



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS ESTADOS BRASILEIROS COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

### ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF BRAZILIAN STATES BY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Andressa Amaral de Azevedo<sup>1\*</sup>, Carolina Maria de Oliveira Leite<sup>2</sup>, & Lucas Almeida de Andrade<sup>3</sup>

<sup>1 2 3 4</sup> Departamento de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
<sup>1\*</sup> [andressa@pucminas.br](mailto:andressa@pucminas.br) <sup>2</sup> [carolinaleiteel@outlook.com](mailto:carolinaleiteel@outlook.com) <sup>3</sup> [lucasaabr@gmail.com](mailto:lucasaabr@gmail.com)

#### ARTIGO INFO.

Recebido em: 22/04/2019

Aprovado em: 17/05/2019

Disponibilizado em: 05/07/2019

#### PALAVRAS-CHAVE:

Eficiência energética, DEA, Análise Envoltória de Dados, Estados Brasileiros.

#### KEYWORDS:

Energy efficiency, DEA, Data Envelopment Analysis, Brazilian States.

\*Autor Correspondente: Azevedo, A.A. de

#### RESUMO

A energia elétrica é um recurso indispensável na vida do ser humano. Seu fornecimento é considerado um serviço essencial, e, antes de chegar ao consumidor final, a energia passa por um processo de geração, transmissão e distribuição. Este trabalho faz um mapeamento da eficiência energética dos estados brasileiros, utilizando a Análise Envoltória de Dados. O objetivo foi apurar o desempenho dos estados entre a geração de energia e o suprimento de sua demanda. Para tal, foi selecionada como *input* a capacidade instalada, consumo de energia e extensão territorial de cada estado. Como *output* foi utilizada a geração de energia. Ambos os dados se referem ao ano de 2017 e foram extraídos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A aplicação dos dados foi feita através do software SIAD, que trouxe como resultado apenas três estados eficientes dentre os vinte e sete analisados e um estado se destacando pela alta ineficiência. Este artigo propõe definir características

que de fato influenciam a os resultados de eficiência e ineficiência dos estados.

#### ABSTRACT

Electricity is an indispensable resource in the life of the human being. Their supply is considered an essential service, and before reaching the final consumer, energy goes through a process of generation, transmission and distribution. This paper maps the energy efficiency of the Brazilian states, using Data Envelopment Analysis. The objective was to determine the performance of the states between the generation of energy and the supply of their demand. For that, the installed capacity, energy consumption and territorial extent of each state were selected as inputs. As output was used the generation of energy. Both data refer to the year 2017 and were extracted from the Energy Research Company (EPE). The application of the data was done through the SIAD software, which resulted in only three efficient states out of the twenty seven analyzed and one state highlighting the high inefficiency. This article proposes to define characteristics that in fact influence the efficiency and inefficiency results of the states.



## 1. INTRODUÇÃO

A Segunda Revolução Industrial foi pilar para avanços tecnológicos e científicos ao final do Século XIX e início do Século XX. Caracterizada “pelo desenvolvimento da eletricidade, do motor de combustão interna, de produtos químicos com base científica, da fundição do aço e o início das tecnologias de comunicação”, conforme afirmou Castells (1999). Como resultado, empregos foram gerados, principalmente na indústria, a infraestrutura urbana cresceu, além da melhoria na eficiência dos processos de manufatura e no estilo de vida das pessoas (Castells, 2014). Em função de tantas transformações tecnológicas, os hábitos do ser humano sofreram alterações e novas formas de organização. (Costa, 2002)

Desta forma, a produção de energia no mundo precisou ser intensificada em todas as suas frentes. Segundo os dados do Ministério de Minas e Energia (MME), publicados através da Empresa de Pesquisa Energética, no Anuário Estatístico de Energia Elétrica em 2017, no ano de 1980 a produção mundial de energia elétrica era de 8.027 TWh (EPE, 2018). Já 34 anos depois, em 2014, a produção chegava próxima de três vezes mais, com 22.671 TWh. Só o Brasil produziu 2,6% de toda a energia elétrica do mundo, se consolidando como o oitavo maior produtor. (EPE, 2018)

Dados do governo mostram que 42,9% dos recursos de sua produção são provenientes de fontes renováveis, tais como: recursos hídricos, energia eólica e solar, biomassa e etanol, contrapondo-se ao cenário mundial, onde as fontes são predominantemente carvão mineral, petróleo e gás (EPE, 2018). Quando se trata de energia hidroelétrica, o Brasil é o terceiro país, responsável por 373,4 TWh dentre os 589,4 TWh totais produzidos no país (EPE, 2018). Já como consumidor, está entre os sete países do mundo que mais consomem energia elétrica, sendo um dos poucos com capacidade de exportar eletricidade (EPE, 2018).

Apesar da vasta produção de energia elétrica atual do país, para chegar neste patamar, o Brasil precisou superar inúmeras dificuldades, onde a principal é a distribuição de energia em sua extensão territorial. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil ocupa 48% de todo o continente sul-americano, com 8.515.767 km<sup>2</sup>, sendo o quinto maior país do mundo (IBGE, 2018).

Em contrapartida à sua capacidade de produção, o Brasil possui umas das tarifas de energia mais caras do mundo. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 1KWh



custa em média R\$ 0,531 (ANEEL, 2018). Além disso, o preço torna-se maior quando as termelétricas ficam incumbidas de gerar energia (Carvalho, Rohr & Bauer, 2016).

Neste âmbito, entende-se que cabe ao poder público garantir o suprimento das demandas regionais por energia, bem como a qualidade entregue a toda população. E não somente naqueles locais que subsidiam diversas atividades econômicas.

Para este trabalho, propõe-se utilizar a metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA), para que seja possível a definição de *benchmarks* por região, e correlacionar indicadores econômicos com a capacidade de gerar energia. Para que isso ocorra, é necessário a análise de alguns pontos. Quais estados possuem maior demanda de energia? Quanto maior a demanda, maior a eficiência deste estado?

Este trabalho apresenta o objetivo geral de analisar a eficiência energética dos estados brasileiros. Especificamente, pretende-se mapear a eficiência energética dos estados e avaliar a eficiência por região do Brasil (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste). Também se pretende estudar a correlação entre a demanda energética e a eficiência de cada estado.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONTEXTO HISTÓRICO CIENTÍFICO

O desenvolvimento de estudos e teorias voltados para a eletricidade atravessaram muitos anos de progressos, provocando em diversas etapas da história mudanças sociais e econômicas (Castells, 2014). No Quadro 1 pode-se observar a evolução dos estudos sobre energia.

**Quadro 1** – Resumo histórico da ciência na eletricidade

Tales De Mileto (625 a.C.)	Constatou uma espécie de resina vegetal fóssil petrificada, chamada âmbar, a friccionou com pelo de lã e então observou seu poder de atrair objetos leves, como penas, palhas, dentre outras. (Spinelli, 1992).
William Gilbert (1.600)	Associou o comportamento da pedra de âmbar a um ímã, e então criou o primeiro instrumento magnético: o <i>versorium</i> , uma fina vareta que se movia sobre uma base quando se colocava perto dela um objeto eletrificado pelo atrito. No entanto, não era conhecida a aplicação deste conhecimento. (Cordeiro, et al., 2010).



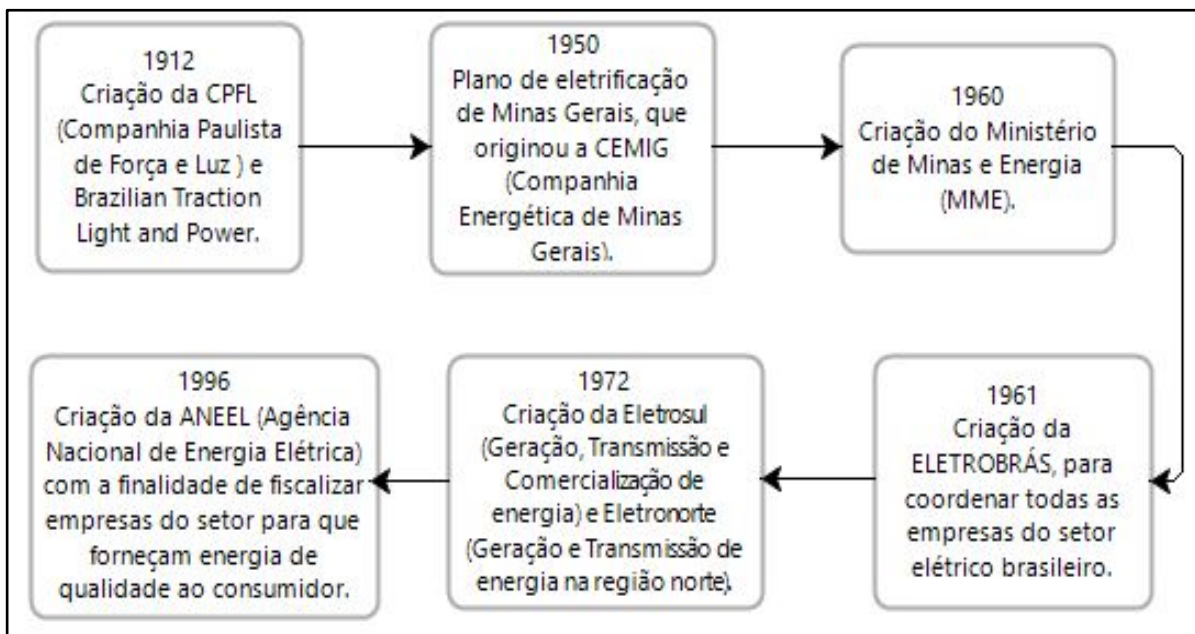
Michel Faraday <b>(1.831)</b>	Conseguiu associar todas as experiências anteriores e concluiu que magnetismo e eletricidade era parte do mesmo fenômeno. É do estudo do magnetismo que viriam muitas maneiras de produzir eletricidade (Cordeiro, et al., 2010).
Thomas Alves Edson <b>(1.831)</b>	Criou a primeira lâmpada elétrica, com um filamento de carbono (Silva, 2014).

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Descobertas e invenções, como dínamo e motores, permitiram que a energia mecânica e termomecânica fossem convertidas em energia elétrica, e assim deu-se início ao processo de geração de energia elétrica em massa pelo mundo (Cordeiro, et al., 2010).

Na história do Brasil, a evolução pode ser representada em cinco fases políticas, demonstrando o processo de criação das empresas do setor. Este contexto histórico foi representado por Jannuzi (2007) no formato de uma linha do tempo. A Figura 1 ilustra um breve resumo sobre o surgimento das empresas de energia.

**Figura 1** – Breve histórico do Sistema Brasileiro de Energia Elétrica



**Fonte:** Adaptado de Januzzi (2007)



## 2.2 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Todos os procedimentos desde a geração de energia até alcançar o consumidor são realizados mediante regulamentação específica. Confiabilidade, disponibilidade, qualidade e segurança são pontos assegurados por normas pelo governo (BRASIL, 2014).

Ao redor do mundo, a busca por energias mais limpas impulsionou diversas pesquisas voltadas para o aproveitamento de recursos naturais e menos poluentes. No Quadro 2, apresenta-se um resumo das principais fontes de energia da matriz brasileira, com base nas definições da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

**Quadro 2** – Principais tipos de energia elétricas geradas no Brasil

<b>Hidráulica</b>	O fluxo das águas é o combustível da geração de eletricidade a partir da fonte hidráulica, convertendo energia mecânica em elétrica, no momento em que a força da água movimentada as turbinas das usinas hidrelétricas.
<b>Termelétrica</b>	Na geração termelétrica, a eletricidade é produzida a partir da queima de combustíveis, como o carvão e gás natural. Neste caso, o vapor produzido na queima do combustível é utilizado para movimentar as turbinas ligadas a geradores.
<b>Eólica</b>	Energia eólica é o aproveitamento das massas de ar em movimento, convertendo energia cinética de translação em energia cinética de rotação, por meio dos aerogeradores.
<b>Solar</b>	A energia solar é obtida pela radiação emitida do sol e captada através de painéis solares fotovoltaicos conectados a inversores responsáveis pela conversão da radiação em eletricidade.
<b>Nuclear</b>	A energia nuclear possui funcionamento semelhante ao de uma usina termelétrica. A partir da fissão do urânio em um reator nuclear, então o calor gerado pelo processo aciona uma turbina, acoplada a um gerador de corrente elétrica.

**Fonte:** CCEE, 2018.

Para que a energia elétrica chegue a seu consumidor final, ela passa por um processo, chamado “GTD”, que significa Geração, Transmissão e Distribuição (Leão, 2009).

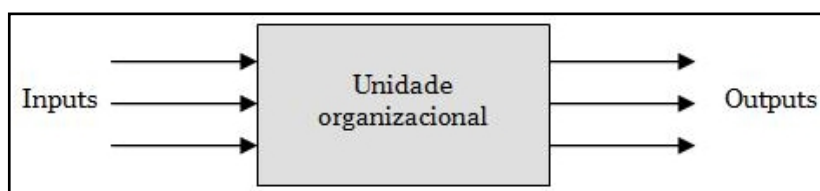


Geração (G) é a transformação da energia primária (água, sol, vento, etc.) em energia elétrica. Transmissão (T) é o transporte da energia gerada até os centros consumidores. Distribuição (D) é a parte em que a energia é recebida por “centrais” responsáveis por fazer chegar eletricidade para os consumidores (residência, comércio e indústria). No Brasil, a rede de transmissão é muito vasta dada a distância entre as unidades geradoras e distribuidoras (LEÃO, 2009).

### 2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma metodologia de análise de eficiência, caracterizada pela utilização de unidades produtivas, chamadas de DMUs (*Decision Making Units*). A análise da eficiência se dá ao comparar a relação entre *inputs* e *outputs* de cada DMU, onde a relevância dos *inputs* e *outputs* é obtida através de um Problema de Programação Linear (PPL), de modo a maximizar a eficiência da DMU (Carlos, 2017). Entende-se por *inputs*, um conjunto de recursos empregados em um processo, e *outputs*, como o conjunto de resultados. Ou seja, os insumos e produtos de um determinado sistema. A Figura 2 esquematiza de forma simples o fluxo com *inputs* / insumos; unidade organizacional / unidade produtiva; *outputs* / produtos. Em síntese, a especificação de um modelo DEA envolve três fases: a seleção das DMUs a serem comparadas, a escolha das variáveis insumos e produtos e a aplicação do modelo (Golany & Roll, 1989).

**Figura 2** – Esquematização de fluxo inputs e outputs



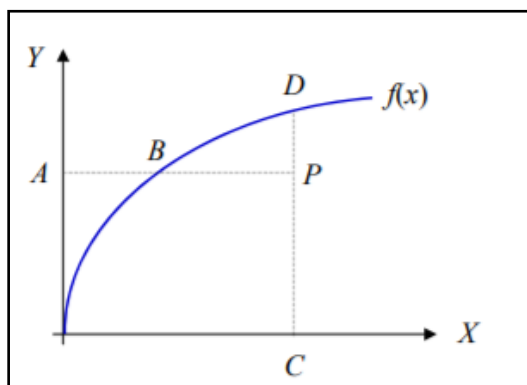
**Fonte:** CUNHA, 2014.

Para falar de DEA é necessário entender o conceito de eficiência, produtividade e eficácia. Ser eficiente é fazer mais com menos. E produtividade é a maneira em que os recursos para produzir determinado resultado estão sendo empregadas (Shimizu, Wainai & Avedillo-Cruz, 1997). Já eficácia está relacionada apenas ao que é produzido sem levar em conta os recursos usados para a produção (Mello, et al., 2005).

Existem duas formas básicas de uma unidade não eficiente tornar-se eficiente. A primeira é reduzindo os recursos, mantendo constantes os produtos (orientação a *inputs*); a segunda é fazendo o inverso: aumentar os recursos para aumento dos produtos (orientação a *outputs*).



**Figura 3** – Alcance da fronteira de eficiência



**Fonte:** Mello, et al., 2005.

O primeiro modelo clássico DEA, proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), o Retorno Constante de Escala (CRS), projeta uma maximização linear entre os *inputs* e *outputs*. Ou seja, trabalha com uma relação de proporcionalidade entre as variáveis. Já Banker, Charnes & Cooper (1984) propuseram outro modelo, o BCC (Retorno Variável de Escala), onde os *inputs* e *outputs* não são tratados com relação de proporcionalidade, passando para um problema de programação fracionária. Os inputs e outputs passam a assumir pesos diferentes para que a análise seja realizada.

O tema DEA atrelado ao setor elétrico já foi tratado por alguns autores, destacando, inclusive, o uso da metodologia pelas próprias agências do setor, como é o caso de Jasmab e Pollit (2000). Já Pessanha, Mello e Souza (2010) estudaram o DEA embasado no *yardstick competition*, que, conforme a Metodologia de Cálculo de Custos Operacionais (ANEEL, 2006, p. 9) é definida como uma “regulação por comparação” (*yardstick regulation*) ou “competição por padrões” (*yardstick competition*).

Além da energia elétrica sob o ponto de vista do DEA, na literatura também é possível encontrar trabalhos que qualificam a metodologia dentro da engenharia de produção, como é o caso do artigo “Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) em estudos de Engenharia de Produção”. Destaca-se a importância do conceito e prática de eficiência à frente de um mercado que cada vez mais necessita de agilidade para intensificação dos resultados com auxílio dos recursos disponíveis em qualquer situação.

### 3. METODOLOGIA

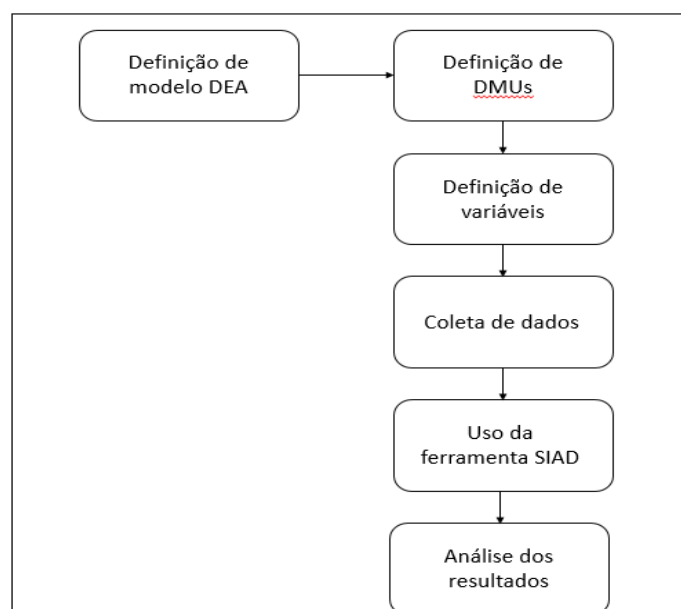
Nesta etapa foram apontados os estágios da pesquisa acerca da listagem e coleta de dados, o método utilizado e a indicação da escolha teórica realizada para abordar o objeto de estudo.



Por fim, apresenta-se a obtenção dos resultados, bem como a análise dos mesmos, a fim de que se exponham as respostas para o problema de pesquisa.

Considerando os critérios de classificação de pesquisa proposto por Pereira, et al., (2018), este trabalho caracterizou-se como um estudo de caso. Segundo estes autores, é importante que inicialmente verifique se há de fato um fenômeno relevante que apresente interesse para algum grupo ou para a sociedade para então classificá-lo como estudo de caso. Para este trabalho, optou-se pelo estudo dos estados brasileiros e o Distrito Federal, a fim de estabelecer níveis de eficiência que direcionem para revisões das políticas energéticas dos estados (Figura 4).

**Figura 4** – Fluxograma da metodologia



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O presente estudo utilizou a metodologia DEA como ferramenta de medida de desempenho das regiões brasileiras quanto ao processo GTD. Através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2018, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e apoio de dados secundários do IBGE e ANEEL, foram selecionadas as variáveis de trabalho. Primeiro foram definidas as DMUs, seguidas das variáveis (*inputs* e *outputs*). Como *inputs* foram selecionados os seguintes dados: extensão territorial; capacidade instalada e consumo total por estado. Já para *output*, foi utilizada a energia total gerada por cada estado. Em sequência à coleta de dados, foi utilizado o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD). Por fim, foram feitas ponderações quanto aos *inputs* e *outputs*, conforme mostra o quadro 3 abaixo.





**Quadro3** – Definição dos *Inputs* e *Outputs* das Unidades Federativas do Brasil

	<b>Dimensão</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>	<b>Ponderações (%)</b>
<b>Outputs</b>	Geração de Energia	1. Indicador correspondente à quantidade de energia elétrica gerada em cada estado.	Indicador correspondente por total de energia elétrica gerada por intermédio de todas as tecnologias utilizadas em cada estado.	35
	Capacidade Instalada	2. Indicador que demonstra qual a capacidade máxima de produção de cada estado.	Indicador que mede a capacidade máxima do estado em termos de produção, o limite de produção.	25
<b>Inputs</b>	Consumo de Energia	3. Indicador que demonstra o consumo de energia de cada estado.	Somatório de todos os consumidores do estado, incluindo residencial, comercial e industrial.	25
	Extensão Territorial	4. Indicador que define o território de cada estado	Indicador que mede em Km <sup>2</sup> o tamanho de cada estado Brasileiro, cujo objetivo é mensurar a dificuldade de abastecimento da população perante a extensão.	15

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os dados (*inputs* e *outputs*) dos 26 estados e o Distrito Federal. Estes dados foram extraídos do EPE e IBGE e são referentes ao ano de 2017. A Capacidade Instalada uma métrica interessante para se correlacionar com o que ele realmente gera. O Consumo de Energia é um excelente indicador para análise de como os estados suprem suas demandas, pois mostra a demanda total por energia. A Extensão Territorial mostra que quanto maior a área de um estado, maiores serão as dificuldades para que todos os municípios do estado recebam energia, porque o tamanho da Unidade de Federação (UF) impacta diretamente no tamanho das linhas de transmissão, e conseqüentemente, onde elas irão alcançar.

Como *output*, foi selecionada a Geração de Energia Elétrica de cada estado. A energia que cada UF produz, é proveniente de seus recursos naturais disponíveis, que são transformados em eletricidade através de uma fonte geradora de energia. Além de seus recursos econômicos, importantes para viabilizar o projeto e funcionamento dessas fontes geradoras.



**Tabela 1 – Inputs e Outputs das Unidades Federativas do Brasil**

Estado	Inputs			Output
	Capacidade Instalada (Mw) [2017]	Consumo (Gwh) [2017]	Território - Km <sup>2</sup> [2017]	Geração (Gwh) [2017]
Rondônia	8.358	3.067	237.765.293	34.238
Acre	247	1.074	164.123.737	189
Rio Grande do Norte	4.161	5.625	52.811.107	15.922
Espírito Santo	1.581	9.785	46.086.907	7.990
Rio de Janeiro	8.916	38.882	43.781.588	57.965
Paraná	17.678	30.726	199.307.939	96.817
Santa Catarina	5.570	24.344	95.737.954	21.150
Mato Grosso do Sul	5.980	5.569	357.145.531	24.129
Distrito Federal	47	6.210	5.779.997	67
Maranhão	3.388	6.905	331.936.949	14.400
Mato Grosso	5.035	8.675	903.202.446	19.952
Minas Gerais	15.155	54.240	586.520.732	44.922
Ceará	3.715	11.424	148.887.633	15.547
São Paulo	19.560	129.607	248.219.627	72.576
Tocantins	2.453	2.232	277.720.412	7.484
Rio Grande do Sul	8.609	29.927	281.737.888	30.230
Sergipe	1.707	3.668	21.918.443	2.979
Goiás	8.164	15.053	340.106.492	21.375
Pernambuco	3.500	14.087	98.076.021	11.767
Amazonas	2.270	5.852	1.559.146.876	7.070
Piauí	1.834	3.481	251.611.929	5.552
Amapá	898	1.073	142.828.521	2.660
Alagoas	4.044	4.960	27.848.140	6.138
Pará	13.817	20.293	1.247.955.238	43.002
Paraíba	775	5.251	56.468.435	1.895
Bahia	9.381	24.331	564.732.450	21.827
Roraima	268	918	224.300.805	120

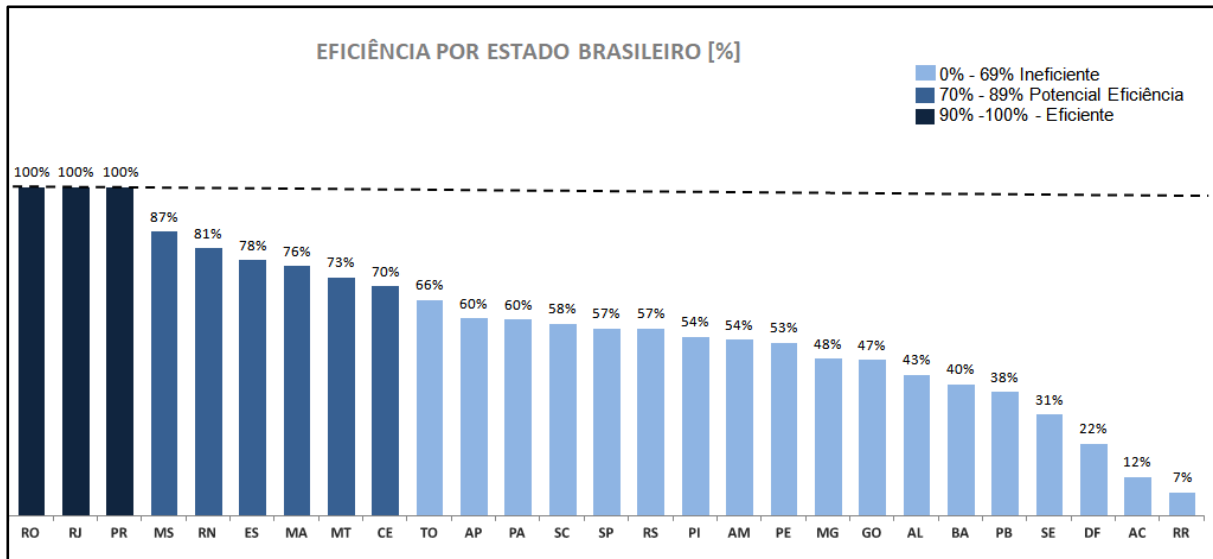
**Fonte:** EPE (2017) e IBGE (2018).

#### 4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS ESTADOS

A Figura 5 apresenta os escores de eficiência calculados utilizando-se um modelo DEA clássico, orientado a *output*, sob o pressuposto de retornos variáveis de escala – modelo BBC.



**Figura 5 – Eficiência das DMUs**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Através dos dados propostos, três UFs foram eficientes: Rondônia; Rio de Janeiro e Paraná. A seguir foram descritas algumas especificidades das DMUs eficientes, para melhor compreensão dos resultados.

O estado do Paraná possui uma população de 11.348.937 pessoas, distribuídas em 199.307.939 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). Além de ser uma das maiores regiões industriais do Brasil, possui um dos melhores Índices de Desenvolvimento Humano e uma localização estratégica, com fácil acesso às regiões Sul, Centro Oeste e Sudeste, bem como países importantes do Mercosul (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2019a). Seu destaque sobre matriz energética vai para a Usina de Itaipu, que é a maior geradora de energia limpa e renovável do planeta. Com 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada, fornece 15% da energia consumida no Brasil e 90% no Paraguai (ITAIPU BINACIONAL, 2017).

O Rio de Janeiro possui 17,2 milhões de habitantes, distribuídos em 43.781.588 km<sup>2</sup>, e é o 3º estado mais populoso do País (IBGE, 2018). No que tange sua matriz energética, o Rio de Janeiro, diferentemente do restante do país, não possui sua fonte principal instalada nas hidrelétricas e sim nas termelétricas, o que equivale a aproximadamente 85% de sua capacidade instalada (ANEEL, 2017). Em destaque, as usinas nucleares Angra I e II, com capacidade de 640 MW e 1.350 MW, respectivamente (BRASIL, 2017).

Rondônia é um estado com extensão territorial de 237.765.293 km<sup>2</sup>, porém com um número baixo em população, 1.757.589 habitantes (IBGE, 2018), devido à sua vasta área verde ainda



intocada. Sua proximidade com países latinos de baixo desenvolvimento industrial oferece boas oportunidades de mercado. Possui um PIB de R\$ 35,4 bilhões, atividades industriais de baixo destaque, com o setor de serviços sendo o pilar de sua economia. No entanto, possui projetos recentes de investimentos em energia elétrica: hidroelétricas de Jirau (terceira maior geradora do país) e Santo Antônio (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2019b).

## 4.2 EFICIÊNCIAS POR REGIÃO

A Tabela 2 apresenta os escores de eficiência das cinco regiões do Brasil, os quais foram calculados utilizando-se um modelo DEA clássico, orientado a *output*.

**Tabela 2** – Eficiência Padrão das Regiões Brasileiras

DMU	Eficiência
NORTE	1
SUL	1
CENTRO OESTE	0,88
SUDESTE	0,87
NORDESTE	0,66

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Segundo a pesquisa Síntese de Indicadores Sociais do ano de 2017 (SIS 2017), aplicada pelo IBGE, a região Nordeste é a região mais pobre do país, seguida da região Norte (IBGE, 2018). Diante disso, é de se esperar que os estados destas regiões não pudessem alcançar a eficiência máxima na análise. No entanto, os resultados trouxeram um estado eficiente do Norte (Rondônia), bem como nesta análise, colocou a região com 100% de eficiência. Vale destacar que essa é a maior região do país em termos de extensão territorial e possui sete estados em sua composição geográfica.

Comparando a Região Norte com a Região Sul quanto ao número de estados e extensão territorial, observa-se que Região Norte obteve um ótimo resultado, visto suas características geográficas que demandam mais esforços para geração e distribuição de energia. Sendo que o Sul possui apenas três estados, uma extensão territorial bem menor. Em contrapartida, a Região Nordeste alcançou o menor nível de eficiência (apenas 66%), o que mostra o *gap* da região no que tange o aproveitamento de seus recursos naturais. Em especial o sol e vento, que poderiam alavancar a produção de energia da região bem como seus ganhos financeiros e sociais nestes tipos de projetos.

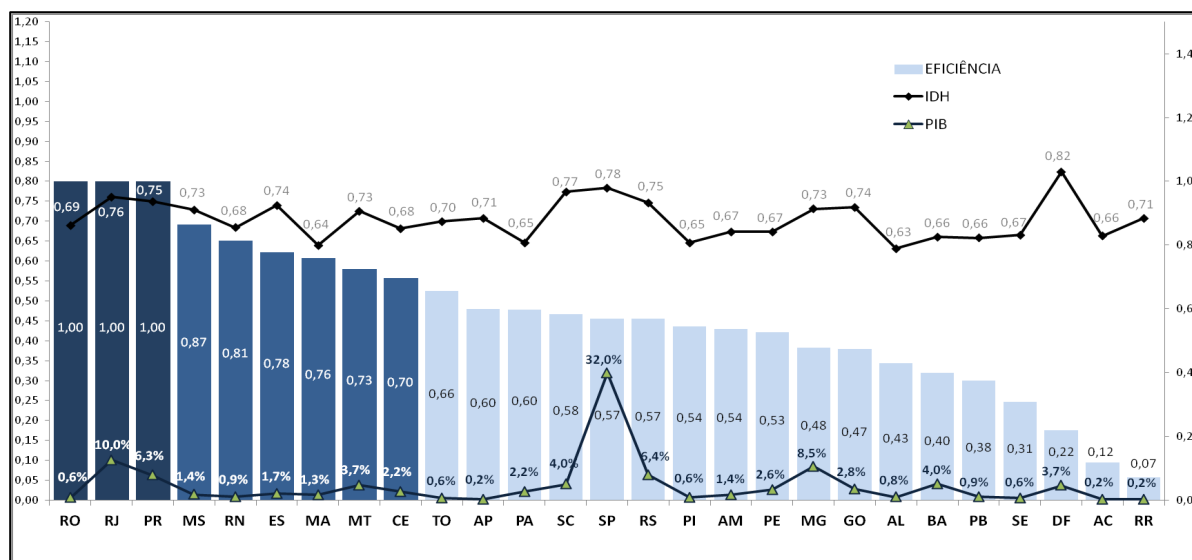


Apenas 11% dos estados brasileiros alcançaram o máximo de eficiência, o que mostra o quanto o Brasil precisa avançar em seus investimentos relacionados ao sistema GTD. Pois, de nada adianta ter um potencial de geração, se a energia não tem como chegar ao seu consumidor final.

Vale destacar que estados com grande extensão territorial alcançaram melhores resultados de eficiência do que aqueles estados menores como foram os casos do Amazonas e Minas Gerais. Entre estes estados existem diferenças que vão do PIB à matriz energética diversificada (Minas Gerais tem um melhor posicionamento), e ainda assim o Amazonas possui uma eficiência maior. Através da Figura 6 é possível observar que a relação de demanda por energia e eficiência não está proporcionalmente correlacionada. Isso significa que, um estado com maior população e mais consumo pode não ter geração suficiente para suprir sua demanda. Portanto, ainda que um estado seja populoso, com atividades econômicas intensas e tenha um PIB elevado, ele depende de um abastecimento externo (de outros estados) para suprir sua cadeia de abastecimento.

Sob o ponto de vista da qualidade de vida, medido através do IDH, também foi verificado que os estados com melhor IDH não alcançaram níveis esperados de eficiência. Embora a geração e distribuição de energia de um estado não impactem na medição do IDH, de acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), entende-se que disponibilidade de energia elétrica diz muito sobre o desenvolvimento de um local, uma vez que aqueles sem este recurso disponível são associados a uma economia mais pobre (FGV, 2019) (Figura 6).

**Figura 6 – Relação IDH e PIB dos Estados Brasileiros**



Fonte: Elaborado pelos autores.

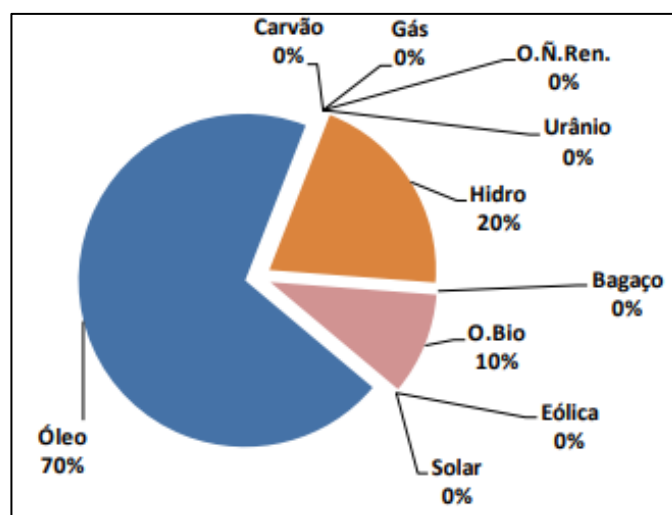


### 4.3 ANÁLISE DOS *BENCHMARKS* E CONDIÇÕES DE MELHORIA

Partindo da fronteira de ineficiência, Roraima chama atenção por não alcançar 10% de eficiência. Tal ineficiência pode ser explicada por maior parte do fornecimento de energia vir da Venezuela, cujo contrato de fornecimento encerrará em 2021 (EPE, 2019). O estado utiliza também a geração termelétrica para suprir sua demanda. Assim, além de promover uma baixa geração de energia, o estado opera com uma das mais poluentes fontes de energia, e mais cara também. O estado também é o único do país não conectado ao Sistema Interligado Nacional. Em outras palavras, às linhas de transmissão. Esta característica contribui para sua dependência com a Venezuela.

Toda a fragilidade do estado é apresentada em um estudo sobre a matriz energética dos estados, feito pelo MME. Abaixo uma demonstração de como os recursos estão distribuídos na geração de energia do estado por fonte.

**Figura 7** – Geração de energia elétrica, por fonte (Roraima)



**Fonte:** BRASIL, 2016.

Para o estado, o ideal é que se aborde diferentes frentes de produção de energia limpa, para que fortaleça sua matriz e reduza a dependência existente da Venezuela. Portanto, o estado possui duas opções: aumentar seus insumos relacionados ao investimento em energia. Isto é, melhorar a qualidade da energia entregue com o já existe de produção hoje, focando, principalmente em sua linha de transmissão. Ou aumentar sua capacidade de gerar energia (*output*) para que sua eficiência energética aumente ao passo que sua dependência externa diminua.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia DEA é uma ferramenta que faz uso de programação linear para definição de fronteiras de eficiência, sendo muito flexível quanto aos inputs e outputs selecionados. Este estudo teve como objeto a análise de dados dos estados brasileiros, referentes ao ano de 2017. Apresentando dentro do conjunto de *inputs* (Capacidade Instalada, Consumo de Energia e Extensão Territorial) e *output* (Geração de Energia), que poucos estados Brasileiros conseguem ser eficientes nestas condições. É importante enfatizar que o modelo DEA usado neste trabalho, bem como os resultados obtidos, refere-se exatamente aos *inputs* e *output* utilizados. A modificação de qualquer variável (inclusão ou exclusão) irá alterar os resultados apresentados.

Apenas três estados Brasileiros alcançaram 100% de eficiência, especificamente Amazonas, Paraná e Rio de Janeiro. Este resultado mostra o *gap* relacionado à geração de energia dos estados, frente à vasta capacidade de geração do país. Quanto à unidade mais ineficiente, Roraima, o estudo mostrou que o estado necessita de uma transformação imediata em seu sistema GTD, visto que sua capacidade está bem inferior do que os demais estados com menor eficiência.

Com base nas questões levantadas, este estudo sugere um novo olhar para como os estados Brasileiros têm se comportado quanto a suas demandas e capacidade instalada para geração de energia. Além do fato de que PIB e IDH não são indicadores diretamente relacionados ao que um estado produz de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2006). *Metodologia para cálculo dos custos operacionais de empresas de transmissão visando a primeira revisão tarifária periódica*. Anexo da Nota Técnica nº 068/2006-SRT/ANEEL. Acesso 26 nov. 2018. Disponível [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/007/documento/anexo\\_iv-custos\\_operacionais.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/007/documento/anexo_iv-custos_operacionais.pdf)

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). *Site*. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <http://www.aneel.gov.br/>.

Almeida, M.R., Mariano, E.B., & Rebelatto, D.A.N. (2006). *Análise por envoltória de dados: evolução e possibilidades de aplicação*. In: Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais, 9, São Paulo. Anais... São Paulo: FGV-EAESP.



Nicolaci-da-Costa, A.M. (2002). Revoluções tecnológicas e transformações subjetivas. *Psicologia: teoria e pesquisa*, 18(2), 193-202.

Arruda, J.J.de A. (1984). *Revolução industrial e capitalismo*. São Paulo: Brasiliense.

Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.

Bauer, P.C., Carvalho, G.A., & Rohr, M. (2016). *Estudo de redução de custos de energia elétrica aplicado em supermercados utilizando medidas e conceitos de eficiência energética*. 87f. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. (2016). *Matrizes elétricas estaduais: ano de referência: 2015*. Revisão da primeira edição. Acesso 29 mar. 2019. Disponível <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/03+-+Matrizes+El%C3%A9tricas+Estaduais+2016+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/ddfaad8c-a436-4aa8-b619-f95dd2cf689c?version=1.0>

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. (2018). *Fontes*. Acesso 26 nov. 2018. Disponível [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/fontes?\\_adf.ctrl-state=8n8ocy8o3\\_1&\\_afLoop=204887205666593#!%40%40%3F\\_afLoop%3D204887205666593%26\\_adf.ctrl-state%3D8n8ocy8o3\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_adf.ctrl-state=8n8ocy8o3_1&_afLoop=204887205666593#!%40%40%3F_afLoop%3D204887205666593%26_adf.ctrl-state%3D8n8ocy8o3_5)

Carlos, I.C. (2017). *Avaliação de distribuidoras de energia elétrica usando DEA e técnicas de homogeneização*. 45f. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/3326/1/TCC-Isabella%28envio%29%20%281%29.pdf>

Castells, M. (1999). *A sociedade em rede: a era da informação: economia, sociedade e cultura*. 8.ed. São Paulo: Paz e Terra.

Castells, M. (2014). *Technopoles of the world: the making of 21st century industrial complexes*. Abingdon-on-Thames: Routledge. 290p.

Cordeiro, E., et al., (2010). Eletromagnetismo e cotidiano: o magnetismo. *Revista Virtú – ICH*. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <http://www.ufjf.br/virtu/files/2010/04/artigo-2a9.pdf>





Citação (APA): Azevedo, A.A.de, Leite, C.M.de O., & Andrade, L.A. de (2019). Análise da eficiência energética dos estados brasileiros com a utilização do método análise envoltória de dados. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 196-213.

Cunha, R.B.da. (2014). *Estudo comparativo da eficiência de territórios de venda de dispositivos médicos através de modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA)*. 151f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Empresa de Pesquisa Energética. (2018). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: ano base 2017*. Rio de Janeiro: EPE. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>

Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Roraima: planejamento energético*. Acesso 29 mar. 2019. Disponível <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roraima-planejamento-energetico#PARTE03>

Empresa de Pesquisa Energética. (2018). *Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017*. Rio de Janeiro: EPE. Acesso 10 abr. 2019. Disponível <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>

Faraday, M. (2011). Pesquisas experimentais em eletricidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 152-204.

Fonseca, J.J.S. (2002). *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC. Apostila.

Fundação Getúlio Vargas. (2019). *Como calcular o IDH?* Acesso 29 mar. 2019. Disponível [ead2.fgv.br/ls5/centro\\_rec/docs/como\\_calcular\\_idh.doc](http://ead2.fgv.br/ls5/centro_rec/docs/como_calcular_idh.doc)

Gerhardt, T.E., Silveira, D.T. (Org.). (2009). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 120p. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>

Gil, A.C. (2007). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas.

Gil, A.C. (1991). *Pesquisa em economia*. São Paulo: Atlas.

Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Território: dados geográficos*. Brasil em Síntese. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio/dados-geograficos.html>

Itaipu Binacional. (2017). *Geração*. Acesso 29 mar. 2019. Disponível <https://www.itaipu.gov.br/energia/geraçao>



Citação (APA): Azevedo, A.A.de, Leite, C.M.de O., & Andrade, L.A. de (2019). Análise da eficiência energética dos estados brasileiros com a utilização do método análise envoltória de dados. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 196-213.

Jannuzi, A.C. (2007). Regulação da qualidade de energia elétrica sob o foco do consumidor. 216f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Leão, R. (2009). *GTD – Geração, Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica. Ceará: Universidade Federal do Ceará*. Acesso 26 nov. 2018. Disponível <http://www.clubeda-eletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Livro%20GTD.pdf>

Lins, M.E., et al., (2007). O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12, 985-998.

Mayer, V.F.,M., Holanda, S.R., & Andrade, C.L.T. (2009). *Percepção de preço e valor no mercado de distribuição de energia elétrica: proposta de um modelo conceitual*. Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 33, São Paulo. Anais... São Paulo: ANPAD.

Mello, J.C., et al., (2005). *Curso de análise de envoltória de dados*. Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 37, Gramado. Anais... Gramado: SOBRAPO. p. 2520-2547.

Minayo, M.C.de S., et al., (2007). O desafio da pesquisa social. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*, 28, 9-29.

Minayo, M.C.de S. (2012). Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17, 621-626.

Minayo, M.C.de S. (2010). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. São Paulo: Hucitec. 407 p. (Saúde em debate, 46.)

Morais, R.F. (2014). *A natureza da eletricidade: uma breve história*. 74f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Casa Nova, S.P.de, & Santos, A.dos. (2008). Aplicação da análise por envoltória de dados utilizando variáveis contábeis. *Revista de Contabilidade e Organizações*, 2(3), 132-154.

Oliveira Kinga, N.C.de, Limab, E.P.de, & Costa, S.E.G.da. (2014). Produtividade sistêmica: conceitos e aplicações. *Production*, 24(1), 160-176.

Pereira, A.S.P., et al., (2018). Metodologia de pesquisa científica. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria. Acesso 29 mar. 2019. Disponível [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



Citação (APA): Azevedo, A.A.de, Leite, C.M.de O., & Andrade, L.A. de (2019). Análise da eficiência energética dos estados brasileiros com a utilização do método análise envoltória de dados. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 196-213.

Pessanha, J.F.M., Mello, M.A., & Souza, M.B. (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), 521-545.

Pessanha, J.F.M., Souza, R.C., & Laurencel, L.da C. (2007). Um modelo de análise envoltória de dados para o estabelecimento de metas de continuidade do fornecimento de energia elétrica. *Pesquisa Operacional*, 27(1), 51-83.

Polit, D.F., Beck, C.T., & Hungler, B.P. (2004). *Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização*. Tradução de Ana Thorell. 5.ed. Porto Alegre: Artmed.

Portal da Indústria. CNI. *Brazil 4 Business*. Paraná. (2019a). Acesso 29 mar. 2019. Disponível <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/brazil-4-business/estados/pt-pr/#tab-estado>

Portal da Indústria. *Perfil da Indústria. Rondônia*. (2019b). Acesso 29 mar. 2019. Disponível <http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/ro>

Ramos, E.M.da S. (Ed.). (2017). *Matriz energética do Estado do Rio de Janeiro: 2017-2031*. Rio de Janeiro: COPPE UFRJ: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Acesso 29 mar. 2019. Disponível [http://www.rj.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=607a17f3-7811-4b65-b8e0-8b6c922376bf&groupId=132914](http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=607a17f3-7811-4b65-b8e0-8b6c922376bf&groupId=132914)

Secchim, A, Freitas, R., & Gonçalves, W. (2018). Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) em estudos de Engenharia de Produção. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, 4(1), 116-128.

Shimizu, M., Wainai, K., & Avedillo-Cruz, E. (1997). *Value added productivity measurement and its practical implications with linkage between productivity and profitability*. Tokio: Japan Productivity Center for Socio-Economic Development.

Silva, V.M.Q. (2014). *Automatização do projeto de linhas elétricas: Criação de modelo matemático para minimização de custos*. 96f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

Spinelli, M. (1992). A instauração da filosofia e da ciência por Tales de Mileto. *Revista Portuguesa de Filosofia*, 48(1), 99-124. Acesso 26 nov. 2018. Disponível [https://www.jstor.org/stable/40336030?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/40336030?seq=1#page_scan_tab_contents)

Triviños, A.N.S. (1987). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas.

Vergara, S. Metodologia de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1997.

Vichi, F., et al., (2009). Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. *Química Nova*, 32(3), 757-767.

