

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA RELATIVA DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRAS DAS REGIÕES SUDESTE/NORDESTE

Henrique Brigatte¹
Marília Fernandes Maciel Gomes²
Maurinho Luiz dos Santos³
Alexandre Alvisi Costa⁴

Resumo: Este trabalho buscou apresentar os indicadores de eficiência na operação de empresas do setor elétrico nacional destinadas à distribuição de eletricidade. A análise das regiões Sudeste e Nordeste justifica-se pelo fato de nelas estarem localizadas as firmas que concentram mais de 70% do mercado. Para a obtenção dos resultados, utilizou-se a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA). Os resultados apontaram relevante grau de homogeneidade entre as empresas de ambas as regiões, no que tange à alocação de insumos utilizados nos seus processos produtivos. Observou-se também que a quase totalidade das distribuidoras das regiões Sudeste e dos principais estados nordestinos – Bahia, Ceará e Pernambuco – operavam acima dos níveis de alocação ótima de seus fatores de produção, o que indica que o alto nível de energia demandada vem fazendo com que estas empresas tenham de atuar em escalas não eficientes para que possam supri-la.

Palavras-chave: DEA, eficiência, distribuidoras de energia elétrica.

JEL: C61.

Abstract: The objective of this study is to present the efficiency indicators for the companies in the electricity sector. The analysis of the Southeast and Northeast regions is justified because in these regions are located firms that concentrate more than 70% of the market. The methodology used is the Data Envelopment Analysis (DEA). The results indicated significant degree of uniformity between companies in both regions in terms of allocation of inputs used in their production processes. Also, almost all distributors in the Southeast regions and

¹ Mestre em Economia Aplicada pelo Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Bolsista do CNPq. E-mail: hbrigatte@yahoo.com.br.

² Professora associada do Departamento de Economia Rural – DER/UFV. E-mail: mfmngomes@ufv.br.

³ Professor associado do Departamento de Economia Rural – DER/UFV. E-mail: mlsantos@ufv.br.

⁴ Mestre em Economia Aplicada pelo Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Bolsista da Capes. E-mail: alvisi_alexandre@yahoo.com.br.

Recebido em 04/03/2010. Liberado para publicação em 25/07/2010.

major northeastern states - Bahia, Ceara and Pernambuco - operated above the levels of optimal allocation of their inputs. This indicates that the high level of energy demanded is requiring from those companies to produce at non efficient scales.

Key-words: DEA, efficiency, electricity sector.

1. Introdução

Empresas de infra-estrutura exercem papel fundamental na economia de uma nação, visto que fornecem o material necessário para o desenvolvimento dos mais diversos tipos de atividades e possuem importância estratégica essencial para o progresso e para o crescimento econômico. No Brasil, empresas de transporte, telecomunicações e energia elétrica estão entre as maiores organizações produtivas da economia, já que criam condições para que os demais setores possam atender às necessidades básicas da população.

Com relação ao setor elétrico brasileiro, percebe-se que este vem passando por inúmeras transformações, que se intensificaram a partir de 1995, com a privatização das empresas estatais. Este processo se deu de forma gradual, visando à redução da dívida pública e às possíveis melhorias na eficiência produtiva e na capacidade de investimentos das empresas (PIRES, 2001).

A opção de priorizar a venda de firmas voltadas para a distribuição de energia elétrica se deveu ao fato de que, pela percepção do governo, a atração de investidores para as empresas de geração dificilmente iria ocorrer sem a perspectiva de um mercado atacadista privado de energia, no qual os riscos de calote nas transações de venda de energia estivessem totalmente eliminados (PIRES, 2001).

Esta decisão do governo pode ser percebida, com mais detalhes, ao se observar a composição atual do setor de eletricidade, que contempla um número de 64 concessionárias, oito das quais são grupos estatais voltados tanto para a geração como para a distribuição de eletricidade, consideradas companhias mistas. Dentre as empresas que atuam apenas na distribuição, há predominância do setor privado, controladas, em sua maioria, por grupos brasileiros, norte-americanos, espanhóis e portugueses.

Atualmente, as concessionárias fornecem energia para cerca de 47 milhões de unidades consumidoras, 85% das quais são consumidoras residenciais e estão presentes em mais de 99% dos municípios brasileiros. O consumo está estimado em mais de 270 mil GWh, e mais de 97% dos

domicílios são atendidos. O setor responde por uma participação de 2,2% no PIB, com investimentos de mais de R\$ 3 bilhões de reais (COELBA, 2007).

No que tange ao consumo de energia elétrica, pode-se notar um movimento ascendente ao longo do tempo. Segundo Giambiagi et al. (2001), a média de crescimento do consumo superou a média do crescimento econômico nacional, no período 1980-2000. Em relação aos segmentos, as classes comercial e residencial foram as que mais ampliaram a demanda de eletricidade, com taxas de crescimento superiores ao aumento do consumo total de energia elétrica do País. No primeiro momento, isto poderia ser explicado pelo *boom* natural do consumo ocorrido durante a primeira fase do Plano Real, principalmente pelo lado das famílias, que, com os incrementos de renda, passaram a demandar maior número de eletrodomésticos e eletroeletrônicos, o que fez com que a demanda de energia elétrica se ampliasse. No segundo, no setor comercial, podem-se citar a expansão do número de *shopping centers*, a modernização de serviços, em geral, e a ampliação do horário de funcionamento como fatores que impulsionaram o consumo de eletricidade.

Porém, o cenário presente e os possíveis panoramas que se avistam para o futuro evidenciam problemas de grandes proporções no setor elétrico. A comparação das necessidades de expansão da capacidade instalada de geração do País – prevista pelo Plano Decenal de Expansão da Eletrobrás – com o nível de investimentos realizado nos últimos anos dá uma idéia da dimensão desses problemas. No período 1999/2008, está previsto o crescimento da capacidade instalada de 61,3 GW para 104,6 GW. Todavia, o ritmo do aumento da capacidade de geração tem contraído, de maneira gradual, ao longo das últimas três décadas: 11,8% na década de 70; 4,1% na de 80; e 2,6% na de 90, anualmente, com leve recuperação dos patamares de investimento no final desta última década. Uma possível não consecução do objetivo estabelecido pode trazer de volta a discussão de possibilidades concretas de insuficiência energética no Brasil (PIRES, 2001).

As companhias distribuidoras de energia elétrica exercem papel fundamental no setor elétrico, pois garantem a disponibilidade da energia para os consumidores residenciais, industriais, comerciais e rurais. Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – Abradee (2005) – pesquisas recentes vêm apontando aumento nos índices de satisfação dos clientes e redução sistemática, de 1997 a 2004, no número médio de horas que cada consumidor ficou sem energia no ano. Isto se deve, entre outros fatores,

a melhorias promovidas na estrutura produtiva das empresas, com vistas em operar com maior eficiência.

Dentre as regiões geográficas brasileiras, o Sudeste é a que possui a maior fatia de participação no mercado de distribuição de eletricidade no País, cujo índice alcança mais de 57% do mercado nacional. A segunda região de maior participação é a Nordeste, com um índice superior a 16%. Nestas duas áreas do território nacional, estão localizadas as maiores distribuidoras do Brasil (ANEEL, 2000).

Apesar da relevância dessas empresas no setor elétrico brasileiro, há uma carência de informações, na literatura nacional, acerca da eficiência relativa das distribuidoras de energia elétrica das principais regiões participantes deste mercado; logo, busca-se, neste artigo, diminuir essa lacuna. Dado que a eficiência relativa é uma medida que possibilita avaliar a competitividade de dada empresa em comparação com as demais, apresentar-se-ão algumas medidas a critério de comparação entre essas empresas do Sudeste e do Nordeste, a fim de verificar em que condições tais firmas exercem suas atividades, umas em relação às outras, em ambas as regiões. Na análise será utilizado o modelo de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA).

2. Referencial teórico

Farrel (1957) foi o pioneiro no estudo de medidas de eficiência com base em técnicas não-paramétricas. Ele propôs um modelo empírico, por meio do qual cada unidade produtiva fosse avaliada em relação às demais unidades e que todas elas formassem formar um conjunto homogêneo e representativo. Assim, tal medida, de caráter relativo, fornece um valor para a unidade em análise que corresponde, simplesmente, ao desvio observado em relação às unidades consideradas eficientes.

Para medições de eficiência de unidades produtivas, deve-se considerar este conceito sob três óticas: a eficiência técnica, que requer que se utilize um processo de produção que não use mais insumos do que o necessário para obtenção de dado nível de produto; a eficiência alocativa, que reflete a habilidade da firma em utilizar os insumos em proporções ótimas, dada a relação de preços existente entre estes; e a eficiência econômica, que se refere à capacidade dos produtores em conduzirem o processo de produção com minimização de custos ou com maximização de lucros, obtida pela combinação das medidas técnica e alocativa.

Essa avaliação de medidas de eficiência pode ser desenvolvida por meio de duas orientações: a de orientação insumo, fundamentada na redução de insumos, e a de orientação produto, baseada na elevação do nível do produto. As discussões acerca dessas abordagens, apresentadas nos itens a seguir, estão fundamentadas em Gomes e Batista (2004).

2.1. Medidas de eficiência com orientação insumo

Considere uma firma totalmente eficiente em seu processo produtivo, a qual utilize dois insumos, x_1 e x_2 , na produção de um bem y , caracterizando uma função de produção $y = f(x_1, x_2)$. De acordo com a pressuposição de retornos constantes à escala, tal função pode ser denominada homogênea de grau 1, e a isoquanta unitária SS' , representada na Figura 1, no espaço bidimensional dos insumos, adquire a notação $I = f(x_1/y, x_2/y)$.

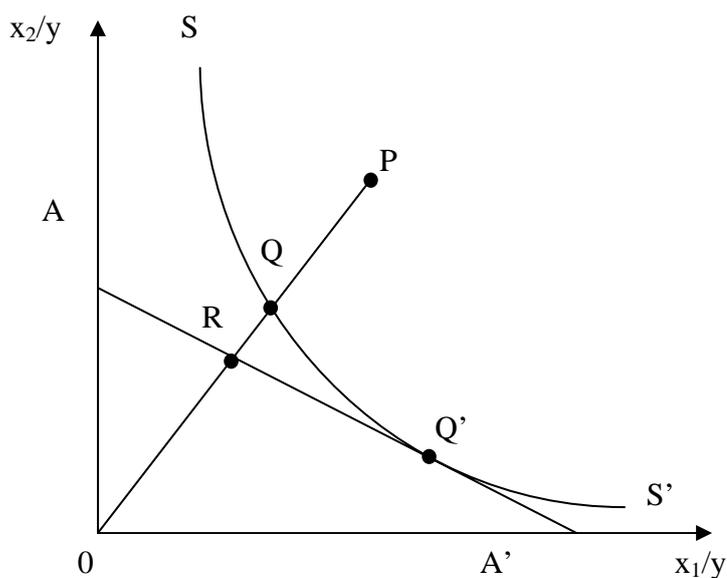


Figura 1 – Medida de eficiência com orientação insumo.

Se determinada firma utilizasse a combinação de insumos, destinada à produção de uma unidade de y , representada pelo ponto P , seria considerada ineficiente. Isto porque a firma estaria utilizando quantidades maiores de ambos os fatores de produção e estaria obtendo exatamente o mesmo nível de

produto. A ineficiência técnica dessa unidade produtiva poderia ser representada pela distância QP, que indica a quantidade à qual ambos os insumos podem ser reduzidos, sem que se altere o nível de produção. Em termos percentuais, chega-se à razão QP/OP. A eficiência técnica (ET) da firma inicialmente considerada pode ser dada por:

$$ET = \frac{OQ}{OP} = 1 - \frac{QP}{OP}.$$

Assim, tem-se que $0 < ET \leq 1$. Se $ET = 1$, a firma será tecnicamente eficiente e produzirá com uma combinação de insumos pertencentes à isoquanta SS'; esse é o caso do ponto Q.

A eficiência alocativa (EA) pode ser calculada quando se conhece a razão de preços dos insumos. Assim, seja o segmento AA', da Figura 1, a linha de isocusto (linha na qual toda combinação de insumos a ela pertencente gera o mesmo custo para o produtor), cuja declividade corresponde à razão de preços de x_1 e x_2 . Considerando a firma que opera em P, tem-se que a medida de eficiência alocativa corresponde, em termos percentuais, à razão

$$EA = \frac{OR}{OQ}.$$

A distância RQ representa a redução nos custos de produção que poderia acontecer, caso a produção ocorresse em um ponto de eficiência alocativa, como é o caso de Q', em vez do ponto Q, que é tecnicamente eficiente, mas alocativamente ineficiente.

Com base nessas informações, já é possível perceber que a ineficiência técnica decorre do uso superestimado de insumos, ao passo que a alocativa diz respeito ao emprego destes em proporções inadequadas, dados os seus respectivos preços, de tal forma que a taxa marginal de substituição entre os insumos não se iguala à razão dos seus preços. Em ambos os casos, o custo não é minimizado.

A eficiência econômica (EE) é obtida pelo produto das eficiências técnica e alocativa. Assim,

$$EE = \frac{0Q}{0P} \times \frac{0R}{0Q} = \frac{0R}{0P}.$$

Tal como destacado anteriormente, esta última equação representa a medida de eficiência econômica insumo orientada, o que indica a quantidade de insumos que pode ser proporcionalmente reduzida, sem alterar a quantidade de produto que está sendo produzido.

2.2. Medidas de eficiência com orientação produto

A suposição, nesta abordagem, é de que o uso de um insumo x_1 esteja associado à produção de 2 bens, y_1 e y_2 , caracterizando a função $x_1 = g(y_1, y_2)$. Considerando retornos constantes à escala, pode-se representar a tecnologia por uma curva de possibilidades de produção unitária, descrita na Figura 2, pela curva côncava ZZ' , no espaço bidimensional dos produtos elaborados com o insumo x_1 .

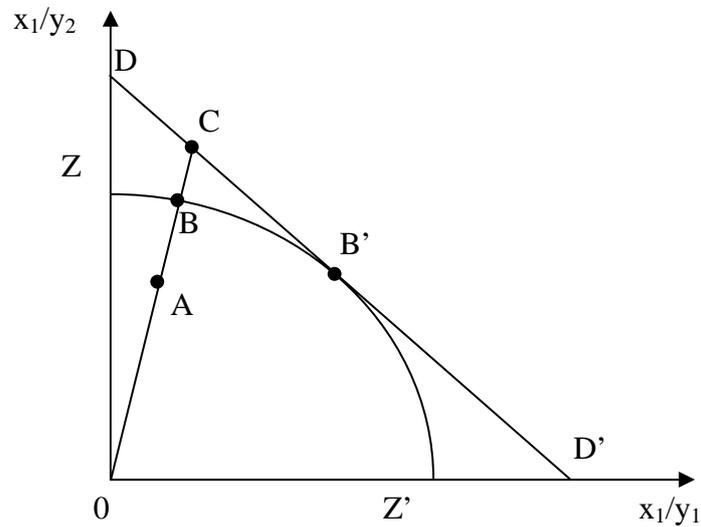


Figura 2 – Medida de eficiência com orientação produto.

O ponto A representa uma firma ineficiente, que se situa abaixo da curva ZZ'. A distância AB representa sua ineficiência técnica, ou seja, as quantidades de produtos que poderiam ser aumentadas sem necessidade de insumos extras. Nesse caso, a medida de eficiência técnica seria dada por

$$ET = \frac{OA}{OB}.$$

Quando se conhece a razão de preços dos produtos, pode-se traçar uma linha como a descrita pelo segmento DD', na Figura 2. Esta linha representa a curva de isorenda (na qual o produtor aufero o mesmo nível de receita, para qualquer combinação dos bens considerados), cuja inclinação é dada exatamente pela razão dos preços de y_1 e y_2 . A partir de DD', pode-se chegar à definição de eficiência alocativa, tal como segue:

$$EA = \frac{OB}{OC}.$$

Dessa forma, a ineficiência alocativa da firma que opera em A seria dada pela distância BC. De posse das medidas de eficiência técnica e alocativa, obtém-se a expressão da eficiência econômica, procedendo-se, de forma análoga, à demonstrada nas medidas insumo orientadas, ou seja:

$$EE = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC}.$$

3. Referencial analítico

As medidas de eficiência podem ser facilmente obtidas quando há poucos insumos e produtos. Porém, em situações nas quais o número de insumos e produtos é maior, o cálculo da eficiência relativa de cada unidade torna-se mais complexo. Assim, nesses casos, podem-se obter fronteiras eficientes a partir de uma amostra de dados, as quais servirão para comparação entre as unidades, tornando o processo menos complicado (GOMES; BATISTA, 2004).

A elaboração de funções fronteira por abordagens não-paramétricas envolve problemas de programação matemática. A metodologia mais conhecida nessa área de estimação é a de análise envoltória de dados – DEA (da expressão em inglês *Data Envelopment Analysis*). O trabalho de Charnes et al. (1978) introduziu o uso da DEA na literatura relacionada com análise da eficiência relativa das unidades de produção. O uso de DEA para esses fins tem se mostrado bastante atrativo em diversos setores de aplicação. Estudos voltados para o setor industrial e para o setor de serviços têm utilizado, cada vez mais, a técnica de envoltória de dados, para sugerir meios de produção e de administração mais eficientes.

Segundo Lins e Meza (2000), os modelos DEA são baseados em uma amostra de dados observados para diferentes unidades produtoras. Estas unidades produtoras são denominadas DMUs (do termo em inglês *decision making units*, ou unidades tomadoras de decisão), as quais compreendem todos os tipos de sistemas de produção que transformem insumos em produtos. Assim, os dados a serem incluídos no modelo serão os insumos e os produtos das unidades em questão. O objetivo é construir um conjunto de referências convexo a partir destes próprios dados das DMUs e, então, classificá-las em eficientes ou ineficientes, tendo como referencial essa superfície formada.

Uma pressuposição fundamental, na técnica DEA, é de que, se as DMUs A e B forem capazes de produzir $Y(A)$ e $Y(B)$ unidades de produto, utilizando-se $X(A)$ e $X(B)$ unidades de insumos, respectivamente, outras DMUs também poderão fazê-lo, desde que estejam operando eficientemente. Caso o modelo aponte que tanto a DMU A quanto a B são eficientes, elas poderão ser combinadas para formar uma DMU composta, que utiliza uma combinação de insumos para produzir uma combinação de produtos. A partir do fato de que essa DMU composta não precisa necessariamente existir, convencionou-se denominá-la DMU virtual (GOMES; BATISTA, 2004).

O foco central da DEA consiste em encontrar a melhor DMU virtual para cada DMU real. Se a DMU virtual, que pode ser simplesmente uma combinação convexa de duas DMUs reais e eficientes, conseguir produzir o mesmo nível de produto utilizando uma quantidade de insumos igual ou inferior à de determinada DMU real, diz-se que esta DMU real é ineficiente. As unidades reais que compõem a DMU virtual para a DMU real ineficiente são chamadas de *benchmarks* desta DMU ineficiente (GOMES; BATISTA, 2004).

A seguir, apresentam-se os modelos utilizados na DEA. Segundo Lins e Meza (2000), embora várias formas de fronteira possam ser determinadas, existem dois modelos considerados clássicos: o de retornos constantes (modelo CCR) e o de retornos variáveis (modelo BCC).

3.1. Modelo CCR (Retornos constantes à escala)

O modelo CCR, apresentado originalmente por Charnes et al. (1978), constrói uma superfície linear por partes, não-paramétrica, que envolve os dados. Trabalha com retornos constantes de escala, de modo que qualquer variação nos produtos (*inputs*) produz variação proporcional nos insumos (*outputs*) (LINS; MEZA, 2000). Pode ser utilizado tanto sob a orientação de insumos como sob a orientação de produtos. Neste artigo, dá-se preferência à medida insumo orientada.

De acordo com Lins e Meza (2000), este modelo determina a eficiência pela otimização da divisão entre a soma ponderada dos produtos (*output virtual*) e a soma ponderada dos insumos (*input virtual*). Assim, o modelo permite que cada DMU escolha os pesos de cada variável (produto ou insumo), da forma que lhe for mais benevolente, comparativamente com as outras unidades, desde que esses pesos aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1.

Para a exposição matemática do modelo, considera-se que haja k insumos x e m produtos y para cada uma das n DMUs. Dessa forma, considerando u como o vetor dos pesos dos produtos y , e v , o vetor dos pesos dos insumos x , o modelo adaptado de Charnes et al. (1978) para calcular a eficiência da i -ésima DMU adquire a seguinte formulação linearizada:

$$\begin{aligned} & \max_{u, v} (u \cdot y_i), \\ \text{sujeito a} & \\ & u \cdot y_j - v \cdot x_j \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ & v x_i = 1, \\ & u, v \geq 0. \end{aligned}$$

De acordo com Bowlin (1998), este modelo linear objetiva maximizar a produção virtual, mantendo a condição de que esta produção virtual não pode exceder os insumos virtuais em nenhuma DMU.

Por meio da dualidade em programação linear, pode-se derivar uma forma envoltória do problema linear anterior, a qual terá orientação insumo, da seguinte forma:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta,$$

sujeito a

$$-y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0,$$

em que θ é um escalar que mede a eficiência da i -ésima DMU. Caso o valor de θ seja igual a um, a DMU será considerada eficiente; caso contrário, será menor que um. A outra variável endógena do sistema, λ , é um parâmetro vetorial cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima. A partir desse parâmetro, tem-se que, para uma unidade ineficiente, há ao menos uma unidade eficiente, cujos pesos calculados fornecerão a DMU virtual da unidade ineficiente, por meio de combinação linear. Essas unidades eficientes serão os benchmarks daquela DMU.

3.2. Modelos BCC (Retornos variáveis à escala)

No modelo BCC, devido a Banker et al. (1984), consideram-se retornos variáveis de escala, substituindo o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. Ao pressupor que a fronteira de produção seja convexa, o modelo BCC permite que DMUs, que operam com baixos níveis de insumos, tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores de insumos, retornos decrescentes de escala (LINS; MEZA, 2000).

Assim, ao adicionar a restrição de convexidade ao problema dual de programação linear exposto no modelo CCR, a fim de atender à pressuposição de retornos variáveis, obtém-se a seguinte formulação do modelo BCC:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta,$$

sujeito a

$$- y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$N_1 \lambda = 1,$$

$$\lambda \geq 0,$$

em que N é um vetor unitário ($n \times 1$). Essa abordagem forma, então, uma superfície convexa de planos em interseção, a qual envolve os dados de forma mais compacta do que a superfície formada pelo modelo CCR. Com isso, os valores obtidos para eficiência técnica, com a pressuposição de retornos variáveis, são maiores do que os obtidos com retornos constantes. Se uma DMU for eficiente no modelo CCR, ela também o será no modelo BCC, uma vez que a medida de eficiência técnica, obtida no modelo com retornos constantes, será composta pela medida de eficiência técnica no modelo com retornos variáveis (também chamada de eficiência técnica pura), pela medida de eficiência de escala e pela medida de congestão (Seiford e Zhu, 1999; Färe e Grosskopf, 2000). A seguir, discute-se apenas a medida de eficiência de escala, visto que a de congestão não será utilizada neste estudo.

3.2.1. Eficiência_de_escala

O uso da especificação de retornos constantes, quando nem todas as DMUs estiverem operando em escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica que podem ser confundidas com eficiência de escala. Por isso, faz-se necessário separá-las, o que pode ser feito ao conduzir tanto as medidas de retornos constantes como as de retornos variáveis ao mesmo conjunto de dados. Se existir uma diferença nos valores de eficiência técnica para uma DMU qualquer, isso indicará que esta DMU possui ineficiência de escala.

Poder-se-ão construir fronteiras distintas para os casos de retornos constantes (RC) e retornos variáveis (RV). A eficiência ou ineficiência de escala será medida pela distância existente entre as diferentes funções

fronteira estimadas. A Figura 3 ilustra uma situação que envolve um insumo x e um produto y . A linha que parte da origem é a fronteira com retornos constantes, enquanto a pontilhada é a fronteira com retornos variáveis. A fronteira com retornos variáveis é composta, em parte, por retornos crescentes (até R_C) e, em parte, por retornos decrescentes.

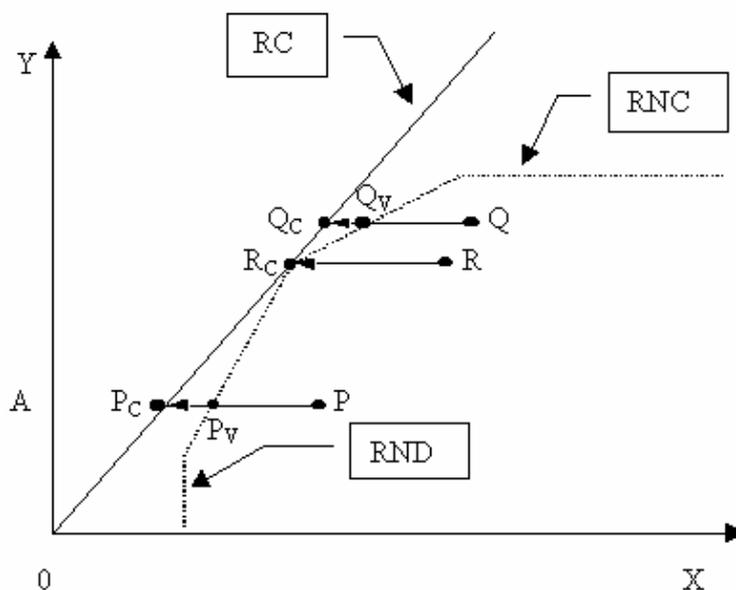


Figura 3 – Eficiência técnica e eficiência de escala.

Vê-se que, sob a suposição de retornos constantes, o ponto P possui ineficiência técnica representada pela distância PP_C ; sob a suposição de retornos variáveis, a ineficiência técnica é dada por PP_V . Assim, a ineficiência de escala é dada pela distância $P_C P_V$. As medidas de eficiência do ponto P, em termos de razão, isto é, limitadas entre zero e um, são dadas por $ET_{I,RC} = AP_C/AP$, $ET_{I,RV} = AP_V/AP$ e $EE_I = AP_C/AP_V$, em que ET é a medida de eficiência técnica; EE, medida de eficiência de escala e o subscrito I indica modelos com orientação insumo. Como $AP_C/AP = (AP_V/AP) \times (AP_C/AP_V)$, então tem-se que $ET_{I,RC} = ET_{I,RV} \times EE_I$, ou seja, a medida de eficiência técnica com RC é composta pela eficiência técnica pura e pela eficiência de escala, tal como colocado anteriormente (GOMES; BATISTA, 2004).

O modelo, porém, possui uma falha, qual seja, ele não permite a distinção de localização de DMUs que estejam na faixa de retornos crescentes ou na faixa de retornos decrescentes. Ele apenas informa que, se a medida de

eficiência de escala for igual a um, a firma estará operando com retornos constantes à escala. No entanto, se for menor que um, poderão ocorrer tanto retornos crescentes como decrescentes. Em outras palavras, mesmo que seja evidenciada a existência de ineficiência de escala, ainda não se saberá qual a natureza dessa ineficiência, isto é, se ela se deve a retornos crescentes ou decrescentes de escala (LINS; MEZA, 2000).

Para contornar essa situação, é necessária a formulação de outro problema de programação, agora com a imposição de retornos não-crescentes (RNC) ou não decrescentes (RND). Considerando o caso de retornos não-crescentes, a formulação consiste em substituir a restrição $N_1 \lambda = 1$, presente na formulação original do modelo BCC, pela restrição $N_1 \lambda \leq 1$. A fronteira, neste caso, é composta, na Figura 3, por uma faixa de retornos constantes e depois por uma faixa de retornos variáveis, decrescentes. A natureza da escala de uma DMU qualquer pode ser determinada ao comparar a eficiência técnica desta modelo com retornos não-crescentes. Se $ET_{RNC} = ET_{RV}$, os retornos serão decrescentes (como o ponto Q); caso contrário, serão crescentes (caso do ponto P).

No caso de retornos não-decrescentes à escala (RND), a restrição $N_1 \lambda \leq 1$, do modelo de retornos não-crescentes, deverá ser substituída pela restrição $N_1 \lambda \geq 1$. Na Figura 3, essa fronteira inicia-se com uma faixa de retornos crescentes e continua com uma faixa de retornos constantes. O critério de determinação de retornos obedece à seguinte regra: se $ET_{RND} = ET_{RV}$, os retornos serão crescentes; caso contrário, serão decrescentes.

Deve se destacar que esses modelos devem ser aplicados n vezes, ou seja, um modelo deve ser construído para cada DMU da amostra.

4. Variáveis de análise e fonte dos dados

Os dados foram obtidos junto à Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – Abradee – e referem-se ao ano de 2003. Neste trabalho, como já foi colocado, o foco está voltado para as empresas distribuidoras das duas regiões geográficas que concentram a maior parte do mercado do setor elétrico nacional: o Sudeste e o Nordeste. Nas análises foram consideradas as seguintes variáveis, sendo a primeira referente ao produto e as demais, aos insumos:

- a. Receita operacional líquida, na qual consta a receita bruta das operações, deduzida dos encargos sociais defrontados pelas firmas;

- b. despesas com compra de energia, cujo valor engloba custos de produção, tais como energia elétrica para revenda, transporte de potência elétrica, taxa de fiscalização da Aneel, entre outros;
- c. despesas com PMSO, ou seja, com pessoal, material, serviços de terceiros e outros custos gerenciáveis pela distribuidora.

5. Resultado e discussões

Como descrito anteriormente, a metodologia DEA é utilizada para medir a eficiência técnica com retornos constantes e retornos variáveis, identificando a natureza dos retornos destes últimos. Ademais, foi exposto que os valores de eficiência técnica podem ser decompostos em eficiência de escala e pura eficiência técnica. Para isso, conduz-se o procedimento de retornos constantes e retornos variáveis a um mesmo conjunto de dados. A eficiência de escala é calculada pela divisão do valor de eficiência com retornos constantes pelo valor de eficiência com retornos variáveis. Para todos os índices, ou seja, de retornos constantes, variáveis, e de eficiência de escala, valores iguais a um indicam melhor desempenho e, quanto mais próximo de zero, maior será o grau de ineficiência. Os índices expostos nesta seção foram obtidos pelo uso dos *softwares* EMS e DEAP *computer program*.

Por meio da pressuposição de retornos constantes à escala, apenas 15% das DMUs (as distribuidoras de eletricidade) componentes da amostra alcançaram máxima eficiência técnica, sendo duas da região Sudeste e uma da região Nordeste. Apesar disso, o grau de eficiência de todas as empresas do setor foi bastante relevante, estando todas elas dentro do intervalo cujo valor do escore (E) está localizado entre 0,7 e 1 (o grau máximo). Estes números, por intervalos do valor de eficiência, podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuidoras de energia elétrica, em relação a classes de eficiência técnica

Classe de eficiência Técnica	Eficiência técnica (Ret. constantes) (nº de empresas)	Eficiência técnica (Ret. Variáveis) (nº de empresas)	Eficiência de escala (nº de empresas)
$0 < E < 0,2$	0	0	0
$0,2 < E < 0,4$	0	0	0
$0,4 < E < 0,6$	0	0	0
$0,6 < E < 0,8$	2	2	0
$0,8 < E < 1$	15	10	17
$E = 1$	3	8	3
Média	0,912	0,943	0,97

Fonte: Dados da pesquisa.

As três empresas que alcançaram score $E = 1$ foram Cemig, Piratininga e Energipe; são consideradas, portanto, caracterizam-se como unidades produtivas de máxima eficiência técnica, sem problemas de escala, e os seus insumos estão sendo utilizados de forma ótima e em proporções adequadas, em relação aos produtos totais. Essas distribuidoras podem ser denominadas *benchmarks* das unidades ineficientes, ou seja, unidades de referência daquelas cujos escores de eficiência foram menores do que um. Na Figura 4, estas três empresas estariam sobre uma fronteira de produção eficiente (pontos A, B e C) e as demais, acima daquelas (a título de ilustração, os pontos D, E, F e G; D', E', F' e G' são as projeções radiais destes pontos até a isoquanta de eficiência técnica que indicam os *benchmarks* de cada unidade ineficiente, ou seja, as DMUs responsáveis pela classificação das empresas como ineficientes).

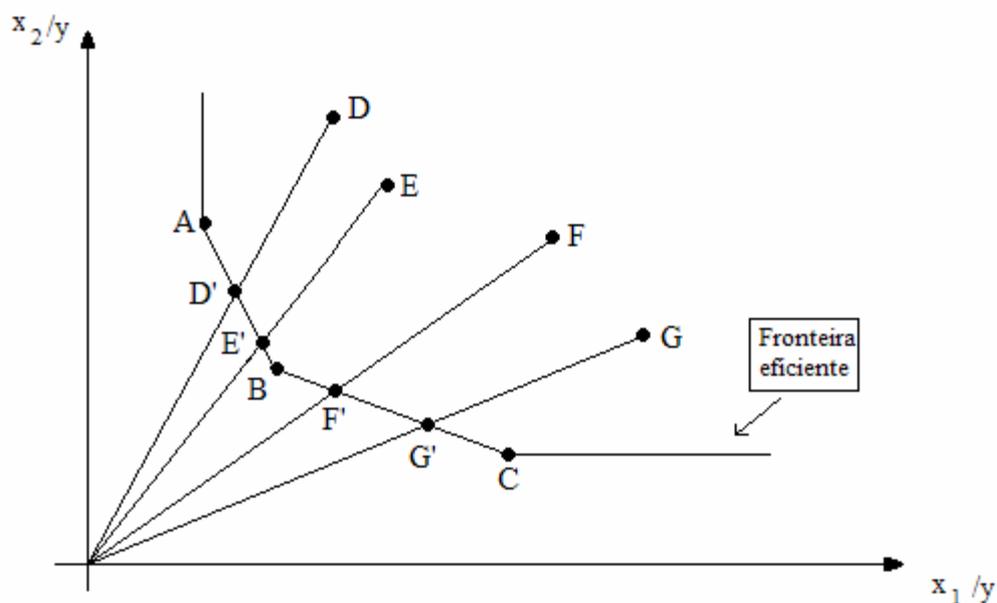


Figura 4 – Isoquanta eficiente no modelo com retornos constantes.

Em média, as unidades produtivas, na pressuposição de retornos constantes de escala, obtiveram um escore igual a 0,912, o que significa que as DMUs, para que possam atuar dentro da fronteira de produção eficiente sem redução de receita, terão que diminuir o uso de insumos em 8,8%; caso contrário, continuarão operando com problemas de escala.

A consideração do setor com a pressuposição de retornos variáveis à escala permite que se chegue a algumas outras conclusões. O total de empresas que foram qualificadas como eficientes chegou a 40% do total da amostra. Destas firmas, 5 estão localizadas no Sudeste, enquanto 3 no Nordeste. Isto indica certo equilíbrio no grau de eficiência das distribuidoras destas duas regiões, mesmo com performances e representatividades econômicas tão distintas entre si.

Dentro do cenário de retornos variáveis, a média dos escores de eficiência sofreu uma leve oscilação para cima. Esta pequena variação, sob considerações diferentes quanto aos retornos, mostra que as empresas deste setor não têm problemas tão sérios quanto à escala de produção. Na Tabela 2, mostra-se o número de DMUs que operam com retornos crescentes e com

retornos decrescentes, dentro das considerações do modelo de retornos variáveis, além do número das que operam com retornos constantes e os escores médios de eficiência das firmas:

Tabela 2 – Empresas com retornos crescentes, constantes e decrescentes e escores médios de eficiência de acordo com os retornos

Especificação	Retornos crescentes	Retornos constantes	Retornos decrescentes
Nº de empresas	7	3	10
Escore médio – Ret.constantes	0,897	1	0,911
Escore médio – Ret.variáveis	0,932	1	0,934
Escore médio - Eficiência de esc.	0,962	1	0,975
Receita operacional líquida (em R\$ mil)	1.899.235	7.199.355	23.564.650
Despesas com compra de energia (em R\$ mil)	967.784	3.503.029	14.688.668
Despesas com PMSO (em R\$ mil)	543.320	1.636.675	4.357.974

Fonte: Dados da pesquisa.

As dez firmas que apontaram retornos decrescentes à escala – 50% do total – são as maiores distribuidoras de energia elétrica dentro da amostra; estão operando no ramo superior da fronteira de produção eficiente, acima da escala ótima. Essas firmas também são as que mais gastam com insumos, pois dependem maiores montantes destinados à compra de energia do sistema interligado e ao pagamento de pessoal, material e serviços do que as demais empresas analisadas.

Destas dez, sete estão localizadas no Sudeste e três, no Nordeste. Isto pode se explicar pela maior demanda de eletricidade nas cidades da região economicamente mais relevante no cenário nacional. Pode-se dizer que a produção além da escala ótima, então, justifica-se no contexto geográfico do

Sudeste, onde estão localizadas as maiores cidades e grande parte do parque industrial do Brasil.

Já as três unidades da região Nordeste que apresentaram retornos decrescentes – Celpe, Coelba e Coelce – dão uma noção de que os Estados aos quais estas distribuidoras pertencem – Pernambuco, Bahia e Ceará, respectivamente – necessitam, igualmente, de produção de energia acima da considerada ótima. Esses Estados, não coincidentemente, são os mais dinâmicos e de maior atividade econômica desta região geográfica, o que provoca, conseqüentemente, maior nível de demanda por eletricidade. Para essas empresas, o ideal seria reduzir os gastos com insumos para produzir no mesmo nível, de forma a não mais ter de produzir quantidade adicional de seu produto com custos crescentes. Além disso, três destas empresas também estão com pequenos problemas de escala, com escores de eficiência igual a um no modelo de retornos variáveis.

Já as distribuidoras que operam no ramo inferior da fronteira de produção eficiente, ou seja, as que apresentam retornos crescentes de escala, correspondem a 35% do total da amostra, ou seja, sete das vinte empresas analisadas. Destas, cinco estão no Nordeste – Cemar (MA), Cepisa (PI), Cosern (RN), Saelpa (PB) e Sulgipe (SE) –, o que indica que essas distribuidoras estão produzindo abaixo do nível ideal de produção. Como a operação se dá com retornos crescentes, essas firmas podem aumentar a produção numa proporção tal que os custos cresçam menos do que a elevação no nível de produto. Duas destas também estão com problemas de escala, com máxima eficiência técnica no modelo de retornos variáveis.

Para essas firmas, o modelo sugere expansão nas atividades destas DMUs para que elas possam prosseguir em suas atividades, de forma mais eficiente. Porém, isto se mostra, na prática, algo um tanto difícil, visto que as unidades federativas às quais estas distribuidoras pertencem não exigem níveis de produção tão altos como em outros Estados mais desenvolvidos.

As firmas que operam com retornos constantes obtêm máxima eficiência técnica. Elas podem aumentar o seu nível de produto usando quantidades adicionais de insumos proporcionais a esses aumentos, sem, portanto, aumentos nos custos. Vê-se que essas firmas gastam o equivalente a 70% do seu produto com insumos, enquanto as DMUs com retornos crescentes e decrescentes gastam o equivalente a 80% do seu produto com insumos usados em seus processos de produção. Este menor gasto relativo com insumos pode ser uma das explicações para a maior eficiência destas.

De forma geral, ao usar a pressuposição de retornos constantes, vê-se, nas Tabelas 3 e 4, os índices de cada uma das empresas separadas por regiões. Conforme se destacou no início, apesar de haver diferenças quanto à natureza dos retornos no modelo de retornos variáveis, pode-se observar que, no modelo de retornos constantes, as firmas devem, em média, reduzir seus insumos numa proporção ligeiramente diferente para que possam produzir eficientemente.

Tabela 3 – Escores de eficiência das distribuidoras da região Sudeste

Empresa	Escore de eficiência
Bandeirante (SP)	0,973
Caiuá (SP)	0,981
Cataguazes (MG)	0,969
Cemig (MG)	1
Cerj (RJ)	0,732
CPFL (SP)	0,993
Elektro (SP)	0,954
Eletropaulo (SP)	0,911
Escelsa (ES)	0,879
Light (RJ)	0,857
Piratininga (SP)	1
Média	0,931

Fonte: Dados da pesquisa.

As firmas da região Sudeste deverão reduzir os seus insumos em 6,9%, para produzir eficientemente. Na Tabela 4, pode-se observar que as diferenças nas empresas do Nordeste não são muito significativas.

As DMUs do Nordeste deverão reduzir seus insumos em 9,6%, para produzir de maneira mais eficiente. Os escores de eficiência revelam que as empresas distribuidoras de energia elétrica, em média, possuem considerável nível de eficiência e alocação homogênea dos insumos.

Tabela 4 – Escores de eficiência das distribuidoras da região Nordeste

Empresa	Escore de eficiência
Celpe (PE)	0,868
Cemar (MA)	0,869
Cepisa (PI)	0,738
Coelba (BA)	0,994
Coelce (CE)	0,952
Cosern (RN)	0,938
Energipe (SE)	1
Saelpa (PA)	0,964
Sulgipe (SE)	0,82
Média	0,904

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 5 lista todos os indicadores alcançados por cada uma das empresas, seus indicadores de eficiência de escala e os *benchmarks*, ou seja, as unidades produtivas de referência para as empresas que alcançaram escore diferente de um, no modelo de retornos constantes. As firmas ineficientes deverão buscar alocar seus insumos tal como as suas unidades de referência, para que possam alcançar a máxima eficiência técnica.

Um dos fatores que mais poderiam explicar este cenário de alta eficiência, entre as distribuidoras de energia elétrica no Brasil, é o nível de investimentos dessas empresas, no que tange à eficiência energética. Mais precisamente a partir de 1998, essas firmas passaram, obrigatoriamente, a destinar 25% de suas receitas para investimentos em projetos que visem aumentar o grau de eficiência da distribuição. Os números são bastante expressivos, visto que a economia de energia gerada no Brasil foi de mais de 4 mil GW/h, com valores investidos que chegam ao montante de mais de R\$ 1,3 bilhão. Assim, mostra-se que as distribuidoras de energia elétrica têm se esforçado, cada vez mais, para aumentar a eficiência em seus processos produtivos.

Tabela 5 – Escores de eficiência sob retornos constantes e variáveis, eficiência de escala e *benchmarks* das empresas ineficientes (a retornos constantes)

Empresa	Escore - Ret. constantes	Escore - Ret. Variáveis	Eficiência de escala	<i>Benchmarks</i> (Ret. Constantes)
Bandeirante	0,973	0,974	0,999	Energipe, Piratininga
Caiuá	0,981	1	0,981	Cemig, Energipe
Cataguazes	0,968	0,985	0,982	Cemig, Energipe
Celpe	0,868	0,87	0,997	Cemig, Energipe
Cemar	0,868	0,875	0,992	Cemig, Energipe
Cemig	1	1	1	-
Cepisa	0,738	0,757	0,975	Cemig
Cerj	0,731	0,735	0,994	Cemig, Energipe
Coelba	0,994	1	0,994	Cemig, Energipe
Coelce	0,952	0,957	0,994	Cemig, Energipe
Cosern	0,938	0,941	0,997	Cemig, Energipe
CPFL	0,993	1	0,993	Energipe, Piratininga
Elektro	0,954	0,975	0,978	Energipe, Piratininga
Eletropaulo	0,911	1	0,911	Energipe, Piratininga
Energipe	1	1	1	-
Escelsa	0,878	0,913	0,961	Energipe, Piratininga
Light	0,856	0,913	0,937	Cemig, Energipe
Piratininga	1	1	1	-
Saelpa	0,964	0,965	0,999	Energipe, Piratininga
Sulgipe	0,82	1	0,82	Cemig

Fonte: Dados da pesquisa.

6. Conclusões

Os resultados encontrados indicam que a maioria das principais empresas distribuidoras de eletricidade do país vem operando com problemas de escala. O modelo com retornos constantes apontou que 17 das 20 empresas consideradas obtiveram escores de eficiência menores que um, de modo que 85% das distribuidoras têm condições de melhorar suas escalas de produção.

Ao mesmo tempo, ambos os modelos – retornos constantes e retornos variáveis – mostraram que as firmas, conjuntamente, apresentaram elevados escores médios de eficiência (0,912 e 0,943, respectivamente), o que demonstra considerável grau de homogeneidade entre elas e necessidade de pequenas reduções nos gastos com seus fatores de produção para produzir mais eficientemente. Por conta disso, apesar de a recomendação de que essas firmas revejam suas alocações de insumos em seus processos produtivos ser válida, reconhece-se que os problemas não são tão graves a ponto de ameaçarem a competitividade ou mesmo a qualidade dos serviços prestados por elas. Tanto é que as empresas distribuidoras de eletricidade vêm melhorando seu desempenho nos últimos anos, estimuladas, também, por grandes montantes investidos em suas plantas de produção, com vistas em aumentar a eficiência na produção.

As distribuidoras do Sudeste e do Nordeste, assim, ao não apresentarem indicadores extremamente distintos entre si, podem ser vistas como um conjunto de empresas bastante homogêneo na produção e com grau de eficiência elevado, caracterizando-se, portanto, como um ramo do setor elétrico nacional competitivo, eficiente e qualificado o bastante para o atendimento da demanda de energia elétrica pelos estados que mais a demandam no Brasil.

Referências Bibliográficas

ABRADEE. **Apresentação institucional da Abradee 2005**. Disponível em: <http://200.196.21.210/download/relatorios/Abradee_Institucional_2005-jun-13.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2007.

ANEEL. **Mercado de distribuição – Concessionárias de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/leitura_arquivo/arquivos/Mercado_6.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2007.

BANKER, R.D.; CHARNES, H.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n.9, p. 1078-1092, 1984.

BOWLIN, W.F. Measuring performance: na introduction to data envelopment analysis (DEA). **Journal of Cost Analysis & Management**, Fall, p. 3-27, 1998.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v.2, n.6, p. 429-444, 1978.

COELBA. **O setor elétrico.** Disponível em: <<http://www.coelba.com.br/O%20SETOR%20ELETRICO/37797%3B47173%3B32%3B0%3B0.asp?c=5>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

FARREL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series A, part III, p. 253-290, 1957.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. **Reference guide to OnFront.** Sweden: Economic Measurement and Quality Corporation, 2000. 45p.

GIAMBIAGI, F.; PIRES, J.C.L.; SALES, A.F. **As perspectivas do setor elétrico após o racionamento.** Texto para discussão n.97 – BNDES, Rio de Janeiro: 2002.

GOMES, A.P.; BAPTISTA, A.J.M.S. Análise envoltória de dados: conceitos e modelos básicos. In: SANTOS, M.L.; VIEIRA, W.C. (Orgs.). **Métodos Quantitativos em Economia.** Viçosa: UFV, 2004. p. 121-160.

LINS, M.P.E.; MEZA, L.A. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à tomada de decisão.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

PIRES, J.C.L. **Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro.** Texto para discussão n.76 – BNDES, Rio de Janeiro: 2000.

SEIFORD, L.M.; ZHU, J. An investigation of returns to scale in data envelopment analysis. **Omega – The Journal of Management Science**, v.27, n.1, p. 1-11, 1999.