



## IDENTIFICAÇÃO – RESUMO DO TRABALHO

Projeto: Análise Envoltória de Dados (DEA) como ferramenta de avaliação da eficiência da produção de energia e emissão de gases

Bolsista / RA: Vinicius Barcelos Maia / 206706

Orientador: Professor Doutor Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

Local de execução: Faculdade de Ciências Aplicadas

Vigência: julho de 2019 até setembro de 2020.

Palavras Chaves: CO<sub>2</sub>; Eficiência Energética; Sustentabilidade; Gestão de Energia;

## RESUMO

Para se obter economia de energia por meio da melhoria da eficiência energética é necessário realizar um diagnóstico que mostre o real desempenho energético e, assim, determinar os investimentos requeridos. Não obstante, a viabilidade econômica destes investimentos deve ser avaliada e mensurada, sofrendo uma inferência quantitativa. O objetivo primário deste trabalho é aplicar a análise envoltória de dados para avaliar a geração de gases durante o processo de geração de energia elétrica, para diferentes usinas, todas abastecidas com combustível fóssil. Os objetivos secundários são: verificar os diferentes modelos de avaliação da eficiência energética, identificar os modelos DEA para análise de eficiência, comparar a eficiência energética em diferentes tipos de geração.

### 1. INTRODUÇÃO

A produção de energia é o principal fator responsável pelas mudanças ocorridas a partir da primeira revolução industrial. A época, a composição era quase que completamente composta por derivados do petróleo, como o carvão mineral, principal insumo energético da indústria britânica, precursora do processo de industrialização que se espalhou ao redor do mundo. Desse período em diante, a humanidade tornou-se refém de uma produção de energia crescente, em ritmo cada vez mais acelerado. (PREILIPPER et al, 2016)

Para se obter economia de energia por meio da melhoria da eficiência energética, é importante trabalhar em um diagnóstico que mostre o real desempenho energético e, assim, determinar quais são os investimentos com maior probabilidade de sucesso ambiental e econômico. Não obstante, a viabilidade econômica destes investimentos deve ser avaliada e mensurada, sofrendo uma inferência quantitativa. Mecanismos mais eficientes de produção de energia vão permitir um coeficiente produtividade maior em relação a produção dos gases nocivos ao meio ambiente produzidos no processo, o que torna a pesquisa relevante, uma vez que serão apontados os métodos com melhor “custo benefício” ambiental e energético.

**Pergunta de pesquisa:** É possível afirmar que as usinas que geram as maiores quantidades de CO<sub>2</sub> são as maiores geradoras de energia?

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para se obter economia de energia por meio da melhoria da eficiência energética, é necessário fazer um diagnóstico que mostre o real desempenho energético e, assim, determinar os investimentos requeridos. Não obstante, a viabilidade econômica

destes investimentos deve ser avaliada e mensurada, sofrendo uma inferência quantitativa. Mecanismos mais eficientes de produção de energia vão permitir um coeficiente produtividade maior em relação a produção dos gases nocivos ao meio ambiente produzidos no processo, o que torna a pesquisa relevante, uma vez que serão apontados os métodos com melhor “custo benefício” ambiental e energético.

## **2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

A eficiência energética pode ser entendida como uma técnica e econômica que tem como objetivo proporcionar o melhor consumo de energia, água e outros insumos, visando a redução dos custos operacionais associados. Há também necessidade de considerar outros elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento mais efetivo dos recursos, maximizando a eficiência energética. (ABESCE. 2013)

## **2.2 EMISSÕES DE GASES**

Historicamente, a crescente industrialização mundial acarretou na elevação da demanda por combustíveis fósseis, os quais ao serem queimados, como por exemplo, o carvão, petróleo e gás, liberam dióxido de carbono, colaborando assim, para a elevação da concentração de GEE na atmosfera. Têm-se como consenso entre os cientistas do IPCC (2001), que esse aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é, parcialmente, responsável pelo aumento na temperatura global.

## **2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

O *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma técnica de programação matemática que busca analisar o desempenho, em termos de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão (DMUs – *Decision Making Units*), a partir de um conjunto de inputs e outputs. As DMUs localizadas na fronteira de eficiência servirão de benchmark para as demais. O DEA foi desenvolvido inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com base nos princípios derivados do modelo de Farrell (1957).

## **3. Materiais e Métodos**

O ferramental teórico contido neste trabalho foi montado com base em pesquisa bibliográfica. O banco de dados utilizado, por sua vez, foi obtido em uma base disponibilizada pelo *Thomson Reuters*. Dentro dessa base foram buscadas as seguintes informações: empresas do setor energético, em qualquer lugar do mundo e empresas cuja as informações sobre a produção de CO<sub>2</sub>, a receita gerada, a energia produzida e a energia utilizada são conhecidas. A intersecção de todas essas informações resultou no banco de dados utilizado neste trabalho, composta inicialmente por 40 companhias. A análise que se seguiu é de natureza aplicada, de caráter exploratório e descritivo.

### **3.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Estabelecer a base de dados é a pedra fundamental deste trabalho. Através da plataforma Thomson Reuters, onde informações sobre parte significativa das empresas com capital aberto do mundo todo estão disponibilizadas, foi possível encontrar um conjunto de empresas aderentes à proposta deste artigo. Todas as empresas utilizadas são usinas de energia, com matriz energética baseadas em combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e gás. O primeiro critério de seleção é: as empresas devem oferecer uma relação de quanto gás carbônico sua operação emite em um período de um ano. O segundo critério de seleção é a disponibilização de quanta energia, em watts, a companhia é capaz de gerar no

mesmo período. Os dois últimos critérios são a disponibilização de receita gerada e energia utilizada, no mesmo período.

#### 4. DESENVOLVIMENTO

A correlação entre todos os parâmetros da análise é mostrada na figura 5. Nela é possível observar as relações entre cada um dos parâmetros individualmente, onde é possível encontrar as relações utilizadas para a aplicação do modelo DEA CCR Output

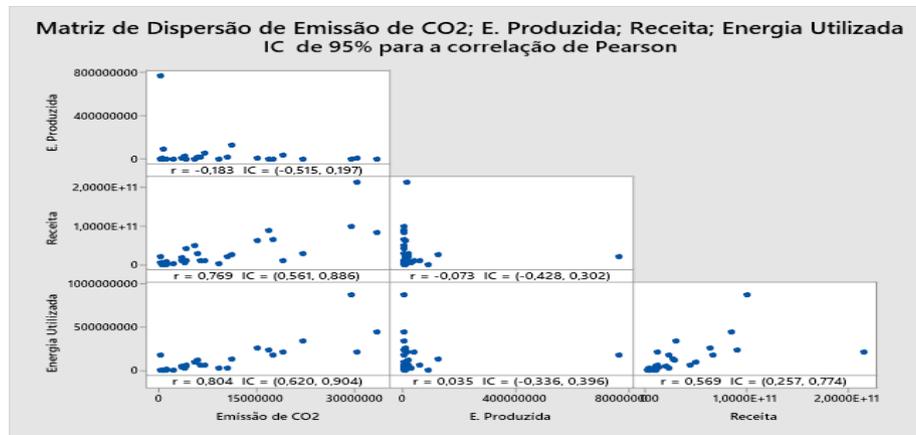


Figura 1: Correlação entre todos os parâmetros

Tabela 1: Resultado da análise envoltória de dados organizado

Análise Envoltória de Dados					
	DMU	TRBC Industry Name	Country of Headquarters	Score	Benchmark (Lambda)
1	Banpu PCL	Coal	Thailand	1,000	Banpu PCL(1,000000)
4	Ecopetrol SA	Integrated Oil & Gas	Colombia	1,000	Ecopetrol SA(1,000000)
15	Itochu Enx Co Ltd	Oil & Gas Refining and Marketing	Japan	1,000	Itochu Enx Co Ltd(1,000000)
17	Keyera Corp	Oil & Gas Transportation Services	Canada	0,713	Banpu PCL(0,140144); Ecopetrol SA(0,074188)
29	YPF SA	Integrated Oil & Gas	Argentina	0,515	Banpu PCL(2,117716)
28	Vermilion Energy Inc	Integrated Oil & Gas	Canada	0,479	Banpu PCL(0,078771); Ecopetrol SA(0,019792)
11	Hess Corp	Oil & Gas Refining and Marketing	United States of America	0,374	Banpu PCL(0,358017); Ecopetrol SA(0,066802)
9	Glencore PLC	Coal	Switzerland	0,341	Ecopetrol SA(2,749179); Itochu Enx Co Ltd(1,554660)
21	Polskie Gornictwo Naftowe i Gazownictwo SA	Integrated Oil & Gas	Poland	0,334	Banpu PCL(0,653762); Ecopetrol SA(0,087739)
24	Saras SpA	Oil & Gas Refining and Marketing	Italy	0,312	Banpu PCL(0,615557); Ecopetrol SA(0,077642)
7	Frontera Energy Corp	Oil & Gas Exploration and Production	Canada	0,310	Banpu PCL(0,020875); Ecopetrol SA(0,017205)
27	Thai Oil PCL	Oil & Gas Refining and Marketing	Thailand	0,305	Banpu PCL(0,218761); Ecopetrol SA(0,144952)
18	Oil and Natural Gas Corporation Ltd	Oil & Gas Exploration and Production	India	0,265	Banpu PCL(1,157462); Ecopetrol SA(0,657022)
19	Oil Search Ltd	Oil & Gas Exploration and Production	Papua New Guinea	0,264	Banpu PCL(0,047871); Ecopetrol SA(0,013294)
20	OMV AG	Oil & Gas Refining and Marketing	Austria	0,256	Banpu PCL(1,027344); Ecopetrol SA(0,180730)
10	Hellenic Petroleum SA	Oil & Gas Refining and Marketing	Greece	0,253	Banpu PCL(0,378776); Ecopetrol SA(0,068088)
25	Suncor Energy Inc	Oil & Gas Refining and Marketing	Canada	0,229	Banpu PCL(2,446723)
22	Reliance Industries Ltd	Oil & Gas Refining and Marketing	India	0,222	Banpu PCL(3,173294); Ecopetrol SA(0,462125)
14	Impex Corp	Oil & Gas Exploration and Production	Japan	0,214	Ecopetrol SA(0,088268); Itochu Enx Co Ltd(0,007464)
8	Galp Energia SGPS SA	Oil & Gas Refining and Marketing	Portugal	0,212	Banpu PCL(0,187525); Ecopetrol SA(0,162947)
5	Enagas SA	Oil & Gas Transportation Services	Spain	0,197	Banpu PCL(0,026213); Ecopetrol SA(0,008443)
13	Indian Oil Corporation Ltd	Oil & Gas Refining and Marketing	India	0,196	Banpu PCL(1,070136); Ecopetrol SA(0,674605)
6	Equinor ASA	Integrated Oil & Gas	Norway	0,171	Banpu PCL(1,290683); Ecopetrol SA(0,332916)
12	Hindustan Petroleum Corp Ltd	Oil & Gas Refining and Marketing	India	0,169	Banpu PCL(0,080459); Ecopetrol SA(0,326631)
2	Bharat Petroleum Corporation Ltd	Oil & Gas Refining and Marketing	India	0,151	Banpu PCL(0,229285); Ecopetrol SA(0,316665)
3	Compania Espanola de Petroleos SAU	Integrated Oil & Gas	Spain	0,148	Banpu PCL(0,496137); Ecopetrol SA(0,131167)
23	Rubis SCA	Oil & Gas Refining and Marketing	France	0,130	Ecopetrol SA(0,007067); Itochu Enx Co Ltd(0,071725)
16	JXTG Holdings Inc	Oil & Gas Refining and Marketing	Japan	0,102	Banpu PCL(3,191128); Ecopetrol SA(0,065599)
26	Surzutmeftegaz PAO	Integrated Oil & Gas	Russia	0,002	Banpu PCL(0,014967); Ecopetrol SA(0,000474)

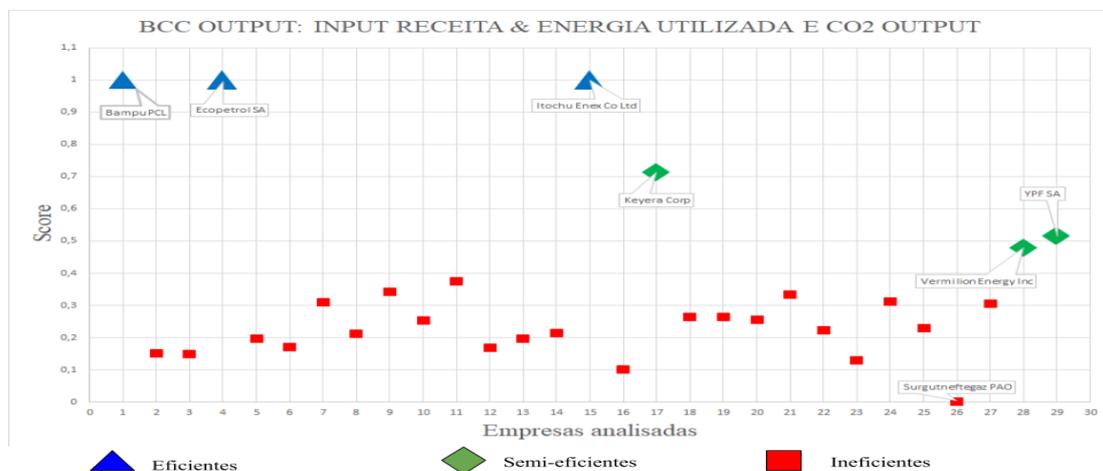
Fonte: Análise Envoltória de Dados CCR Output

#### 5. Discussão

A análise envoltória de dados tem como resultado o Score, que é responsável por mensurar a eficiência entre as empresas analisadas. O resultado da tabela 6, foi traduzido no gráfico da imagem da figura 7 abaixo. Existem 3 empresas eficientes, com score igual a 1. Existem outras 3 empresas, chamadas neste trabalho de empresas “semi-eficientes”. Por último, temos todas as outras empresas, denominadas como empresas ineficientes.

É importante ressaltar que a análise envoltória de dados deste trabalho identificou as empresas mais eficientes em emitir CO2, o que é visto negativamente, uma vez que

gases desse tipo são altamente poluentes. Desse modo, as empresas BampuPCL, Ecopetrol SA e a Itochu Enx Co LTD são empresas eficientes em produzir CO2. Portanto, são empresas altamente poluentes em relação as demais analisadas. O emprego do modelo DEA à avaliação da produção de CO2 em função dos parâmetros Receita Total, Energia Utilizada é Gerada evidenciou alguns fatos inicialmente ocultos. O primeiro dele é o de que entre as empresas mais eficientes temos destacam-se as matrizes de carvão mineral, como a Tailandesa Bampu PCL e as empresas que utilizam gás e petróleo, como a Colombiana Ecopetrol SA.



**Figura 2:** Análise da eficiência de cada uma das DMU's

As três únicas empresas eficientes encontradas durante a realização deste trabalho é o fato de que todas elas têm capital aberto em seus respectivos países. A tailandesa Bampu PCL, a colombiana Ecopetrol AS e Japonesa Itochu Enx Co possuem ações listadas. Cabe ainda ressaltar que a Itochu Enx Co é uma companhia japonesa. No Japão existem dezenas de marcos ambientais e regulatórios, que restringem severamente a produção de detritos como o CO2. Ainda assim, a Itochu destacou-se a nível mundial, quando comparada à várias outras unidades produtivas. Isso levante um alerta a respeito da efetividade das legislações nacionais e internacionais, uma vez que mesmo países reconhecidamente severos, como é o caso do Japão, existe ao menos uma empresa altamente poluente.

É importante ainda destacar a Bampu PCL, que foi apontada como Benchmark para 82% das empresas analisadas. Em outras palavras, a Bampu é a unidade produtiva modelo deste trabalho para a maior parte das empresas, de modo que suas decisões, como a tendência de não verticalizar excessivamente o seu negócio, trabalhando apenas com aspectos ligados diretamente a geração de energia, além de prestar conta para a sociedade acionária, de forma clara e objetiva, são características que devem ser seguidas por cerca de um quinto das demais companhias analisadas neste trabalho.



**Figura 3:** Eficiência média por especialização

No gráfico da figura 7 é possível verificar a distribuição de eficiência de produção de CO<sub>2</sub> discriminada por segmento de indústria. As empresas que utilizam carvão mineral são as maiores poluidoras, com um score médio muito maior que o do segundo grupo, 25%, empresas que utilizam petróleo e gás.

Por último, as empresas menos poluidoras, isto é, com menor eficiência em produção de CO<sub>2</sub>, são as que possuem algum tipo de verticalização em seu sistema produtivo. Isto é, além de consumir a matriz energética, eventualmente refinam o material. Ao fazer isso, parte dos detritos ficam retidos e/ou são transformados em outros produtos dentro da própria empresa, o que minimiza o impacto ambiental que, apesar de ser grande, é menor que o das empresas que utilizam carvão mineral.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após todas as análises levantadas por este artigo, é factível assumir que a correlação entre a emissão de CO<sub>2</sub> e a utilização de energia e a receita total são relevantes. Entretanto, é o fator mais relevante deste estudo é que a correlação entre a emissão de CO<sub>2</sub> e a geração de energia não é relevante, o que contraria o senso comum.

Em conclusão, não é razoável associar empresas responsáveis por uma grande quantidade de poluição, sobretudo em termos de CO<sub>2</sub>, com empresas com quantias relevantes de produção de energia. Ou seja, produzir mais energia não necessariamente implica em produzir mais CO<sub>2</sub>, o que pode ser entendido como uma boa notícia para o meio ambiente.

Um próximo estudo deve avaliar a eficiência de outros setores da indústria energética, visando construir um cenário onde comparações entre indústrias poluidoras e renováveis possam ser colocadas lado a lado, de modo a identificar as melhores alternativas para suprir a crescente demanda energética da sociedade, sem inviabilizar o meio ambiente para as próximas gerações.

## **7. REFERÊNCIAS**

A Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes; **Measuring the efficiency of decision making units**; 1978

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. São Paulo.** O que é eficiência energética. Disponível em: . Acesso em: 02 de julho. 2020.

FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, v. 120, n. 3, 1957

Fearnside, Philippe M.; **Hidrelétricas como "Fabricas de Metano":O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa.** 2015

J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson; IPCC, 2001: CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; 2001

PREILIPPER, Udimara Erica Mattei; DALFOVO, Wylmor Constantino Tives ; ZAPPAROL, Irene DomenesI; MAROUBO, Lucas Alves; MAINARDES, Eriton Luiz. Aproveitamento do resíduo madeireiro na produção de energia termoeleétrica no município de Marcelândia-MT.