mudanças ao longo do tempo em função de variações nos preços das fontes energéticas, da disponibilidade de recursos naturais e de transformações socioeconômicas, do desenvolvimento de tecnologias de produção ou do consumo eficiente ou, ainda, do contexto político, como é o caso das questões ambientais, as quais têm levado à exigência de cada vez mais responsabilidade com os recursos naturais, o que tem imposto uma intensa busca pela eficiência por parte dos usuários, a fim de garantir o abastecimento

com preços em níveis adequados e a sustentabilidade ambiental na geração e no consumo de energia.

O quadro da MEB mostra que as usinas hidrelétricas são as principais fontes de eletricidade do Brasil, isso devido às condições naturais do país – em 2013, 70,6% da energia elétrica nacional veio da hidroenergia (Brasil, 2015), o que coloca o Brasil em uma vantagem ambiental quando observa-se a questão das emissões de gases causadores do efeito estufa, os quais são emitidos pelo uso de termelétricas que utilizam fontes fósseis. Contudo, a dependência maciça de uma fonte de energia é um problema na situação de escassez de tal recurso. Em menos de vinte anos o Brasil viveu dois momentos críticos na geração de hidroenergia: o primeiro em 2001, quando o país passou por um período de racionamento de eletricidade conhecido como "apagão"; e o segundo agora, entre os anos de 2014 e 2015, quando novamente o país vem passando por um dos maiores períodos de seca de sua história; entretanto, neste momento o sistema elétrico nacional apresenta-se mais preparado para enfrentar as intempéries do clima, em função da entrada de mais termelétricas no sistema elétrico nacional.

Avaliando a oferta de eletricidade na MEB, observa-se que a geração brasileira de gases tóxicos na atmosfera é bastante limitada; todavia, no que se refere aos combustíveis a situação é diferente, pois, apesar de possuir larga experiência produtiva em culturas ligadas aos biocombustíveis, bem como uma relevante quantidade de terras agricultáveis para bioenergia, sobretudo cana-de-açúcar, o Brasil tem executado maciços investimentos para ter disponível petróleo e gás natural. Ao longo da história energética brasileira averígua-se que o país foi um dos primeiros a contar com uma empresa estatal (Petrobras) que fez espessos investimentos na busca de petróleo na plataforma continental, principalmente depois do primeiro choque do petróleo. Para efeito de comparação, todas as prospecções anteriores a 1974 somavam 742 milhões de barris. Somente deste ano até 1977 as reservas provadas atingiram 622 milhões de barris, ou seja, quase o mesmo volume dos anos anteriores (Leite, 2007, p. 201). Esse posicionamento foi importante em diversos aspectos. Assim, houve duas consequências ou externalidades positivas advindas desse esforço extra. Inicialmente, o próprio desenvolvimento de instalações e equipamentos apropriados a grandes profundidades, visto que pouco podia-se aprender com as empresas multinacionais; e, em seguida, ocorreu a ampliação do conhecimento geológico regional. Entretanto, no ambiente de crise, o país mostrou que pode desenvolver políticas que impulsionem o uso de fontes renováveis, como foi o caso do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) nos anos 1970 e o carro *flex* na primeira década do século XXI.

Como um país de dimensões continentais, o Brasil possui regiões com bastantes diferenças naturais e sociais, de maneira que tanto os recursos naturais disponíveis para geração de energia quanto o consumo energético tendem a ser

distintos entre as regiões. Todavia, o desafio de buscar a eficiência é homogêneo, de modo que um dos primeiros passos é verificar as regiões que são eficientes. Neste trabalho utilizamos a análise envoltória de dados (DEA, do inglês *data envelopment analysis*) para verificar quais estados brasileiros são enquadrados como eficientes. Trata-se de uma técnica não paramétrica que utiliza programação matemática para calcular a eficiência de um conjunto de unidades tomadoras de decisão, denominadas *decision making units* (DMUs). A eficiência é determinada pelo *score* de cada DMU, o qual é calculado por meio da comparação dos seus *inputs* (recursos utilizados) e *outputs* (resultados) em relação às demais DMUs sob análise.

Assim, o objetivo deste artigo é verificar a eficiência do uso de energia entre as Unidades Federativas (UFs) brasileiras. Para isso utiliza-se a metodologia DEA sob a hipótese de que os estados mais eficientes são os que apresentam melhor qualidade de vida, representada pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

Este trabalho conta com quatro outras seções, além desta introdução. Na seção 2 há uma discussão referente ao setor energético nacional e mundial. Na seção 3 é apresentada a metodologia DEA. Na seção 4 são apontados alguns parâmetros de desigualdades regionais e detalhes sobre a produção e a distribuição de energia no Brasil, somados aos resultados de eficiência decorrentes do uso da metodologia. Por fim, na seção 5 são realizadas as considerações finais, retomando os principais resultados deste trabalho.

2 SETOR ENERGÉTICO MUNDIAL E BRASILEIRO: EVIDÊNCIAS SOBRE A QUALIDADE DE VIDA E O CRESCIMENTO ECONÔMICO

Muitos trabalhos têm focado as análises sobre a geração e o consumo de energia entre países e sobre a evolução da matriz energética de uma nação ao longo do tempo. Tais trabalhos possuem o mérito de mostrar as comparações entre diferentes regiões do mundo, bem como o progresso histórico da energia em uma nação ou região. A respeito de estudos sobre energia no Brasil, Schmidt e Lima (2004) analisaram a demanda por eletricidade no país, Mattos e Lima (2005) analisaram a demanda industrial por eletricidade em Minas Gerais, e Irffi *et al.* (2009) examinaram a demanda por eletricidade na região Nordeste.

O uso de energia elétrica por uma nação é convertido em diversos processos econômicos e sociais que acabam por produzir riquezas (em forma de bens, serviços e qualidade de vida), melhorando as condições de vida da população residente. É o que Ferguson, Wilkinson e Hill (2000) demonstram a partir de uma correlação entre o produto interno bruto (PIB) *per capita* e o consumo de energia para várias nações. Essa relação demonstra que os países mais desenvolvidos consomem mais energia, mas possuem também melhores índices de qualidade de vida e de renda. Para países menos desenvolvidos, outros fatores podem ter impacto direto sobre a qualidade de vida (Brady, Kaya e Beckfield, 2007).

Para ilustrar o crescimento do consumo de energia mundial, verifica-se que o consumo energético, em 1973, foi de 6,106 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep). Em 2011, o valor foi de 13,113 milhões de tep. Outro ponto importante é a mudança da matriz mundial, como pode ser visto na tabela 1 (Brasil, 2015).

TABELA 1
Matriz energética mundial (1973 e 2011)
(Em %)

Região	1973	2011
América Latina	3,50	4,50
Ásia (sem China)	5,50	12,10
China	7,00	20,90
Europa – não Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) – e Eurásia	15,40	9,00
Oriente Médio	0,80	4,90
OCDE	61,30	40,50
Bunker Marítimo	3,00	2,80
África	3,50	5,30
Total	**100,00**	**100,00**
Total de energia (em 10^6 tep)	**6.109**	**13.113**

Fonte: Brasil (2015).
Elaboração dos autores.

Pela tabela 1 observa-se que, em 1973, os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) participavam com 61,3% do consumo mundial de energia. Em 2011 mantiveram-se como principal região de consumo, mas registrou-se queda para 40,5%. Também houve queda na região denominada Eurásia. Entretanto, é registrado o crescimento das regiões periféricas, como América Latina, Oriente Médio e África, sendo notável o crescimento da Ásia e da China. A tabela 2 completa a análise anterior, mostrando como foi a participação percentual das fontes de energia na matriz energética mundial em 1973 e 2011 (Brasil, 2015). Constata-se, entre os períodos analisados, que houve aumento no uso de gás natural e queda do petróleo.

TABELA 2
Participação das fontes de energia na matriz energética mundial (1973 e 2011)
(Em %)

Fonte de energia	1973	2011
Carvão mineral	24,60	28,80
Outras	0,10	1,00
Fontes renováveis	10,60	10,00
Hidráulica	1,80	2,30
Nuclear	0,90	5,10
Gás natural	16,00	21,30
Petróleo	46,00	31,50

Fonte: Brasil (2015).
Elaboração dos autores.

Atualmente o Brasil figura entre as maiores economias e conta com uma sociedade urbana e industrial e uma elevada gama de produtos e de serviços que são produzidos e consumidos pelo mercado interno, o qual possui mais de 200 milhões de habitantes. Porém, em relação às outras nações, a industrialização brasileira ocorreu tardiamente, decorrente de uma série de transformações políticas, econômicas, sociais e institucionais instauradas somente a partir do século XX (Pinto Jr. *et al.*, 2007; Tolmasquim, Guerreiro e Gorini, 2007).

As transformações nos setores produtivo, comercial e urbano do Brasil tiveram reflexos na demanda energética, sendo relevante, ainda, observar que a MEB tem se modificado ao longo do tempo, adequando-se ao contexto socioeconômico e tecnológico nacional. A tabela 3 mostra a participação percentual das fontes de energia entre 1970 e 2010.

TABELA 3
Produção de energia primária (1970 a 2010)
(Em %)

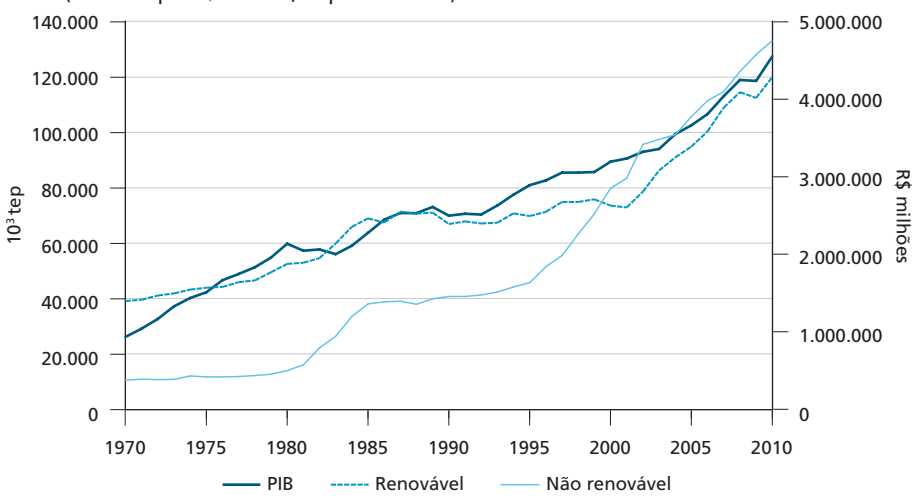
Fontes	1970	1980	1990	2000	2010
Não renovável	21,2	21,0	37,9	52,0	52,6
Petróleo	16,4	13,9	30,2	41,6	42,1
Gás natural	2,5	3,3	5,8	8,6	9,0
Carvão vapor	1,2	2,2	1,5	1,7	0,8
Carvão metalúrgico	1,0	1,5	0,3	0,0	0,0
Urânio	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7
Renovável	78,8	79,0	62,1	48,0	47,4
Energia hidráulica	6,9	16,7	16,5	17,1	13,7
Lenha	64,2	46,8	26,5	15,0	10,3
Produtos da cana	7,3	14,0	17,1	13,0	19,3
Outras renováveis	0,5	1,5	2,0	2,9	4,1
Total	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Fonte: Brasil (2015).

Pela tabela 3 verifica-se que a MEB permaneceu mais renovável do que fóssil pela maior parte do período; entretanto, a partir dos anos 2000 as fontes não renováveis passaram a compor a maior parte da matriz, com destaque para o petróleo, que saltou sua participação de 16,4%, em 1970, para 42,1%, em 2010. Outro destaque é a queda da participação da lenha, de 64,2%, em 1970, para 10,3%, em 2010. Essas variações refletem as mudanças que a sociedade brasileira vem passando no modo de vida, que exigem crescentes incrementos no consumo de energia. Em 1970 a produção energética nacional era de mais de 49 milhões de tep, enquanto em 2010 a quantidade ultrapassava 253 milhões de tep.

Ressalta-se que, igualmente a outras nações, no século XXI o Brasil possui o desafio de assegurar o desenvolvimento socioeconômico, respeitando o meio ambiente (Goldemberg e Lucon, 2008; Pinto Jr. *et al.*, 2007). Para alcançar essa marca, o uso eficiente dos recursos é primordial. Não podemos negar o esforço brasileiro para ampliar a oferta de energia renovável que aumentou de pouco mais de 39 milhões de tep, em 1970, para quase 120 milhões, em 2010; porém, o aumento da oferta de fontes não renováveis foi realmente impressionante: de 10,5 milhões de tep, no início do período, para mais de 133 milhões de tep em 2010 (Brasil, 2015), provavelmente em função de mudanças nos hábitos econômicos, como crescimento da frota de veículos automotivos. Para analisar verifica-se que, em 1999, existiam 28 milhões de veículos e, em 2014, já havia 86 milhões de automotivos (Denatran, 2015). A relação entre o crescimento econômico e a evolução das fontes de energia no Brasil pode ser observada no gráfico 1.

GRÁFICO 1
Evolução do consumo por fontes de energia e do PIB brasileiro (1970 a 2010)
(Em 10^3 tep e R$ milhões, respectivamente)



Fonte: Brasil (2015) e IBGE (2015).
Elaboração dos autores.
Obs.: PIB a preços de 2013.

Por meio do gráfico 1, observa-se a tendência de crescimento da riqueza expressa no PIB e do consumo de energia tanto de fontes renováveis quanto das não renováveis ao longo do período analisado. Entretanto, o foco deste trabalho é analisar o comportamento das UFs brasileiras entre os anos de 2000 e 2010. Dessa forma, utiliza-se a DEA para estudar quais estados são eficientes.

Um trabalho que utilizou a análise da eficiência energética entre os estados brasileiros foi o de Meza *et al*. (2007). Os autores utilizaram ambas as orientações dos modelos DEA com o objetivo de mensurar a eficiência energética entre os estados brasileiros, com o *input* sendo o consumo elétrico *per capita* e os *outputs* o PIB *per capita*, o IDH e o Índice de Potencial de Consumo (IPC), encontrando poucos estados eficientes.

Outros trabalhos que utilizam a DEA como metodologia de análise para o setor energético brasileiro concentram-se na investigação da eficiência entre as usinas produtoras de energia elétrica ou distribuidoras (Sampaio, Ramos e Sampaio, 2005; Souza, Souza e Pessanha, 2010). Oliveira, Shayani e Oliveira (2013) analisaram o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 a partir de uma ampla visão legal, organizacional e de resultados esperados. Enquanto outros trabalhos observaram principalmente a produção e a distribuição de energia no Brasil, espera-se, neste artigo, verificar a eficiência entre consumo energético e bem-estar nas UFs, tomando como pressuposto que a maior utilização das fontes de energia reflete-se na melhoria das condições de vida.

3 METODOLOGIA

Como forma de mensurar a eficiência na utilização da energia para melhoria das condições de vida da população nos estados brasileiros, foi utilizada a DEA como instrumento de análise. Baseada em programação linear, esta metodologia considera cada unidade analisada como uma DMU, verificando a eficiência na conversão de insumos (*inputs*) em produtos (*outputs*) (Cooper, Seiford e Tone, 2000).

Dois modelos principais são propostos na literatura. O modelo proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR), ou retornos constantes de escala (CRS, do inglês *constant return of scale*), considera a linearidade entre insumos e produtos. O modelo CCR com orientação a produtos é descrito por Ferreira e Gomes (2009), conforme a equação (1):

$$Min\ E_{f0} = \sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} \tag{1}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_j y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} \leq 0, \forall\, k$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \forall\, i, j$$

O modelo proposto por Banker, Charnes e Cooper (BCC), ou retornos variáveis de escala (VRS, do inglês *variable returns of scale*), especificado na equação (2) – orientação a produtos –, considera a diferença técnica entre as DMUs, incluindo a possibilidade do rendimento de escala – constante, crescente ou decrescente (Ferreira e Gomes, 2009). Quando apenas considerado o pressuposto de linearidade de insumos e produtos do modelo CCR, compara-se DMUs com base em um mesmo critério de eficiência. A introdução dos retornos de escala permite comparar DMUs que possuem diferenças técnicas entre os rendimentos obtidos por determinada quantidade de insumos e seu resultado em produto, possibilitando uma nova fronteira de análise dos resultados de eficiência.

$$Min\ E_{f0} = \sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} + v_o \qquad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_j y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} + v_o \leq 0, \forall\, k$$

$$\mu_j, v_j \geq 0, \forall\, i, j$$

v_o livre,

em que x_i são os *inputs*, com $i = 1 \ldots r$; e y_j são os *outputs*, sendo $j = 1 \ldots s$. Tanto os insumos quanto os produtos selecionados para o modelo são descritos

a seguir. As incógnitas μ_j e v_j são os pesos para os *outputs* e *inputs*, respectivamente, e v_o é o fator de escala para o modelo BCC. Uma DMU é considerada eficiente se obtém 1 como seu índice. As demais são consideradas ineficientes dentro do modelo.

As variáveis selecionadas como *inputs* representam as principais fontes energéticas do país, isto é, eletricidade e combustíveis fósseis. Desta forma, para a DEA da eficiência energética nos estados brasileiros, foram selecionadas as seguintes variáveis: consumo residencial de eletricidade (em GWh) e consumo residencial de gás liquefeito de petróleo (10^3 m³), ambos obtidos no Balanço Energético Nacional (Brasil, 2015), e as vendas pelas distribuidoras de gasolina, em m³ (ANP, 2015). A escolha dos *outputs* visa refletir a qualidade de vida; portanto, foi selecionado o PIB (IBGE, 2015) em função de ser um resultado econômico com impacto direto no consumo de bens e serviços, e o IDH (Pnud, 2015) por tratar-se de um índice que sintetiza a qualidade de vida de uma região em aspectos multidimensionais. Além da renda, o IDH também trata da educação, fator de influência na remuneração e nos cuidados na saúde, sendo que esta também está presente no indicador, por meio da longevidade. Assim, a intensão deste trabalho é verificar a eficiência do uso de variadas fontes de energia por parte das UFs na geração de riqueza e melhoria da qualidade de vida, sendo que a justificativa para o uso destes dois indicadores é que, apesar de eles serem relacionados em algum grau, não possuem necessariamente a mesma trajetória.

A análise foi realizada para dois anos (2000 e 2010), permitindo que fosse feito um comparativo. Todas as variáveis foram transformadas dividindo-se os valores pela população (valores *per capita*) respectiva do ano em cada estado, conforme os Censos Demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; 2010). Foi calculada a eficiência energética com orientação para produtos para ambas as metodologias (CCR e BCC).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Brasil é um país de grandes contrastes socioeconômicos. Ao mesmo tempo em que apresenta-se entre as maiores economias do mundo, registra elevados indicadores de desigualdade de renda. Em relação às desigualdades regionais existentes no país, estas são refletidas nos indicadores como o IDH e o PIB *per capita*. Tais diferenças vêm reduzindo-se significativamente em anos recentes, em parte pela estabilidade econômica brasileira, que garantiu o controle da inflação frente a momentos passados, somado ainda à contribuição e à ampliação dos programas de transferência de renda no século XXI.

Para o IDH, as posições dos estados brasileiros permaneceram quase inalteradas quando se compara 2000 com 2010. Entretanto, como um indicador que engloba parâmetros de educação, renda e saúde, houve uma melhoria significativa nos índices, principalmente para os estados considerados mais pobres,

como Alagoas, Maranhão e Piauí. Na posição oposta, para Distrito Federal, São Paulo e Santa Catarina (que obtiveram os melhores IDHs em ambos os anos), também houve incremento no índice, refletindo a melhoria nas condições de vida brasileira nos últimos anos.

A mesma situação é observada para o PIB *per capita*, em que, no extrato inferior, estão concentrados principalmente os estados das regiões Nordeste e Norte do Brasil, enquanto na parcela superior estão os estados mais ricos, do Sudeste e do Sul. Embora existam diferenças de renda dentro dos estados que devem ser consideradas, como uma medida geral o PIB *per capita* demonstra as distinções econômicas existentes entre os estados e acaba também refletindo a própria diferença social existente.

A tabela 4 apresenta o PIB *per capita* (em reais de 2013) por UF em 2000 e 2010. Observa-se, para ambos os anos, que existe uma diferença expressiva entre os estados mais ricos e os mais pobres, com um predomínio de estados com maior PIB *per capita* nas regiões Sudeste e Sul. Esta diferença regional persistiu na comparação entre os dois anos, demonstrando diferentes graus de desenvolvimento econômico no Brasil, que acabam por refletir a necessidade de políticas públicas que possam atuar na redução das desigualdades existentes (Souza Júnior e Gasparini, 2006).

O IDH calculado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud),[3] que engloba parâmetros como a renda, a educação e a saúde, foi utilizado para determinar o *ranking* de qualidade de vida das UFs brasileiras. Os índices mais elevados demonstram que esses estados possuem maior renda e melhor qualidade de vida. Pela tabela 4 novamente averígua-se a existência de desigualdades regionais para ambos os anos analisados, destacando-se que os estados com menor índice pertencem ou à região Nordeste ou à região Norte.

TABELA 4
IDH e PIB *per capita* das UFs (2000 e 2010)
(Em R$ mil)

UFs	2000		2010	
	IDH	PIB *per capita*	IDH	PIB *per capita*
Distrito Federal	0,725	61,345	0,824	62,805
São Paulo	0,702	31,010	0,783	32,558
Santa Catarina	0,674	21,893	0,774	26,277
Rio de Janeiro	0,664	26,292	0,761	27,417

(Continua)

3. O Pnud é a rede de desenvolvimento global da Organização das Nações Unidas (ONU).

(Continuação)

UFs	2000		2010	
	IDH	PIB *per capita*	IDH	PIB *per capita*
Paraná	0,650	19,571	0,749	22,402
Rio Grande do Sul	0,664	21,743	0,746	25,423
Espírito Santo	0,640	20,323	0,740	25,158
Goiás	0,615	14,204	0,735	17,501
Minas Gerais	0,624	15,225	0,731	19,307
Mato Grosso do Sul	0,613	14,749	0,729	19,133
Mato Grosso	0,601	16,076	0,725	21,145
Amapá	0,577	13,378	0,708	13,294
Roraima	0,598	14,828	0,707	15,156
Tocantins	0,525	8,591	0,699	13,419
Rondônia	0,537	11,668	0,690	16,238
Rio Grande do Norte	0,552	8,892	0,684	10,992
Ceará	0,541	8,237	0,682	9,920
Amazonas	0,515	16,124	0,674	18,476
Pernambuco	0,544	9,218	0,673	11,652
Sergipe	0,518	9,922	0,665	12,461
Acre	0,517	10,462	0,663	12,443
Bahia	0,512	9,637	0,660	11,857
Paraíba	0,506	7,341	0,658	9,133
Pará	0,518	8,329	0,646	11,057
Piauí	0,484	5,773	0,646	7,618
Maranhão	0,476	7,452	0,639	8,480
Alagoas	0,471	5,705	0,631	7,412

Fonte: Pnud (2015) e IBGE (2015).
Obs.: Valores atualizados para dezembro de 2013 pelo deflator implícito do PIB.

Apesar de não ser uma variável estritamente econômica, o consumo de energia elétrica é um importante indicador de bem-estar, uma vez que esse tipo de energia é consumido por sociedades com razoável grau de desenvolvimento; portanto, para ilustrar a comparação entre as regiões nacionais, a tabela 5 apresenta os dados do consumo regional de eletricidade dos anos de 2000 e de 2010.

Verifica-se que o Sudeste foi o que mais consumiu nos dois períodos, tendo sido responsável por mais de 50% do consumo nacional de eletricidade, seguido pelo Nordeste (18% em 2010) e o Sul (cerca de 16% em 2010). Entre essas duas regiões ocorreram as mudanças no posicionamento, uma vez que no período anterior era a região Sul a segunda colocada no consumo de eletricidade. Por fim estão as regiões Centro-Oeste e Norte com, respectivamente, 7,65% e 5,52% em 2010.

TABELA 5
Consumo de energia residencial (2000 e 2010)
(Em GWh)

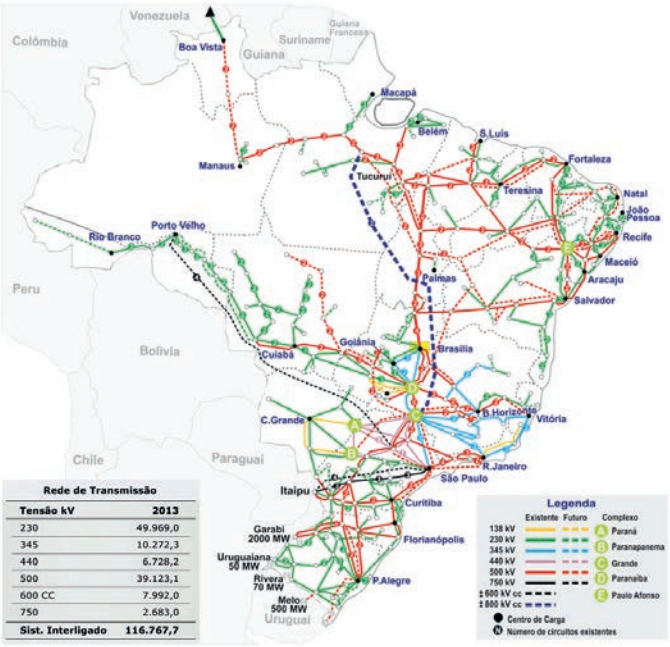
Região	2000		Região	2010	
	Quantidade	Proporção		Quantidade	Proporção
Sudeste	48.157	57,60	Sudeste	56.680	52,87
Nordeste	12.443	14,88	Nordeste	19.284	17,99
Sul	13.077	15,64	Sul	17.121	15,97
Centro-Oeste	6.040	7,22	Centro-Oeste	8.206	7,65
Norte	3.896	4,66	Norte	5.923	5,52
Brasil	**83.613**	**100,00**	Brasil	**107.215**	**100,00**

Fonte: Brasil (2015).

No que se refere ao sistema elétrico brasileiro, este possuía a maior parte da energia originária de hidrelétricas e termelétricas, com 68,6% e 28,8%, respectivamente, e o restante provém de gás natural, biomassa, energia solar, eólica e nuclear (Brasil, 2015). A geração e a distribuição da eletricidade são organizadas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e por sistemas isolados, estes localizados principalmente no Norte do país (Brasil, 2015).

O SIN compõe a maior parte da energia produzida e disponibilizada no Brasil, abrangendo empresas de todas as regiões do país. A intenção dele é gerar ganhos sinérgicos, por meio da interconexão dos agentes geradores, e reduzir os custos operacionais e a integração dos recursos de produção e transmissão energéticas. Em 2013, o Brasil apresentava capacidade instalada de 126.743 MW, a maior parte na região Sudeste – 42.204 MW (ou 33,3%) –, seguida pelas regiões Sul – com 29.610 MW (23,4%) –, Nordeste – com 22.137 MW (17,5 %) –, Centro-Oeste – com 15.923 MW (12,6%) – e Norte – com 16.869 MW (13,3%) (Brasil, 2015). A figura 1 mostra a configuração do SIN em 2013/2015.

FIGURA 1
Sistema elétrico interligado brasileiro (2013/2015)



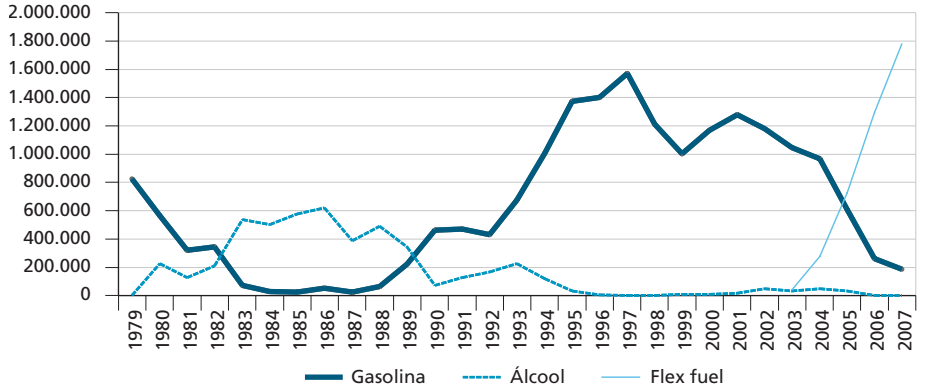
Fonte: ONS (2014).

Essa configuração do sistema energético brasileiro permite a disponibilidade e o acesso à rede pelos estados de forma mais integrada. Portanto, em casos de baixa quantidade de geração de eletricidade em um local ou excesso de demanda, essa energia pode ser compensada pela geração de outras localidades.

No setor de combustíveis, é relevante ter em mente dois aspectos da política energética brasileira: primeiro a busca nacional pela autossuficiência na produção de petróleo e depois que os preços do petróleo possuem um peso relevante na tomada de decisões. A respeito da entrada da Petrobras na plataforma continental, Leite (2007) comenta que a procura no mar foi mais lenta do que poderia ter sido, e as elevações dos preços internacionais do petróleo deram o empurrão que faltava para que a Petrobras ousasse enfrentar os riscos de prospecção no mar. Para tal desafio a empresa desenvolveu tecnologias para exploração em poços situados a mais de 2 mil metros de profundidade. A expansão das reservas descobertas e a produção de petróleo nacional têm aumentado ao longo do tempo, provando o êxito nos altos e arriscados investimentos realizados em tal atividade. Afora os resultados tecnológicos na prospecção de óleo, os choques petrolíferos incentivaram o desenvolvimento de programas e fontes alternativas de energia, como é o caso dos biocombustíveis.

A respeito de combustíveis alternativos, Leite (2007) relata que o governo brasileiro, nos anos 1970, tinha programas para reduzir a dependência dos derivados de petróleo por meio de biocombustíveis na matriz veicular de combustíveis, a saber: Proálcool e Pró-Óleo ou Pró-Diesel. Este último é ligado com o intuito de se produzir combustível à base de matérias-primas oleaginosas, mas permaneceu apenas como um projeto (Pousa, Santos e Suarez, 2007; Vieira, 2006). O programa seria retomado no início dos anos 2000. Já o Proálcool obteve relativo sucesso por contar com o aporte governamental até os preços do petróleo caírem no decorrer dos anos 1980; o programa foi praticamente abandonado na década de 1990. Não obstante, quando os preços do óleo tomaram a tendência de aumento, no início dos anos 2000, a busca por fontes alternativas recebeu incremento, em especial com o desenvolvimento dos automóveis *flex*, movidos por gasolina e álcool (etanol). As oscilações da política energética automotiva podem ser visualizadas no gráfico 2, que mostra as vendas de automóveis no período de 1979 até 2007.

GRÁFICO 2
Venda de automóveis no Brasil por tipo de combustível (1979-2007)



Fonte: Ipea (2015).
Elaboração dos autores.

O comportamento exibido no gráfico 2 mostra o surgimento das vendas dos automóveis movidos por álcool no final da década de 1970, a superação desse tipo de veículo em relação aos movidos a gasolina nos anos 1980, o recrudescimento das vendas ainda no final dessa década e uma elevação exponencial nas vendas dos carros que utilizam gasolina nos anos 1990 até o início dos anos 2000, que conta com o aparecimento dos automóveis *flex*. Para verificar a evolução da frota nos últimos anos é apresentada a tabela 6, que traz o número e a variação de veículos nas regiões brasileiras.

TABELA 6
Frota de veículos por UF (2000 e 2010)

Região	2000	2010	Variação (%)
Norte	836.936	2.849.014	240,41
Nordeste	3.381.899	9.469.880	180,02
Sudeste	16.777.058	33.296.148	98,46
Sul	6.396.129	13.383.052	109,24
Centro-Oeste	2.330.928	5.819.880	149,68
Brasil	**29.722.950**	**64.817.974**	**118,07**

Fonte: Denatran (2015).
Elaboração dos autores.

Pode-se verificar que, entre os anos 2000 e 2010, houve um crescimento substancial na frota de veículos nacional de 29,7 para 64,8 milhões, o que representa variação de 118,07%. A região Norte é a que apresentou maior crescimento (240,41%), seguida por Nordeste (180,02%), Centro-Oeste (149,68%) e Sul (109,24%). Apesar de registrar o menor crescimento (98,46%), a região Sudeste é a que deteve a maior frota, tanto em 2000 quanto em 2010.

Com o objetivo de mensurar a eficiência energética nos estados brasileiros, considerando que seu uso é convertido em melhoria na qualidade de vida, demonstrada pelo IDH e pelo PIB *per capita*, foram calculados os modelos CCR e BCC para a DEA com orientação para *outputs* para os anos de 2000 e 2010 (tabela 7).

TABELA 7
Resultados para a eficiência dos estados brasileiros (2000 e 2010)

Região	DMUs	CCR *output*		BCC *output*	
		2000	2010	2000	2010
Norte	Acre	0,910	0,885	0,976	0,966
	Amapá	0,851	0,855	0,997	0,989
	Amazonas	1,000	0,992	1,000	0,999
	Pará	0,865	1,000	0,998	1,000
	Rio Grande do Norte	0,681	0,718	0,982	0,959
	Rondônia	0,737	0,730	0,938	0,936
	Roraima	0,923	0,901	1,000	0,975
	Tocantins	0,797	0,911	0,985	1,000

(Continua)

(Continuação)

Região	DMUs	CCR *output*		BCC *output*	
		2000	2010	2000	2010
Nordeste	Alagoas	0,773	1,000	0,909	1,000
	Bahia	0,825	0,970	0,969	0,992
	Ceará	0,790	0,916	1,000	1,000
	Maranhão	1,000	1,000	1,000	1,000
	Paraíba	0,772	0,909	0,960	0,979
	Pernambuco	0,707	0,863	0,969	0,963
	Piauí	0,902	0,930	0,992	0,981
	Sergipe	0,740	0,833	0,939	0,951
Centro-Oeste	Distrito Federal	1,000	1,000	1,000	1,000
	Goiás	0,593	0,703	0,967	0,985
	Mato Grosso	0,749	0,921	0,978	0,991
	Mato Grosso do Sul	0,607	0,785	0,966	0,985
Sudeste	Espírito Santo	0,727	0,866	0,997	0,993
	Minas Gerais	0,742	0,899	1,000	1,000
	Rio de Janeiro	1,000	1,000	1,000	1,000
	São Paulo	0,801	0,896	1,000	1,000
Sul	Paraná	0,694	0,795	1,000	0,998
	Santa Catarina	0,750	0,685	1,000	0,972
	Rio Grande do Sul	0,667	0,714	0,996	0,963

Elaboração dos autores.
Obs.: Destaque em itálico para os estados eficientes.

Para o modelo CCR, que considera retornos constantes de escala, é possível perceber que poucas UFs foram consideradas eficientes (quatro em 2000 e cinco em 2010) quando comparadas com o modelo BCC. Estados considerados mais pobres e com menos condições de vida obtiveram uma alta eficiência energética nos modelos, como é o caso do Amazonas, de Alagoas, do Maranhão e do Pará. Embora seus produtos (IDH e PIB *per capita*) sejam pequenos quando comparados aos demais, também cabe considerar que seus insumos (consumo elétrico residencial, consumo de gás liquefeito e vendas de gasolina pelas distribuidoras – variáveis *per capita*) são reduzidos, o que acaba compensando o efeito reduzido do produto. Essa condição acaba por tornar estes estados eficientes, embora esta eficiência não esteja relacionada com a melhor condição de vida.

Estados mais desenvolvidos e com melhores indicadores sociais, como é o caso de Minas Gerais, do Paraná, de São Paulo e de Santa Catarina, foram eficientes apenas quando considerado o modelo BCC. Este modelo, por considerar retornos variáveis de escala, acaba por compensar a alta utilização energética

destes estados, traduzindo melhor a realidade observada, pois o aumento do consumo energético não representa necessariamente um aumento constante da qualidade de vida nestes estados, que já possuem uma parcela significativa de sua população atendida e com energia em sua residência.

Já o estado do Rio de Janeiro e o Distrito Federal, desenvolvidos do ponto de vista dos indicadores sociais, foram considerados eficientes para todos os anos em ambos os modelos. Estes dois estados tiveram, em 2010, as melhores taxas para domicílios atendidos por energia elétrica – apenas 0,09% e 0,11% dos domicílios do Distrito Federal e do Rio de Janeiro, respectivamente, não tinham acesso à energia elétrica (IBGE, 2010). Quando analisa-se a renda, vê-se que estes dois estados estão entre os maiores PIBs *per capita* do país.[4] O mesmo ocorre para o IDH. Esta análise demonstrou que não existe um padrão na relação entre a eficiência no uso energético e a qualidade de vida no Brasil. A partir dos indicadores sociais, tanto os estados mais desenvolvidos quanto os menos desenvolvidos figuram entre os eficientes.

Observa-se que, para o Sudeste brasileiro, a partir do modelo BCC, a maior parte dos estados mostrou-se eficiente. Para o caso da eficiência energética e tendo como *output* os indicadores sociais, este modelo mostrou-se mais significativo por considerar retornos variáveis de escala. A observação a ser destacada é que o consumo de energia entre as regiões do Brasil não é eficientemente convertido em melhoria das qualidades de vida. A presença de diferenças regionais marcantes torna a relação mais complexa. Embora as regiões mais desenvolvidas também possuam maior consumo de energia, não é possível afirmar que elas são as mais eficientes na melhoria do bem-estar social.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil possui uma grande diferença regional em termos de renda, qualidade de vida e consumo de energia em suas diferentes formas. A relação entre estas variáveis permite observar o desenvolvimento econômico das regiões ao longo dos anos. O objetivo deste artigo foi avaliar a eficiência energética entre as UFs brasileiras com foco no desempenho dos indicadores de qualidade de vida, como o IDH e o PIB *per capita*. A hipótese estabelecida de que as UFs com melhores IDHs seriam as mais eficientes foi refutada.

Comparando-se os modelos CCR e BCC da DEA foi possível perceber que o último, por considerar retornos variáveis de escala, permite uma maior aproximação sobre a hipótese estabelecida. Entretanto, o Brasil é um país com significativas diferenças regionais que, por sua vez, influenciam a demanda e a

4. Tanto em 2000 quanto em 2010 o maior PIB *per capita* foi o do Distrito Federal, com o de São Paulo em segundo lugar e o do Rio de Janeiro em terceiro.

disponibilidade energética de diversas fontes. Embora a rede nacional de eletricidade esteja conectada, as diferenças regionais são responsáveis por consumos de energia pela população em proporções diferentes.

Foi apresentada uma heterogeneidade em relação à eficiência energética entre os estados. Tanto os estados mais ricos quanto os mais pobres (a partir de uma visão do PIB *per capita*) apresentaram-se eficientes. Sugere-se que novos estudos possam comparar estas diferenças regionais à luz do consumo energético pelas suas respectivas populações.

A eficiência é uma variável importante em situação de escassez de recursos e restrição orçamentária. A crise hidrológica que o Brasil vem passando talvez tenha a ver com fatores ambientais globais, mas certamente está ligada aos limites dos recursos naturais e à falta de planejamento na estimativa da oferta e da demanda desses recursos em situação de incerteza, uma vez que foram feitas várias políticas de incentivo ao consumo de bens duráveis. De alguma forma, o planejamento precisa alcançar a população (demanda), pois, em situação de escassez, o mecanismo de preço tende a elevar o valor da tarifa da eletricidade, devido à entrada de fontes de energia mais onerosas, como foi o caso das termelétricas.

No que se refere aos combustíveis, essa temática requer uma análise institucional, já que os preços podem ser controlados pelo governo e este pode optar por induzir o consumo de fontes alternativas. A orientação para produtos neste trabalho alcançou o objetivo, ao verificar a eficiência entre consumo e bem-estar; entretanto, sugere-se que trabalhos futuros possam analisar a eficiência do sistema energético nacional pela orientação de insumos.

REFERÊNCIAS

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Vendas, pelas distribuidoras, dos derivados combustíveis de petróleo (metros cúbicos)**. Brasília: ANP, 2015.

BRADY, D.; KAYA, Y.; BECKFIELD, J. Reassessing the effect of economic growth on well-being in less-developed countries, 1980-2003. **Studies in Comparative International Development**, v. 42, n. 1-2, p. 1-35, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. Brasília: MME, 2015. Disponível em: <https://goo.gl/8ovgqD>. Acesso em: 31 mar. 2015.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data envelopment analysis**: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. Brasília: Denatran, 2015. Disponível em: <http://goo.gl/wHQmS>. Acesso em: 9 abr. 2015.

FERGUSON, R.; WILKINSON, W.; HILL, R. Electricity use and economic development. **Energy Policy**, v. 28, n. 13, p. 923-934, nov. 2000.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAGIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

_____. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. **Produto interno bruto dos municípios**. Rio sw Janeiro: IBGE, 2015.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Ipeadata. **Vendas automóveis nacionais**. [s.l.]: [s.n.], 2015.

IRFFI, G. *et al*. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 69-98, 2009.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MATTOS, L. B.; LIMA, J. E. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. **Nova Economia**, v. 15, n. 3, p. 31-52, 2005.

MEZA, L. A. *et al*. Selecção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia eléctrica. **Investigação Operacional**, v. 27, n. 1, p. 21-36, 2007.

OLIVEIRA, L. S.; SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. Proposed business plan for energy efficiency in Brazil. **Energy Policy**, v. 61, p. 523-531, Oct. 2013.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Operador do Sistema Elétrico Nacional – Sistema de Transmissão 2013-2015**. Rio de Janeiro: ONS, 2014. Disponível em: <http://goo.gl/rOGo4v>. Acesso em: 9 abr. 2015.

PINTO JR., H. Q. *et al*. **Economia da energia**: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Desenvolvimento humano e IDH**. Brasília: Pnud, 2015.

POUSA, G. P. A G.; SANTOS, A. L. F.; SUAREZ, P. A Z. History and policy of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5393-5398, 2007.

SAMPAIO, L. M. B.; RAMOS, F. S.; SAMPAIO, Y. Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 3, p. 465-480, 2005.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A Demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 1, p. 68-98, 2004.

SOUZA JÚNIOR, C. V. N.; GASPARINI, C. E. Análise da eqüidade e da eficiência dos estados no contexto do federalismo fiscal brasileiro. **Estudos Econômicos**, v. 36, n. 4, p. 803-832, 2006.

SOUZA, M. V. P.; SOUZA, R. C.; PESSANHA, J. F. M. Custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica: um estudo comparativo dos modelos DEA e SFA. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 4, p. 653-667, 2010.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, v. 79, n. 79, p. 47-69, 2007.

VIEIRA, J. N. S. A agroenergia e os novos desafios para a política agrícola no Brasil. *In*: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. (Org.). **O futuro da indústria**: biodiesel. Brasília: MDIC, 2006. p. 37-48.

Originais submetidos em abril de 2015. Última versão recebida em junho de 2015. Aprovado em julho de 2015.