



AValiação DAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA ELÉTRICA COM ENTRADAS COMPARTILHADAS

Lívia Mariana Lopes de Souza Torres

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Avenida Senador Salgado Filho, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal
livia_maryanna@hotmail.com

Adriana Cavalcante Marques

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Avenida Senador Salgado Filho, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal
adrianac.m@hotmail.com

Fernanda Kivia Agra Fernandes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Avenida Senador Salgado Filho, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal
fernandakiviaf@gmail.com

Mariana Rodrigues de Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Avenida Senador Salgado Filho, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal
almeidamariana@yahoo.com

João Carlos Correia Baptista Soares De Mello

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói,
RJ jcsmello@producao.uff.br

Resumo

Este artigo tem como objetivo de avaliar a eficiência das empresas brasileiras de transmissão de energia elétrica. O método não paramétrico de mensuração de eficiência, Networking Data Envelopment Analysis (NDEA), foi escolhido como ferramenta de avaliação. O modelo de redes empregado possui dois estágios e considera o compartilhamento de *inputs* entre os processos. O custo operacional (OPEX), a capacidade de transmissão e as receitas representam as variáveis do modelo, correspondendo respectivamente a *input*, produto intermediário e *output*. Os dados utilizados correspondem ao ano de 2014 e provem de três bases de dados distintas: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Bovespa e do Operador Nacional do Sistema Elétrico. Com os resultados, essa modelagem permite identificar as ineficiências nos processos, bem como tratar adequadamente as variáveis pertinentes a situação investigada.

PALAVRAS CHAVE. Energia, DEA em redes, Eficiência, Input Compartilhado.

Tópicos: DEA- Análise Envoltória de Dados; EN – PO na área de energia

Abstract

This article aims to evaluate the efficiency of Brazilian electric power transmission companies. To determine the efficiency, it was used Network Data Envelopment Analysis (NDEA) model aiming products maximization. The employed model considers two stages and also inputs sharing between processes. Operational cost (OPEX), transmission capacity and revenues represent the variables of the model, corresponding respectively to input, intermediate product and output. This analysis relates to the period of 2014 and data obtained come from three different databases: National Electric Energy Agency (ANEEL), Bovespa and the National Electric System Operator. With the



results, this modeling allows to identify the inefficiencies in the processes, as well as adequately treat the variables pertinent to the investigated situation.

KEYWORDS. Energy, Network DEA, Efficiency, Shared Input.

Paper topics: DEA - Data Envelopment Analysis; EN - OR in Energy

1. Introdução

O setor elétrico brasileiro tem apresentado intensas transformações estruturais e econômicas nas últimas duas décadas. Um exemplo disso, são as reformas regulatórias, as quais obtiveram, como resultados, a privatização dos serviços antes providos pelo governo, liberação dos preços e a eliminação das restrições aos investimentos estrangeiros. Como consequência, tem-se a intensificação da concorrência do setor de energia.

Com a reestruturação da década de 1990 e o estabelecimento da quebra de monopólios verticais fez com que as companhias geradoras passassem a negociar a produção no mercado livre por meio de contratos bilaterais, o que incentivou a concorrência do mercado de consumo. A permissão de consumidores livres e a regulação dos setores de distribuição e transmissão tornaram o aumento da eficiência um objetivo comum nas organizações.

O setor, que tem como órgão regulamentador a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), possui três agentes conectados e com objetivos distintos: o governo, em busca de atingir o equilíbrio fiscal e geração de renda; o consumidor, o qual almeja sua inclusão social e uma melhor qualidade de vida e o investidor que anseia o retorno do capital investido e a maximização dos lucros [Pedroza 2005].

Nesse contexto, necessita-se de um alto desempenho para atender os interesses dos *stakeholders*. A fim de garantir o equilíbrio econômico-financeiro, a ANEEL busca proteger os envolvidos do abuso de poder do mercado, com a definição e fixação das tarifas ao consumidor que sejam justas, bem como estabelecer uma receita para as concessionárias, além de garantir a qualidade do fornecimento, incentivando a competitividade e exigindo a eficiência na gestão dos custos operacionais.

Em ambientes como esse, a técnica não paramétrica Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês *Data Envelopment Analysis*) se apresenta adequada para inquirir sobre desempenho, tendo em vista que a mesma é capaz de realizar mensuração de eficiência e fornecer *benchmarking*. Originalmente proposta por [Charnes et al. 1978], a técnica considera múltiplas entradas e múltiplas saídas de Unidade Tomadora de Decisão (DMU) homogêneas.

Com as *surveys* recentes da área, como as considerações de [Liu et al. 2013], [Liu et al. 2016] e [Emrouznejad e Yang 2017] é possível notar a ênfase das aplicações de DEA na área de energia, sendo essa uma das vertentes em expansão e de destaque neste ramo de literatura. Nessa perspectiva, o presente estudo tenciona realizar uma aplicação de um modelo NDEA com o compartilhamento de *inputs* entre estágios para este setor, a fim de compreender se a utilização do OPEX ocorre de forma eficiente.

A presente análise expande as considerações de [Moreno et al. 2015] ao implantar o modelo sugerido para investigar o setor de transmissão. Logo, o artigo contribui para a literatura em três vertentes: a) emprega o modelo de redes de DEA no setor de transmissão, investigação essa que só havia sido realizada para distribuidoras; b) propõe o uso de uma nova variável, capacidade de transmissão, proposta por [Pollit 1994] e [Nemoto e Goto 2003], a qual não havia sido empregada na análise do sistema nacional; c) sugere uma metodologia de aplicação direta e com resultados gerencialmente relevantes.

Com a pesquisa de [Bagdadioglu et al. 1996], um cenário semelhante ao brasileiro se encontra sob investigação. O mercado de energia turco também passou por mudanças de regulação e inserção de empresas privadas. Os resultados do estudo indicam um superior desempenho de



empresas privadas quando comparadas as públicas. Logo, uma inquirição similar será desenvolvida no contexto brasileiro no setor de transmissão.

O artigo está organizado em seções. Inicialmente é realizada uma breve descrição sobre o setor de transmissão brasileiro. A seção seguinte cobre a metodologia aplicada para o desenvolvimento do presente estudo, detalhando: a) estudos correlatos na área de mensuração de eficiência por meio de DEA no setor elétrico brasileiro; b) a modelagem empregada; e c) a amostra e as variáveis empregadas. A quarta seção elucida os resultados encontrados. A seção final apresenta as principais conclusões e proposições para estudos futuros.

2. Transmissoras de Energia Elétrica no Brasil

O segmento de transmissão é encarregado pelo serviço de transporte de grandes quantidades de energia elétrica dos centros de produção até as instalações das companhias distribuidoras localizadas junto aos centros de consumo, por meio de linhas de transmissão e subestações com tensão igual ou superior a 230 kV, o que é denominado de Rede Básica.

No Brasil, a grande extensão da rede de transmissão é explicada pela configuração do segmento de geração, constituído, na maior parte, de usinas hidrelétricas instaladas em locais distantes dos centros consumidores. A principal característica desse segmento é a sua divisão em dois grandes blocos: o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a quase totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados, instalados principalmente na região Norte. Os estados do Amazonas, Roraima, Acre, Amapá, Rondônia e parte do Pará ainda não fazem parte do SIN. Nestes estados, o abastecimento é realizado por pequenas usinas termelétricas ou por usinas hidrelétricas situadas próximas às suas capitais.

O setor elétrico brasileiro passou por intensa reestruturação a partir de 1996. Mediante as modificações implementadas, qualquer agente do setor elétrico que produza ou consuma energia elétrica passou a ter direito à utilização da Rede Básica, como o consumidor livre. Esse é o chamado livre acesso, assegurado em lei e garantido pela Aneel, e estimula a concorrência nos segmentos de geração e comercialização da energia elétrica.

Nos dias atuais, a transmissão de energia elétrica é uma atividade regulada no preço (remuneração pré-definida), na qualidade (atendimento de serviço adequado) e na quantidade (livre acesso para o montante de energia a ser transportado pelos agentes produtores e consumidores) [SERRATO, 2006].

Em 1999, foi introduzido o regime de remuneração para as transmissoras conhecido como *revenue cap* (receita-teto). Já em 2006, para a atualização dessa receita, denominada Receita Anual Permitida (RAP), foi aprovado o primeiro ciclo de revisão periódica para as empresas de transmissão de energia (ICRP-T), o qual utilizava a método de empresa de referência para o cálculo dos custos operacionais eficientes, desde então a Aneel busca o aprimoramento de sua metodologia, e, atualmente, conta com o uso do método de benchmarking para a definição dos custos operacionais.

As revisões tarifárias têm como resultado o reposicionamento tarifário que são repasses periódicos para as tarifas dos ganhos de eficiência alcançados pelas empresas, e consistem na relação entre a Receita Requerida para o próximo período e a Receita Vigente do período anterior. A receita requerida é a RAP da concessionária representa a soma dos custos operacionais eficientes (Custos de Administração, Operação e Manutenção – CAOM), os custos anuais dos ativos (CAA) e os encargos setoriais e tributos (ES), por fim, são deduzidas as receitas obtidas pela exploração de outras atividades (Outras receitas – OR).

Apesar das significativas mudanças implementadas, ainda surgem críticas ao modelo utilizado para a avaliação do setor. A metodologia utilizada é complexa, apresentando diversos cálculos e condições até obter ao resultado final. Cabe, então, ressaltar que dentre os fundamentos e conceitos que orientam as metodologias de revisão tarifária está a simplificação do método.

Outra crítica é referente as variáveis do modelo. A Aneel utiliza dentre as variáveis do DEA, o comprimento de rede e o número de transformadores. Critica-se o uso redundante dessas variáveis, uma vez que ambas traduzem a ideia de dispersão da área atendida, seja mais rural ou urbana. Corroborando com a contribuição da ABRATE, na Nota Técnica nº 196/2013, a qual



solicita revisão das variáveis utilizadas, tendo em vista que as últimas aplicações da metodologia utilizada pela Aneel demonstram que a variável “número de transformadores” não contribui de forma efetiva para o cálculo de eficiência das empresas.

Além disso, ao considerar o comprimento total da rede, atribui-se um peso unitário para todas as distâncias de modo que desconsidera os diferentes níveis de tensão das linhas. Para isso, pode-se utilizar a variável de capacidade de transmissão, como visto em [Pollit 1994] e [Nemoto e Goto 2003], a qual consiste na soma ponderada do comprimento de rede de transmissão (km) com o nível de tensão (KV).

Considerando o fato de a ANEEL já utiliza a metodologia de DEA para investigar o setor de transmissão desde 2006. Em algumas pesquisas e audiências públicas, constatam críticas sobre as variáveis e a modelagem utilizada de retornos não decrescentes de escala (NDRS – *Non-Decreasing Returns to Scale*), o presente estudo propõe uma metodologia diferente de avaliação, a qual será detalhada em diferentes etapas na seção 3.3.

3. Método

3.1 Análise Envolvória de Dados e o setor elétrico brasileiro

O setor de energia elétrica assume considerável importância para a produtividade e desenvolvimento econômico de um país, além de prover recursos essenciais aos cidadãos [Martins et al. 2014]. Mediante tal importância, diversos trabalhos foram e são desenvolvidos em todo o mundo com aplicações de diferentes modelos de DEA no setor elétrico, tais como: [Sueyoshi e Goto 2001], [Sarkis e Cordeiro 2009] e [Tone e Tsutsui 2014]. Os primeiros trabalhos desenvolvidos na área para avaliar a eficiência das empresas de eletricidade foram de [Färe et al. 1983] e [Charnes et al. 1989], nos Estados Unidos.

A busca pela maximização da eficiência técnica, econômica e ambiental, numa esfera em que as tarifas são pré-fixadas e a manutenção dos serviços é onerosa, torna-se essencial para o alcance do objetivo das empresas: obtenção do retorno financeiro. Nesse cenário, os estudos focados na mensuração de eficiência do setor elétrico brasileiro por meio de DEA investigam as questões de eficiência mediante diferentes abordagens: custos ([Serrato et al. 2006]), comparação entre resultados de diferentes modelos [Sollero e Lins 2004], proposição de metodologia para o setor [Andrade et al. 2014].

No âmbito do Sistema Elétrico Brasileiro, [Resende 2002], [Vidal e Távora Junior 2003], [Pessanha et al. 2004] e [Sollero e Lins 2004] divulgam resultados estimados por distintos modelos DEA na avaliação da eficiência das distribuidoras de energia elétrica.

No trabalho de [Resende 2002], utilizou-se DEA BCC com orientação ao *input* para analisar a eficiência de 24 distribuidoras brasileiras, no contexto de *yardstick competition*. Já [Vidal e Távora Junior 2003] investigam as distribuidoras por meio de modelos de retornos constantes e variáveis, bem como considerando que algumas atuam apenas no mercado de distribuição e outras também no mercado de transmissão.

A partir das linhas gerais traçadas na Nota técnica Aneel nº 326/2002, [Pessanha et al. 2004] avaliam a eficiência de 60 distribuidoras, por meio de um modelo DEA com orientação ao *input*, tendo o OPEX como a única variável de *input* e o IASC como uma variável proxy da qualidade. Por outro lado, [Sollero e Lins 2004] destacam que o uso de modelos clássicos pode atribuir resultados de eficiência demasiadamente elevados, desse modo, propõem uma avaliação com restrição aos pesos, visando investigar 22 distribuidoras de forma mais realista.

[Sampaio et al. 2005] definiram um conjunto de variáveis capazes de caracterizar adequadamente o funcionamento de 71 usinas hidrelétricas pertencentes a 12 empresas do setor de energia. Destacam-se a CESP e a Light com a melhor e pior eficiência, respectivamente, e resultados com maior eficiência para as empresas com potência instalada intermediária e localizadas no Paraná.

Alguns autores propõem e utilizam modelos com variáveis de continuidade e qualidade para o segmento de distribuição do Brasil. Dentre esses destacam-se: [Pessanha et al. 2005], [Cheberle et al. 2006] e [Pessanha et al. 2006], os quais utilizam o Mapa de Kohonen e medidas de restrições aos pesos, juntamente aos modelos clássicos de DEA; bem como também, [Tschaffon e



Meza 2011] que utilizam a fronteira invertida e quatro abordagens para o tratamento de *outputs* indesejáveis.

Como mencionado anteriormente, o setor elétrico brasileiro passou por diversas transformações na década de 1990, [Ramos-Real et al. 2008] decompõem as mudanças de produtividade, do período referente a 1998 a 2005, em eficiência técnica, eficiência de escala e progresso técnico visando compreender os principais determinantes dessas flutuações de produtividade.

Em uma perspectiva mais relacionada aos custos no setor elétrico brasileiro, ressalta-se as pesquisas de [Serrato 2006], o qual analisa os custos operacionais das transmissoras através da fronteira estocástica (SFA – *Stochastic Frontier Analysis*), diferente do trabalho de [Pessanha et al. 2010] que analisam através dos modelos BCC, CCR e NDRS, e [Andrade e Sant’ana 2011], os quais utilizam o modelo Malmquist.

[Pessanha et al. 2010] avaliaram criticamente o modelo utilizado pela Aneel, verificando que os níveis de tensão deveriam ser incluídos na análise, uma vez que, esses influenciam nos custos e receita das empresas. Além disso, compararam os modelos CCR, BCC e NDRS, concluindo que o modelo CCR obtém resultados próximos ao modelo NDRS, que atende ao objetivo de reduzir custos e encorajar as transmissoras a operarem em escala ótima.

[Andrade e Sant’ana 2011] analisaram as concessionárias sobre outra ótica da utilizada pela Aneel, a fim de debater sobre os custos operacionais eficientes, de modo que, compararam os resultados obtidos com o modelo BCC e o NDRS. Assim, observa-se um incremento na eficiência nas empresas que possuíam retornos decrescentes de escala. [Rezende et al. 2014] também apontam necessidade de modificações na modelagem da ANEEL. Os autores propõem o agrupamento das empresas, visando um julgamento mais justo, assim como propõem o emprego de uma avaliação cruzada para níveis eficientes de custos operacionais.

Ainda sob o prisma da necessidade de agrupamento das empresas, [Andrade et al. 2014] propõem o agrupamento das empresas utilizando como critérios variáveis ambientais. Redes Neurais do tipo self-organizing maps realizam essa etapa da análise e em seguida o DEA performa a mensuração de eficiência para cada um dos clusters.

Mediante as características dos trabalhos detalhados previamente, é possível afirmar que o estudo de [Moreno et al. 2015] preconiza uma abordagem distinta dos demais até o presente momento para o setor de energia brasileiro. Os autores consideram dois estágios para a avaliação de distribuidoras de energia brasileira, bem como compartilham a entrada sinalizada pelo OPEX para os dois estágios. Os autores buscavam tratar de forma mais adequada variáveis características do sistema brasileiro, como a extensão de rede. Conhecendo as críticas ao atual modelo da ANEEL, bem como de certas similaridades entre o setor de distribuição e transmissão, foram realizadas adaptações para que a modelagem possa inquirir sobre as questões de eficiência das transmissoras de forma mais realista as normas do setor.

3.2 Network Data Envelopment Analysis (NDEA)

Os modelos clássicos de DEA vislumbram os sistemas como “caixas pretas”, sem focar em detalhes internos de estrutura, os quais são intrínsecos a todas as empresas. O DEA em redes (NDEA, do inglês *Network Data Envelopment Analysis*) é desenvolvido com o intuito de contemplar essas particularidades internas dos sistemas.

O NDEA é adequado aos sistemas de produção de vários estágios quando um output em um estágio alimenta algum estágio subsequente como um input [Kapelko et al. 2014]. Isto é, apresenta variáveis de ligação, cuja presença é o que distingue o DEA em redes do DEA tradicional e, por incorporar na medição, as operações e interdependências dos processos componentes, avalia a eficiência relativa de um sistema considerando seu interior [Kao 2014].

Por meio de sua formulação, o NDEA permite observar não apenas a eficiência global da DMU, mas também as eficiências das divisões (SDMUs, ou sub-DMUs) para cada estágio [Chao et al. 2015]. A existência das variáveis de ligação é uma parte indispensável dos modelos DEA em redes [Tone e Tsutsui, 2009] e são referenciadas como "produtos intermediários" [Kou et al. 2016].



O modelo de redes ou Network DEA (NDEA) foi introduzido por [Färe e Grosskopf, 1996], os quais investigaram a “caixa preta” pela primeira vez e evidenciaram que, dentre as vantagens do modelo de redes, tem-se a possibilidade de analisar os processos internos que compõem a rede do sistema global e, assim, obter um nível de detalhe comparado aos modelos clássicos.

Outra característica do modelo em redes é que, diferentemente do modelo convencional do DEA, [Kao, 2009] afirma que o NDEA não tem uma forma padrão, uma vez que o modelo depende da estrutura da rede em questão. Existem três principais configurações de rede propostas na literatura: série, paralelo e mista. Quanto aos modelos, o relacional de [Kao 2009], o aditivo de Chen [2010] e o SBM de [Tone e Tsutsui 2009] apresentam maior destaque na literatura.

Existe ainda um modelo de dois estágios, que analisa o sistema de forma separada: primeiro um sistema inicial (*inputs* e *outputs* intermediários) e, depois, o segundo sistema, que apresenta os *outputs* do primeiro estágio como *inputs* e produz *outputs* finais ou exógenos. Avalia-se a eficiência de cada divisão de uma empresa entre o conjunto de DMUs, e, portanto, pode encontrar pontos de referência para cada divisão [Tone e Tsutsui, 2009]. A Figura 1 ilustra um modelo genérico de um NDEA em série.

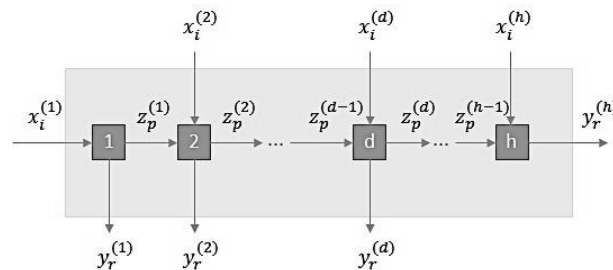


Figura 1 – Modelo genérico de NDEA com estágios em série

3.3 Modelo Implementado

Mediante a importância das informações advindas de um modelo como o DEA em redes, modelagens distintas foram propostas na literatura com o intuito de realizar a referida mensuração. Dentre essas, o modelo relacional de [Kao 2009] e o modelo aditivo de [Chen et al. 2009] se destacam na literatura. Para as considerações desenvolvidas no presente estudo, será utilizado o modelo relacional proposto por [Kao 2009].

O modelo relacional considera retornos constantes de escala. A sua configuração permite que as saídas de uma entrada sejam consumidas em processos seguintes. A Equação 1 detalha o modelo de programação linear desenvolvido por [Kao 2009].

$$\begin{aligned}
 E_j &= \text{Max} \sum_{k=1}^s v_k y_{kj} \\
 \text{s.t.} \\
 \sum_{i=1}^m u_i x_{ij} &= 1 \\
 \sum_{k=1}^s v_k y_{kj} - \sum_{r=1}^R w_r z_{rj} &\leq 0 \quad j = 1 \dots n \\
 \sum_{r=1}^R w_r z_{rj} - \sum_{i=1}^m u_i x_{ij} &\leq 0 \quad j = 1 \dots n \\
 u_i, v_k, w_r &\geq 0 \quad \forall i \forall k \forall r
 \end{aligned}
 \tag{Equação 1}$$

A configuração adotada para o presente estudo consiste em um modelo de redes em série com dois estágios. Além da subdivisão do processo em duas etapas, foi considerada a existência de compartilhamento de *input* entre os processos. Nessa avaliação, o *input* compartilhado é o OPEX. Isso ocorre devido a existência de uma parcela do OPEX utilizada para a manutenção da rede e de outra parcela empregada para expandir a capacidade de transmissão das empresas, seja por meio da extensão da rede ou por meio de uma maior tensão, conforme detalhado na Figura 2.



Como especificado na Figura 2, o *input* utilizado consiste no OPEX, o produto intermediário é representado pela capacidade de transmissão (a qual consiste na soma ponderada do comprimento de rede de transmissão (km) com o nível de tensão (KV)) e a saída consiste na receita total obtida por cada empresa. O compartilhamento desse *input* exige adaptações no modelo. Mediante as mudanças, o modelo adaptado pode ser compreendido por meio da Equação 2.

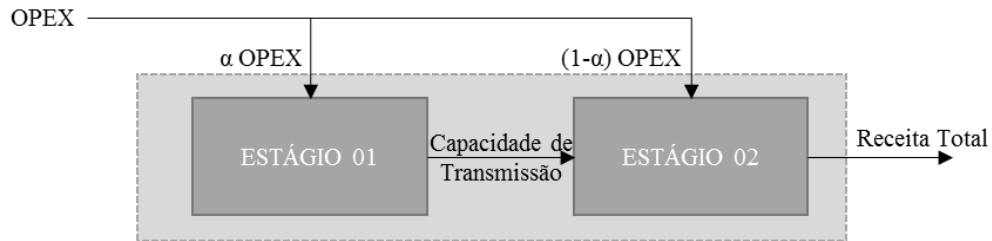


Figura 2 – Modelo adotado na pesquisa

$$\begin{aligned}
 E_j &= \text{Max} \sum_{k=1}^s v_k y_{kj} \\
 \text{s.t.} \\
 \sum_{i=1}^m u_i x_{ij} &= 1 \\
 \sum_{k=1}^s v_k y_{kj} - \sum_{r=1}^R w_r z_{rj} - (1-\alpha) u_{sl} x_{slj} &\leq 0 \quad j=1 \dots n \\
 \sum_{r=1}^R w_r z_{rj} - \sum_{i=1}^m u_i x_{ij} - \alpha \cdot u_{sl} x_{slj} &\leq 0 \quad j=1 \dots n \\
 u_i, v_k, w_r &\geq 0 \quad \forall i \forall k \forall r \\
 0 &\leq \alpha \leq 1
 \end{aligned}
 \tag{Equação 2}$$

Por intermédio do cálculo do modelo exposto na Equação 2 para as n DMU's investigadas, é possível realizar o cálculo das eficiências dos estágios E_1 e E_2 com a Equação 3 utilizando os pesos respectivos das soluções ótimas.

$$E_1 = \frac{\sum_{r=1}^R w_r^* z_{rj}}{\sum_{i=1}^m u_i^* x_{ij} + \alpha^* \cdot u_{sl}^* x_{slj}} \quad E_2 = \frac{\sum_{k=1}^s v_k^* y_{kj}}{\sum_{r=1}^R w_r^* z_{rj} + (1-\alpha^*) u_{sl}^* x_{slj}}
 \tag{Equação 3).}$$

4. Análise e Discussão dos resultados

O atual mercado brasileiro do setor elétrico está distribuído da seguinte forma: 201 empreendimentos em operação de geração de energia. 77 empresas de transmissão e 64 distribuidoras. Para o desenvolvimento dessa pesquisa, 28 empresas de transmissão foram selecionadas. Incluem-se, assim, as transmissoras selecionadas, as quais fazem parte da ABRATE (Associação Brasileira de Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica), em que contempla as maiores empresas de transmissão de energia. A Tabela 1 sintetiza as transmissoras analisadas na presente pesquisa, bem como as respectivas localizações, tipo de gestão e extensão da rede em quilômetros (Km).

É preciso também destacar que para evitar a monopolização do OPEX em algum dos estados, foram inseridas restrições para assegurar um limite inferior e superior para o alfa, sendo esses valores respectivamente 0,1 e 0,3. A definição desses valores ocorreu por meio da opinião de especialistas da área. Tabela 2 representa a estatística descritiva dos dados utilizados nas análises.

Utilizando o modelo relacional com o compartilhamento de input apresentado na Equação 2 e, em seguida, determinou-se a eficiência dos estágios por meio da Equação 3. A Tabela 3 sistematiza os resultados da eficiência global e dos estágios E_1 e E_2 . Com o modelo proposto, o



valor médio de eficiência global das empresas obtido foi de 26,83%. Verifica-se também uma grande dispersão de valores, variando de 0,08% até 99,93%. Com esses resultados, avalia-se que o modelo obteve resultado discriminatório, tendo em vista que nenhuma das DMU's foi considerada eficiente.

Tabela 1 – Amostra das transmissoras analisadas no estudo

Transmissoras	Siglas	Estado	Gestão
Afluente Transmissão de Energia Elétrica S.A	Afluente T	BA	Privada
Campos Novos Transmissora de Energia S.A	ATE VI	RS	Privada
Foz do Iguaçu Transmissora de Energia S.A.	ATE VII	PR	Privada
Brasnorte Transmissora de Energia S.A.	Brasnorte	MT	Privada
Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	CEEE - GT	RS	Público
Celg Geração e Transmissão S.A.	CELG - GT	GO	Público
Companhia Energética de Minas Gerais	CEMIG - GT	MG	Público
Companhia Hidroelétrica do São Francisco	CHESF	PE	Público
Companhia Paranaense de Energia	COPEL - T	PR	Público
Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista	CTEEP	SP	Privada
Empresa Brasileira de Transmissão de Energia S.A.	EBTE	MT	Privada
Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.	Eletronorte	DF	Público
Eletrosul- Centrais Elétricas S.A.	Eletrosul	SC	Público
Encruzo Novo Transmissora de Energia Ltda	Encruzo	MA	Privada
Empresa de Transmissão do Alto Uruguai S.A.	ETAU	SC	Privada
Empresa de Transmissão do Espírito Santo S.A.	ETES	ES	Privada
Evrecy Participações Ltda	EVRECY	ES	Privada
Furnas Centrais Elétricas S.A.	FURNAS	RJ	Público
Interligação Elétrica Sul S.A.	IE Sul	SC	Privada
Light Energia S.A	LIGHT	RJ	Privada
Linhas de Macapá Transmissora de Energia Ltda.	LMTE	PA	Privada
Linhas de Transmissão de Montes Claros Ltda.	Montes Claros	MG	Privada
Porto Primavera Transmissora de Energia Ltda.	PPTTE	SP	Privada
Empresa de Transmissão de Energia do Rio Grande do Sul S.A.	RS Energia	RS	Público
Serra da Mesa Transmissora de Energia Ltda.	SMTE	GO	Privada
Serra Paracatu Transmissora de Energia Ltda.	SPTE	MG	Privada
Sistema de Transmissão Catarinense S.A.	STC	SC	Privada
Companhia Transirapé de Transmissão	Transirapé	MG	Privada

Tabela 2 – Estatística descritiva dos dados

	OPEX	Cap. Transm.	Receita
Média	178118,18	911015,49	91114059,15
Desvio Padrão	297520,75	1575163,92	125424899,16
Mínimo	1316,00	14030,00	1924021,17
Máximo	1164480,00	6289917,50	435970243,69

O valor encontrado para alfa foi semelhante para todas as DMU's, sendo este igual a 0,1. Tal valor indica uma priorização do OPEX para o segundo estágio do modelo. Esse resultado se encontra em consonância com as descobertas de [Moreno et al. 2015], indicando que a modelagem de rede empregada é adequada para o setor elétrico brasileiro.

Dentre as empresas investigadas, a transmissora Montes Claros apresentou melhor desempenho, tendo apresentado eficiência alta no primeiro estágio (99,31%), sendo considerada eficiente no segundo. Essa empresa possui o segundo menor valor de OPEX, todavia é a décima nona tanto em capacidade, quanto em receita obtida.

No primeiro estágio, a empresa Brasnorte foi considerada eficiente. Essa companhia apresenta o sétimo menor valor de OPEX dentro da amostra e a décima segunda maior em capacidade de transmissão. Por outro lado, empresas como Light e Evrecy representam os piores desempenhos. A Evrecy apresenta o quinto maior OPEX, todavia possui a sexta menor capacidade



e a terceira pior receita, situação semelhante ocorre com a Light. É possível verificar que o OPEX está sendo administrado de forma incorreta, não incorrendo nos resultados necessários.

Em um segundo nível de análises remete à validação da hipótese de pesquisa, e para isso retoma-se ao problema de pesquisa “como analisar o segmento de transmissão de forma a verificar se as empresas estão utilizando adequadamente os custos operacionais?”. Essa indagação originou a hipótese a ser analisada, no intuito de avaliar se o tipo de gestão possui impacto positivo ou negativo no desempenho das empresas. A Tabela 3 detalha o ranking da eficiência global das empresas e o respectivo tipo de gestão.

Tabela 3 – Resultados do modelo relacional com input compartilhado

DMU	Efic. Global	E1	E2	A	DMU	Efic. Global	E1	E2	α
Montes Claros	99,93%	99,31%	100,00%	0,1	CEMIG	7,08%	29,09%	7,63%	0,1
PPTE	75,88%	32,72%	81,36%	0,1	COPEL	6,54%	12,51%	7,17%	0,1
SMTE	68,20%	65,33%	70,65%	0,1	IE Sul	5,54%	9,76%	6,08%	0,1
ETAU	64,80%	24,70%	70,07%	0,1	CTEEP	5,34%	15,10%	5,84%	0,1
STC	60,32%	67,66%	62,33%	0,1	ATE VI	5,28%	5,09%	5,83%	0,1
Transirapé	57,47%	15,58%	62,77%	0,1	CELG-T	5,20%	17,10%	5,67%	0,1
ETES	53,16%	51,74%	55,86%	0,1	RS Energia	4,96%	5,54%	5,48%	0,1
Encruzo	51,97%	86,57%	52,68%	0,1	CHESF	4,94%	14,00%	4,94%	0,1
EBTE	41,56%	98,15%	41,64%	0,1	Eletronorte	4,85%	14,45%	5,30%	0,1
Brasnorte	36,85%	100,00%	36,85%	0,1	CEEE-T	3,61%	9,90%	3,97%	0,1
LMTE	23,94%	24,18%	25,90%	0,1	FURNAS	3,49%	0,00%	3,49%	0,1
Afluyente T	23,45%	20,83%	25,47%	0,1	ATE VII	2,66%	2,69%	2,95%	0,1
SPTE	23,35%	31,99%	25,05%	0,1	LIGHT	0,38%	1,40%	0,42%	0,1
Eletrósul	10,41%	22,33%	11,29%	0,1	EVRECY	0,08%	0,19%	0,09%	0,1

A hipótese de pesquisa pretende analisar a existência de diferenças entre as medianas das eficiências globais para as empresas em relação ao tipo de gestão, do setor público ou privado. Logo, formula-se uma hipótese para averiguar se as empresas de gestão privada apresentam maior eficiência do que as de gestão pública por meio da hipótese 1. Para tanto, desdobra-se na hipótese nula e alternativa como apresenta a Tabela 4 para investigação em análise.

Tabela 4 – Ranking das empresas associado ao tipo de gestão

Ranking	Empresa	Tipo de Gestão	Ranking	Empresa	Tipo de Gestão
1	Montes Claros	Privada	15	CEMIG	Pública
2	PPTE	Privada	16	COPEL	Pública
3	SMTE	Privada	17	IE Sul	Privada
4	ETAU	Privada	18	CTEEP	Privada
5	STC	Privada	19	ATE VI	Privada
6	Transirapé	Privada	20	CELG-T	Pública
7	ETES	Privada	21	RS Energia	Pública
8	Encruzo	Privada	22	CHESF	Pública
9	EBTE	Privada	23	Eletronorte	Pública
10	Brasnorte	Privada	24	CEEE-T	Pública
11	LMTE	Privada	25	FURNAS	Pública
12	Afluyente T	Privada	26	ATE VII	Privada
13	SPTE	Privada	27	LIGHT	Privada
14	Eletrósul	Pública	28	EVRECY	Privada



Para a validação foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney, a fim de verificar se as medianas da população dos dois grupos são diferentes, para um nível de significância de 0,05. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelo teste para hipótese H_1 .

Os resultados apontam que há diferenças entre as eficiências das empresas de gestão privada e pública, de modo que o valor-p (0,016) foi menor que o nível de significância (0,05) e a hipótese nula é refutada. Conclui-se pelos valores obtidos das medianas das eficiências que as empresas de gestão privada apresentam maior eficiência que as de gestão pública.

Tabela 5 – Desdobramento do teste de hipótese para H_1 .

HIPÓTESE	As empresas de gestão privada apresentam maior eficiência do que as de gestão pública		Resultado
H_0	A mediana da eficiência é igual entre as empresas de gestão privada e gestão pública.		Refutada
H_1	A mediana da eficiência é diferente entre as empresas de gestão privada e pública.		Confirmada
	Mediana		U
Teste de Mann-Whitney	Privada n = 19	Pública n = 9	325
	0,3685	0,0496	0,016

Esses resultados podem ser justificados, uma vez que as empresas privadas apresentam uma estrutura de gerenciamento dos processos e organizacional melhor definidos. Esses resultados corroboram com as pesquisas de Hjalmarsson e Veiderpass (1992) na Suécia e Bagdadioglu *et al.* (1996) na Turquia, os quais concluem que as empresas privadas apresentam *scores* de eficiência maiores que as públicas.

5. Conclusões

A literatura acerca da mensuração de eficiência das empresas de transmissão critica o modelo utilizado atualmente pela ANEEL, tanto quanto as variáveis empregadas, tanto quanto ao modelo escolhido. Desse modo, o estudo desenvolvido possui caráter precursor ao empregar a variável capacidade de transmissão dentro do cenário brasileiro.

Além de inovar quanto as variáveis utilizadas, a presente inquirição propõe o uso de um modelo mais elaborado da Análise Envoltória de Dados, o modelo de redes. Dois estágios são considerados e o OPEX é compartilhado entre eles. Tal configuração possibilita responder as empresas se o OPEX está sendo empregado adequadamente na expansão da capacidade de transmissão, bem como nas atividades de manutenção e funcionamento da rede.

É importante denotar que o presente estudo investigou as empresas do setor de transmissão apenas por meio do modelo relacional de [Kao 2009]. Sugere-se também como continuação do presente estudo, a verificação de eficiência por meio de uma modelagem que considere retornos variáveis de escala, podendo investigar se questões como o porte da empresa estão relacionadas com o seu desempenho.

Além das questões dos retornos, o modelo considerou 0,1 como limite inferior para alfa e 0,3 como o seu respectivo limite superior. Apesar desses valores serem baseados em opiniões de profissionais do setor, realizar uma análise de cenário poderia verificar o impacto da predisposição das empresas em aumentar a sua capacidade em caso de mercados favoráveis e conseqüentemente o impacto desses pesos no modelo.

Por fim, propõe-se que modelos de rede sejam utilizados para investigar as particularidades do setor de geração, verificando assim, se existe relação das eficiências desse setor com os demais, tendo em vista a interligação e dependência dos três elos. Em outra perspectiva, a utilização do OPEX em geração de energia utilizando energias renováveis, as quais apresentam maior potencial de expansão, como, por exemplo, a energia eólica e solar.

REFERENCIAS



- Andrade, G. N.; Sant'ana, A. P. (2011) Análise da evolução da eficiência de empresas de transmissão de energia elétrica. *Relatórios de pesquisa em Engenharia de Produção*, 11(2).
- Andrade, G. N.; Alves, L. A.; Silva, C. E. R. F.; Soares De Mello, J. C. C. B. (2014) Evaluating Electricity Distributors Efficiency using self-organizing map and Data Envelopment Analysis. *IEEE Latin America Transactions*, 12 (8).
- Bagdadioglu, N.; Price, C. M. W.; Weyman-Jones, T. G (1996). Efficiency and ownership in electricity distribution: A non-parametric model of the Turkish experience. *Energy Economics*, 18.
- Chao, C.; Yu, M.; Wu, H. (2015). An Application of the Dynamic Network DEA Model: The Case of Banks in Taiwan. *Emerging Markets Finance and Trade*, 51, pp. S133–S151.
- Chen, C; Du, J.; Sherman, H. D.; Zhu, J. (2010). DEA model with shared resources and efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research*, 207, pp. 339-349.
- Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), p. 429-444.
- Charnes, A.; Cooper, W.W.; Divine, R.; Ruefli, T.W.; Thomas, D. (1989) Comparisons of DEA and existing ratio and regression systems for effecting efficiency evaluation of regulated electric cooperatives in Texas, *Research in governmental and Nonprofit Accounting*, 5, pp. 187-210.
- Cheberle, L. A. D.; Lopes, P. H. S.; Pessanha, J. F. M. (2006) Aspectos da regulação da continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica e revisão tarifária – uma proposta de integração. In *Anais do Congresso Internacional de Distribución Eléctrica*, Buenos Aires, Argentina.
- Emrouznejad, A.; Yang, G. I. (2017). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016, *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Logan, J. (1983) The relative efficiency of Illinois electric utilities, *Resources and Energy*, 5.
- Hjalmarsson, L.; Veiderpass, A. (1992). Efficiency and Ownership in Swedish Electricity Retail Distribution. *The Journal of Productivity Analysis*, 3(7).
- Kapelko, M.; Oude Lansink, A.; Stefanou, S. E. (2014). Assessing dynamic inefficiency of the Spanish construction sector pre- and post-financial crisis. *European Journal of Operational Research*, 237(1), pp. 349–357.
- Kao, C. (2014). Network data envelopment analysis: A review. *European Journal of Operational Research*, 239(1), pp. 1–16.
- Kou, M.; Chen, K.; Wang, S.; Shao, Y. (2016). Measuring efficiencies of multi-period and multi-division systems associated with DEA: An application to OECD countries' national innovation systems. *Expert Systems with Applications*, 46, pp. 494–510.
- Liu, J. S.; Lu, L. Y. Y.; Lu, W.; Lin, B. J. Y. (2013). Data envelopment analysis 1978-2010: A citation-based literature survey. *Omega*, 41, pp. 3-15.
- Liu, J. S.; Lu, L. Y. Y.; Lu, W. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega*, 58, pp.33-45.
- Martins, V. Q.; Diehl, C. A.; Rempel, C.; Tagliari, M. (2014) Avaliação da eficiência econômica das distribuidoras brasileiras de energia elétrica por meio da análise envoltória de dados (DEA). In *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Custos*, Natal/RN.
- Moreno, P.; Andrade, G. N.; Angulo-Meza, L.; Soares de Mello, J. C. C. B. (2015). Evaluation of Brazilian Electricity Distributors Using a Network DEA Model With Shared Inputs. *IEEE Latin America Transactions*, v.; 13, n. 7.
- Nemoto, J.; Goto, M. (2003) Measurement of Dynamic Efficiency in Production: An Application of Data Envelopment Analysis to Japanese Electric Utilities. *Journal of Productivity Analysis*, 19, pp. 191-210.
- Pedrosa, P. (2005) Desafios da Regulação do Setor Elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos. Textos para discussão I - ANEEL. Brasília, Brasil.
- Pessanha, J. F. M.; Souza, R. C.; Laurencel, L. C. (2004). Usando DEA na avaliação da eficiência operacional das distribuidoras do setor elétrico brasileiro. In *Anais do Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación*



de Operaciones y Sistemas, 12., Havana, Cuba.

Pessanha, J. F. M.; Souza, R. C.; Laurencel, L. C. (2005). Utilizando a análise envoltória de dados na regulação da continuidade do fornecimento de energia elétrica. In *Anais do XXXVII SBPO*, Gramado/RS.

Pessanha, J. F. M.; Souza, R. C.; Laurencel, L. C. (2006). Um modelo de análise envoltória de dados para o estabelecimento de metas de continuidade do fornecimento de energia elétrica. *Pesquisa Operacional*, 27(1), pp.51-83.

Pessanha, J. F. M.; Figueira De Mello, M. A. R.; Souza, M. B. R. C. (2010). Avaliação dos custos operacionais eficientes das empresas de transmissão do setor elétrico brasileiro: uma proposta de adaptação do modelo dea adotado pela aneel. *Pesquisa Operacional*, 30(3), pp. 521-545.

Pollit, M. G. (1994). Productivity efficiency in electricity transmission and distribution systems. University of Oxford Applied Economics Discussion Paper, *Paper Series*, n.161.

Ramos-Real, F., Tovar, B., Iooty, M; Fagundes de Almeida, E.; Queiroz, H., (2009). The evolution and main determinants of productivity in Brazilian electricity distribution 1998-2005: an empirical analysis, *Energy Economics*, 298-305.

Resende, M. (2002) Relative efficiency measurement and prospects for yardstick competition in Brazilian electricity distribution. *Energy Policy*, 30, pp. 637-647.

Rezende, S. M.; Pessanha, J. F. M.; Amaral, R. M. (2014). Cross evaluation of electric distribution utilities. *Produção*, 24, pp. 820-832.

Sampaio, L. M. B.; Ramos, F. S.; Sampaio, Y. (2005). Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras. *Econ. Aplic.*, 9(3), pp. 465-480.

Sarkis, J.; Cordeiro, J. J. (2009) Investigating technical and ecological efficiencies in the electricity generation industry: are there win-win opportunities? *Journal of the Operational Research Society*, v. 60, p. 1160-1172.

Serrato, E. (2006) Eficiência de custo das transmissoras de energia elétrica do brasil- uma abordagem paramétrica por fronteira estocástica. In *Anais do V Congresso Brasileiro de Regulação*, Recife/PE.

Sollero, M. K. V.; Lins, M. P. E. (2004). Avaliação de eficiência de distribuidoras de energia elétrica através da análise envoltória de dados com restrições aos pesos. In *Anais do SBPO*, 36., São João del Rei.

Sueyoshi, T.; Goto, M. (2001) Slack-adjusted DEA for time series analysis: Performance measurement of Japanese electric power generation industry in 1984-1993. *European Journal of Operational Research*, 133, p. 232-259.

Tone, K.; Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *Omega*, 42(1), p. 124–131.

Tone, K.; Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), pp. 243–252.

Tschaffon, P. B.; MEZA, L. A. (2011). Um estudo de outputs indesejáveis em dea com aplicação no setor de distribuição de energia elétrica. In *Anais do XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Ubatuba/SP.

Vidal, D. N. A.; Távora Junior, J. L. (2003). Avaliação da eficiência técnica das empresas de distribuição de energia elétrica brasileiras utilizando a metodologia DEA. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 35.