# PROPOSTA DE REDISTRIBUIÇÃO DAS RECEITAS FEDERAIS ARRECADADAS PELA UNIÃO PARA OS ESTADOS BRASILEIROS: UM MODELO GSZ-DEA NÃO RADIAL

**Juliana de Castro Reis**
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
juliana.dcreis@gmail.com

**Renata dos Santos Constant**
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
Centro Universitário Serra dos Órgãos
Rua Gonçalo de Casto 85, Alto, 25960-090, Teresópolis, RJ
renata.constant@hotmail.com

**Bruno Guimarães Torres**
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
brunotorres@id.uff.br

**Luciana Gonçalves Machado**
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
lucianagoncalves@id.uff.br

**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 estudo propõe uma metodologia que permite: i) avaliar a distribuição de recursos do Governo Federal aos estados brasileiros; ii) avaliar como estes recursos são utilizados; e iii) propor uma nova distribuição dos recursos. Para isso, usamos uma metodologia dividida em duas etapas. A primeira consiste no uso de um modelo não-radial DEA BCC com orientação a *inputs* para avaliação da eficiência, e a segunda propõe uma redistribuição de recursos usando um modelo DEA com ganhos de soma zero. Verificamos que existem discrepâncias entre os valores destinados a cada estado e sua transformação efetiva em ações de desenvolvimento para sua população, de modo que apenas 11 estados foram considerados eficientes inicialmente. No entanto, após a nova distribuição, todos os estados alcançaram 100% de eficiência. Assim, foi possível identificar que o governo não está distribuindo o orçamento de forma eficiente.

**Palavras-chave:** Distribuição de recursos públicos. Análise Envoltória de Dados. Ganhos de Soma Zero.

https://proceedings.science/p/85381?lang=pt-br

## 1. Introdução

Segundo Dillinger e Webb (1999), a constituição de 1988 transformou o Brasil em uma federação descentralizada. No entanto, mesmo com esse processo de descentralização, a arrecadação de impostos é bastante concentrada em nível federal. De acordo com Turgeon e Cavalcante (2014), o governo federal é responsável por arrecadar pouco mais de 70% dos impostos, o que o torna responsável por distribuir uma parcela significativa dos recursos públicos para os entes da federação.

O processo de rateio da receita proveniente da arrecadação de impostos é considerado um mecanismo importante para diminuir as desigualdades regionais, em busca de estimular o equilíbrio socioeconômico entre estados e municípios. Nesse contexto, o Fundo de Participação dos Estados e do Distrito Federal (FPE), um dos fundos de repasse das verbas federais para os Estados, se destaca por ser a principal fonte de recursos para alguns estados do Norte e do Nordeste, com arrecadações tributárias menores (ROCHA, 2010).

A descentralização dos recursos é importante pois permite que estados mais pobres sejam beneficiados com mais recursos. No entanto, há distorções nos critérios utilizados para o rateio, já que cidades pequenas e muito pobres recebem uma parcela *per capita* mais alta do que outras maiores e igualmente pobres. Além disso, alguns estados acabam transferindo muito mais recursos para o governo federal do que recebem de volta.

A discussão sobre a forma como ocorre a partilha dos recursos da União tem se tornando cada vez mais relevante e, por isso, será o tema desse estudo. O artigo tem como primeiro objetivo apresentar uma metodologia que permita avaliar a distribuição dos recursos do Governo Federal para os estados brasileiros ao longo de um determinado ano, visando analisar se esse valor está sendo utilizado de maneira eficiente em relação aos benefícios gerados a população. Após a avaliação, é proposta uma nova distribuição dos recursos do Governo Federal, de forma a possibilitar que todos os estados alcancem a máxima eficiência.

Dessa forma, é utilizado o método não paramétrico de Análise Envoltória de Dados (DEA – Data Envelopment Analysis) para analisar a relação entre os repasses de verba recebidos pelos estados e os indicadores que mensuram a qualidade de vida da população residente, como acesso ao abastecimento de água, acesso ao esgotamento sanitário, acesso à coleta de lixo doméstico, oferta de serviços básicos de saúde, nível de alfabetização e escolaridade e população economicamente ativa.

A aplicação de Análise Envoltória de Dados na avaliação da capacidade de unidades governamentais gerarem benefícios para a sua população pode ser encontrada, por exemplo, em Giménez, Ayvar-Campos e Navarro-Chávez (2017).Os autores utilizaram DEA para avaliar os 32 estados do México no que diz respeito ao uso eficiente de recursos econômicos e sociais para gerar bem-estar social. Em outro estudo, Da Cruz e Marques (2014) utilizaram um modelo DEA clássico e um modelo de super-eficiência para explicar como o ambiente pode afetar o desempenho de governos locais, identificando variáveis não discricionárias ou exógenas que estão associadas ao melhor ou pior desempenho econômico.

Morais e Camanho (2011) construiram um indicador para medir a capacidade das autoridades locais das cidades da Europa em promover a qualidade de vida da população, dada a condição econômica do país, identificando as cidades com melhores práticas urbanas (*benchmarks*). Nessa mesma linha, Despotis (2005) utilizou um modelo DEA com retornos variáveis de escala para avaliar o desempenho dos países da Ásia e do Pacífico, na conversão de sua renda em desenvolvimento humano. O autor comparou o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), publicado anualmente no Relatório de Desenvolvimento Humano, com um novo índice de desenvolvimento calculado.

Além desses trabalhos, a aplicação de DEA em análise de eficiência de gastos públicos também pode ser encontrada em Smith e Mayston (1987), que propõem o uso de DEA para avaliar a eficiência das agências nacionais do Reino Unido. Em Pettas e Giannikos (2014) são avaliados projetos que compõem um programa de desenvolvimento rural na Grécia, que utilizam dinheiro público. Já em Dufrechou (2016) é analisada a eficiência dos gastos públicos com educação nos países da América Latina entre os anos de 1970 e 2010.

No que tange a artigos relacionados ao Brasil, tem-se Faria, Januzzi e Silva (2008) que utilizam DEA para analisar a eficiência dos gastos públicos nos municípios fluminenses no período de 1999-2000, onde foram considerados indicadores sociais e gastos municipais nas áreas de educação e

cultura, saúde e saneamento. Feitosa, Schull e Hein (2014) relacionam os gastos no setor de segurança pública nos estados brasileiros com os índices de criminalidade dos mesmos, com o objetivo de medir a eficiência na alocação de recursos públicos nesse segmento. Em relação a análise de transferência de recursos entre os entes da federação, tem-se Fonseca *et al.* (2015) que investiga como o estado de Minas Gerais faz o repasse dos recursos financeiros do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), analisando os critérios utilizados e os valores recebidos pelos municípios mineiros.

Deve-se ressaltar que existe um montante fixo a ser distribuído, ou seja, mesmo após a redistribuição dos recursos, o somatório do valor recebido por todos os estados deve ser o mesmo. Esta questão é contemplada neste estudo através da utilização do modelo DEA com ganhos de soma zero, que supõe dependência entre as DMUs. Além disso, foi utilizado um modelo não-radial, para lidar com um *input* não discricionário que não pode ter o seu valor minimizado, a população de cada estado.

O presente artigo está estruturado da seguinte maneira: na seção 2 são apresentados os conceitos de Análise Envoltória de Dados, passando pelos modelos clássicos, pelomodelo de ganhos de soma zero e pelo modelo não-radial. A seção 3 descreve as características do estudo desenvolvido e a formulação do modelo proposto. Os resultados obitidos são apresentados na seção 4, que aborda a análise da eficiência dos estados e a nova redristribuição de recursos proposta. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais do estudo.

## 2. Análise Envoltória de Dados

### 2.1. Modelos tradicionais

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método não-paramétrico criado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que calcula a eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs) através da construção de uma fronteira de produção. Essa fronteira é construída considerando os dados de *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas) de cada DMU. As eficiências são calculadas através de um Problema de Programação Linear (PPL), onde as DMUs eficientes possuem valor igual a 1 e encontram-se na fronteira de eficiência, enquanto as DMUs ineficientes possuem valores entre 0 e 1, e se encontram abaixo dela.

Existem dois modelos clássicos para se realizar o cálculo das eficiências com DEA, o modelo CCR e o modelo BCC. O modelo CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) considera constante os retornos de escala, ou seja, é utilizado quando há uma garantia de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O modelo BCC desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) considera retornos variáveis de escala e é utilizado quando há perdas ou ganhos entre os *inputs* e *outputs*. Esse artigo utiliza o modelo BCC para o cálculo das eficiências.

Para as DMUs ineficientes é possível obter um alvo para que se tornem eficientes, através do aumento dos seus *outputs* ou da diminuição dos seus *inputs*. Os alvos podem ser encontrados através da resolução do PPL 1, onde o $h_o$ é o inverso da eficiência da DMU analisada, $x$ o valor dos *inputs*, $y$ o valor dos *outputs* e cada $\lambda_k$ representa a parcela de contribuição da $DMU_k$ na construção do alvo. O modelo do PPL 1 é BCC e orientado a *inputs*.

$$
\begin{aligned}
&Min\ h_o \\
&Sujeito\ a \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k x_{ik} \leq h_o x_{k0}, \forall\ i \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k y_{jk} \geq y_{j0}, \forall j \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1 \\
&\lambda_k \geq 0, \forall\ k
\end{aligned}
\tag{1}
$$

### 2.2. Modelo DEA com ganhos de soma zero (GSZ-DEA)

Os alvos obtidos no modelo DEA tradicional podem não ser alcançáveis caso haja uma restrição no número de *inputs* ou *outputs* totais. É o caso, por exemplo, dos Jogos Olímpicos, se cada tipo de medalha for considerado um *output*. Neste caso, para que um país alcance o seu alvo é necessária a redução do número de medalhas dos outros países, pois a distribuição de medalhas é

constante. Lins et al. (2003) propuseram um modelo DEA de ganhos de soma zero (GSZ-DEA) para considerar as somas constantes dos *outputs* ou *inputs*.

Outra possível aplicação do GSZ-DEA esta relacionada com a distribuição de cotas de emissão de $CO_2$ na atmosfera pelos países, considerando que esta deve se manter constante devido o Protocolo de Kyoto, como aplicado em Macedo e Soares de Mello (2005) e em Gomes e Lins (2008). Uma aplicação similar à proposta neste artigo foi realizada por Dlouhý (2014), onde são analisadas duas propostas para a alocação de subsídios dos distritos de Praga e uma delas é o Modelo DEA de ganhos de soma zero.

O modelo apresentado no artigo original de Lins et al. (2003) é orientado a *output*, no entanto, de forma análoga, o presente artigo apresenta um modelo orientado a soma constante dos *inputs*. No PPL 2, o termo $1 + \frac{x_0(1-h_{Ro})}{\sum_{j\neq 0} x_{ik}}$ é chamado de Coeficiente de Redução (CR).

$$
\begin{aligned}
&Min\ h_{Ro} \\
&Sujeito\ a \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k x_{ik}\left[1 + \frac{x_0(1-h_{Ro})}{\sum_{j\neq 0} x_{ik}}\right] \leq h_{Ro} x_{k0}, \forall\, i \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k y_{jk} \geq y_{j0}, \forall j \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1 \\
&\lambda_k \geq 0, \forall k
\end{aligned}
\tag{2}
$$

### 2.3. Modelo GSZ-DEA não-radial

Nos modelos clássicos e no modelo GSZ-DEA, os alvos são definidos radialmente, através da redução proporcional dos *inputs* ou aumento proporcional dos *outputs*, porém, em alguns casos pode ser mais interessante, por motivos operacionais, obter alvos não-radiais. Alguns estudos propuseram o estabelecimento de alvos alternativos em DEA, dentre eles Färe e Knox Lovell (1978), Zieschang (1984), Pastor, Ruiz e Sirvent (1999), Gomes Júnior, Soares de Mello e Angulo Meza (2013) e Gomes Júnior et al. (2016).

Fonseca et al. (2010) propuseram um modelo DEA de ganhos de soma zero não-radial orientado a um *output*. Dessa maneira é possível manter um ou mais *outputs* com valores constantes enquanto apenas um dos valores é alterado de forma a considerar a soma constante.

De forma análoga, é apresentado o modelo de ganhos de soma zero, orientado a um *input* no PPL 3, onde há uma restrição específica para o *input* que possui a soma constante, enquanto há outra relacionada aos *inputs* que manterão seus valores.

$$
\begin{aligned}
&Min\ h_{Ro} \\
&Sujeito\ a \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k x_{fk}\left[1 + \frac{x_0(1-h_{Ro})}{\sum_{j\neq 0} x_{ik}}\right] \leq h_{Ro} x_{f0} \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k x_{ik} \leq x_{k0}, \forall\, i \neq f \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k y_{jk} \geq y_{j0}, \forall\, j \\
&\textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1 \\
&\lambda_k \geq 0, \forall k
\end{aligned}
\tag{3}
$$

Os alvos são obtidos para cada DMU em particular, dessa forma, para se obter alvos simultaneamente para todas as DMUs uma nova estratégia deve ser proposta. Uma possibilidade seria a utilização de programação multiobjectivo (GOMES; SOARES DE MELLO; LINS, 2003), o que provavelmente utilizaria metaheurísticas. No entanto, Gomes, Soares de Mello e Lins (2005) utilizaram a redução proporcional, pelo teorema da estratégia proporcional, para manter o programação mono-objetivo, e assim obter uma estratégia de cooperação entre as DMUs.

O teorema diz que para se encontrar os alvos na estratégia de redução proporcional, as eficiências das DMUs no modelo GSZ-DEA são diretamente proporcionais as suas eficiências no modelo DEA clássico (GOMES; SOARES DE MELLO; LINS, 2003). A fim de se buscar essas eficiências deve-se redistribuir os alvos. No modelo radial, após a redistribuição, todas as DMUs se

localizam na fronteira de eficiência. No caso do modelo não-radial, a uniformidade não é garantida, e diversas iterações podem ser realizadas para que as DMUs estejam na fronteira. Essa nova fronteira se localiza abaixo da fronteira original e deve ser utilizada quando deseja-se realocar valores para que todas as DMUs se tornem eficientes (FONSECA et al., 2010).

Para a construção dessa nova fronteira diretamente, o teorema da determinação dos alvos pode ser utilizado, que indica que o alvo da DMU analisada no modelo GSZ-DEA é igual ao alvo do modelo clássico multiplicado pelo CR (GOMES; SOARES DE MELLO; LINS, 2003).

## 3. Estudo desenvolvido

O estudo desenvolvido foi dividido em duas etapas. A primeira consiste na avaliação da eficiência da distribuição dos recursos do Governo Federal para os estados brasileiros e da utilização desses recursos pelos estados no sentido de gerar benefícios para sua população. Nesta etapa foi utilizado um modelo DEA BCC, para considerar os retornos variáveis de escala, não-radial e com orientação a *input*.

A segunda etapa do estudo propõe uma redistribuição dos recursos do Governo Federal, de forma a possibilitar que todos os estados alcancem a máxima eficiência. Para isso, foi utilizado um modelo GSZ-DEA, apresentado anteriormente.

Para a avaliação foram selecionadas 9 variáveis, sendo 2 *inputs* e 7 *outputs*. Cada um dos 26 estados brasileiros e mais o Distrito Federal foi considerado uma DMU. Foi escolhido o ano de 2015 para a aplicação da metodologia proposta e os dados utilizados foram retirados do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis utilizadas, com uma breve descrição de cada uma.

Tabela 1 – Descrição das variáveis

| | **Variável** | **Descrição** |
|---|---|---|
| **Inputs** | População do estado | Número de pessoas residentes no estado, tanto na área urbana quanto na área rural. |
| | Valor destinado | Representa a quantia total destinada ao estado ao longo do ano, ou seja, a parcela das receitas federais arrecadadas pela União e repassada a esse estado e seus municípios. |
| **Outputs** | Abastecimento de água | População, rural e urbana, com acesso ao abastecimento de água por rede geral, por poço ou nascente, com canalização interna. |
| | Esgotamento sanitário | População, rural e urbana, com acesso a esgotamento sanitário adequado no domicílio. |
| | Coleta de lixo | População atendida pelos serviços de coleta de lixo doméstico, nas zonas rurais e urbanas. |
| | Oferta de serviço de saúde | Número de estabelecimentos de saúde existentes no estado, públicos ou privados, com ou sem fins lucrativos, em regime ambulatorial ou de internação. |
| | Alfabetização | Total da população (urbana e rural) alfabetizada. |
| | Escolaridade da população | Total da população (urbana e rural) com 11 anos ou mais de estudo. |
| | População economicamente ativa | População atualmente empregada. |

A variável “População do estado” é uma variável em que o estado não tem controle sobre o seu comportamento. Trata-se de um *input* cujo valor não pode ser alterado em busca de melhorar a eficiência do estado em análise, sendo assim este *input* é chamado de variável não-discricionária. Devido a esta característica, optou-se por utilizar um modelo DEA não-radial.

O segundo *input*, “valor destinado”, é a variável de ganho de soma zero do modelo. Devido a isso, o somatório do valor recebido por todos os estados deve ser sempre constante. Apenas o que pode mudar é a distribuição deste montante entre os estados, o que determina quanto cada estado irá receber.

Com relação aos *outputs*, as variáveis selecionadas são indicadores ambientais, sociais e econômicos. O conjunto destas variáveis torna-se um bom parâmetro para medir o desenvolvimento sustentável de cada estado, caracterizado pela qualidade de vida da população, pelo desenvolvimento socioeconômico da localidade, pela gestão de políticas públicas na área de educação e pela capacidade do sistema econômico em prover ocupação produtiva.

É importante ressaltar que um dos erros comuns ao selecionar as variáveis que fazem parte do modelo DEA é incorporar índices, proporções ou porcentagens no conjunto de *inputs* ou *outputs*. Dessa forma, foi utilizada a abordagem proposta por Dyson et al. (2001) para permitir a incorporação adequada de razões no modelo. Esta abordagem implica em separar o numerador e o denominador, incluindo o numerador como um *input* e o denominador como um *output*.

Por exemplo, para avaliação da esfera de educação, a taxa de alfabetização da população foi percebida como uma medida de desempenho fundamental. Então, optou-se por incluir o numerador (quantidade da população alfabetizada) como um *output* e o denominador (população total do estado) como um *input*. Esta estratégia foi aplicada para todos os *outputs* do modelo, exceto para o *output* "oferta de serviços de saúde", que já é um valor absoluto. Isso justifica a utilização de população neste modelo como uma variável de *input*.

Ademais, a fim de evitar possíveis erros na avaliação de eficiência devido a variáveis de grandezas distintas, as informações referentes a número de pessoas foram divididas por 1.000, isto é, todas as variáveis com exceção do *input* "Valor destinado" e do *output* "Oferta de serviços de saúde". A seguir, a Tabela 2 apresenta os valores utilizados de cada variável para cada DMU.

Tabela 2 – Valores de inputs e outputs por estado em 2015

| | **INPUTS** | | **OUTPUTS** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DMUs** | **Popula-ção do estado** | **Valor destinado (milhares de R$)** | **Abastecimen-to de água** | **Esgota-mento sanitário** | **Coleta de lixo** | **Oferta de serv. de saúde** | **Afalbetiza-ção** | **Escolari-dade da população** | **População econom. ativa** |
| ACRE | 806 | R$ 3.862.072,83 | 628,062 | 480,217 | 614,207 | 380 | 494,000 | 213,379 | 349,859 |
| ALAGOAS | 3345 | R$ 8.871.971,66 | 2899,459 | 1767,513 | 2735,253 | 1476 | 2485,434 | 741,231 | 1346,523 |
| AMAPÁ | 771 | R$ 3.463.993,11 | 673,679 | 114,815 | 664,746 | 288 | 642,140 | 246,706 | 330,785 |
| AMAZONAS | 3952 | R$ 6.979.811,01 | 3449,299 | 2701,087 | 3311,956 | 1010 | 3260,862 | 1253,379 | 1823,908 |
| BAHIA | 15220 | R$ 29.168.441,97 | 13806,019 | 10652,028 | 12155,351 | 8188 | 12196,354 | 4178,995 | 7498,850 |
| CEARÁ | 8924 | R$ 18.461.991,99 | 7846,399 | 4574,660 | 6813,846 | 4038 | 6940,643 | 2437,184 | 3972,405 |
| DISTRITO FEDERAL | 2925 | R$ 12.791.436,99 | 2891,502 | 2827,249 | 2863,600 | 1756 | 2637,066 | 1433,684 | 1576,850 |
| ESPÍRITO SANTO | 3939 | R$ 7.266.976,48 | 3893,189 | 3458,989 | 3575,364 | 2219 | 3437,402 | 1375,657 | 2050,317 |
| GOIÁS | 6631 | R$ 9.394.724,03 | 6444,130 | 5071,912 | 6133,069 | 3011 | 5760,076 | 2279,612 | 3531,575 |
| MARANHÃO | 6910 | R$ 17.468.654,21 | 5285,361 | 3789,639 | 3925,714 | 2621 | 5056,874 | 1557,363 | 3130,500 |
| MATO GROSSO | 3274 | R$ 5.930.960,60 | 3179,937 | 1809,802 | 2762,196 | 2001 | 2768,749 | 1054,005 | 1691,988 |
| MATO GROSSO DO SUL | 2659 | R$ 4.818.245,07 | 2622,425 | 1293,764 | 2393,550 | 1458 | 2282,189 | 870,470 | 1432,965 |
| MINAS GERAIS | 20900 | R$ 28.529.131,95 | 20598,154 | 17045,917 | 18639,402 | 12460 | 18197,918 | 6685,972 | 11394,812 |
| PARÁ | 8193 | R$ 16.595.437,09 | 7047,342 | 5052,042 | 5927,015 | 2742 | 6635,994 | 2001,437 | 3838,657 |
| PARAÍBA | 3976 | R$ 10.005.009,00 | 3616,229 | 2802,971 | 3317,556 | 2622 | 3068,053 | 1113,177 | 1941,945 |
| PARANÁ | 11187 | R$ 15.060.913,34 | 11067,554 | 9304,200 | 10393,860 | 5779 | 9876,517 | 4082,100 | 5962,794 |
| PERNAMBUCO | 9359 | R$ 17.657.709,63 | 8209,659 | 6438,681 | 7777,503 | 4149 | 7426,183 | 2699,541 | 4242,753 |
| PIAUÍ | 3207 | R$ 9.044.652,80 | 2822,783 | 2684,878 | 2184,483 | 2093 | 2461,980 | 708,647 | 1697,054 |
| RIO DE JANEIRO | 16578 | R$ 24.032.143,82 | 16242,929 | 15588,537 | 16254,185 | 6457 | 14974,638 | 6796,102 | 8389,174 |
| RIO GRANDE DO NORTE | 3450 | R$ 8.413.401,90 | 3196,024 | 2019,764 | 3018,709 | 1932 | 2694,441 | 1010,947 | 1631,939 |

| | INPUTS | | OUTPUTS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DMUs** | **Popula-ção do estado** | **Valor destinado (milhares de R$)** | **Abastecimen-to de água** | **Esgota-mento sanitário** | **Coleta de lixo** | **Oferta de serv. de saúde** | **Afalbetiza-ção** | **Escolari-dade da população** | **População econom. ativa** |
| RIO GRANDE DO SUL | 11265 | R$ 14.853.494,88 | 11176,331 | 10012,032 | 10520,493 | 5705 | 10095,033 | 3741,221 | 6327,497 |
| RONDÔNIA | 1773 | R$ 3.959.413,11 | 1753,488 | 833,244 | 1391,999 | 720 | 1495,462 | 495,788 | 865,690 |
| RORAIMA | 509 | R$ 2.894.796,66 | 460,179 | 460,383 | 411,627 | 444 | 420,919 | 175,042 | 249,005 |
| SANTA CATARINA | 6839 | R$ 8.635.169,12 | 6744,292 | 6115,156 | 6438,314 | 4470 | 6147,401 | 2583,220 | 3728,992 |
| SÃO PAULO | 44500 | R$ 39.351.094,23 | 43989,327 | 42854,210 | 43899,546 | 14215 | 39926,759 | 19039,639 | 23973,844 |
| SERGIPE | 2249 | R$ 6.341.142,30 | 2033,128 | 1426,771 | 1885,018 | 1115 | 1754,502 | 575,192 | 1122,877 |
| TOCANTINS | 1519 | R$ 5.779.330,25 | 1423,643 | 975,605 | 1240,265 | 721 | 1241,553 | 457,689 | 730,951 |

## 4. Análise dos Resultados

### 4.1. Avaliação da eficiência dos estados

O modelo DEA BCC não radial orientado a *input* foi executado para cada uma das 27 DMUs. Como pode ser observado na Tabela 3, onze estados foram considerados eficientes: Distrito Federal, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina e São Paulo. Porém, os estados de Roraima e São Paulo são considerados eficientes por *default*.

Nota-se que todos os estados da região Sudeste e da região Sul do país obtiveram 100% de eficiência e, em contrapartida, nenhum estado da região Nordeste foi considerado eficiente.

Tabela 3 – Índice de eficiência dos estados em ordem decrescente

| | ESTADO | EFICIÊNCIA |
|---|---|---|
| 1 | DISTRITO FEDERAL | 1,0000 |
| 2 | ESPÍRITO SANTO | 1,0000 |
| 3 | MATO GROSSO DO SUL | 1,0000 |
| 4 | MINAS GERAIS | 1,0000 |
| 5 | PARANÁ | 1,0000 |
| 6 | RIO DE JANEIRO | 1,0000 |
| 7 | RIO GRANDE DO SUL | 1,0000 |
| 8 | RONDÔNIA | 1,0000 |
| 9 | RORAIMA | 1,0000 |
| 10 | SANTA CATARINA | 1,0000 |
| 11 | SÃO PAULO | 1,0000 |
| 12 | MATO GROSSO | 0,8996 |
| 13 | AMAPÁ | 0,8969 |
| 14 | GOIÁS | 0,8588 |
| 15 | ACRE | 0,7935 |
| 16 | AMAZONAS | 0,7902 |
| 17 | SERGIPE | 0,6733 |
| 18 | TOCANTINS | 0,6403 |
| 19 | RIO GRANDE DO NORTE | 0,6340 |
| 20 | BAHIA | 0,6201 |
| 21 | PARAÍBA | 0,5997 |
| 22 | PIAUÍ | 0,5836 |
| 23 | ALAGOAS | 0,5638 |
| 24 | PERNAMBUCO | 0,5481 |
| 25 | PARÁ | 0,5218 |
| 26 | CEARÁ | 0,5085 |
| 27 | MARANHÃO | 0,4267 |

Vale destacar os estados de Rondônia e Mato Grosso do Sul, que obtiveram 100% de eficiência mesmo recebendo apenas o 4º e 5º menor valor, respectivamente.

No extremo oposto, o estado da Bahia tem o 2º maior valor recebido do Governo Federal, mas só aparece em 20º no *ranking* de eficiência, com um índice de 62%. Além deste, Ceará, Pernambuco, Maranhão e Pará também aparecem na lista dos estados menos eficientes. Estes estados receberam o 5º, 6º, 7º e 8º maior valor do Governo Federal, respectivamente, e ocupam as quatro piores posições no *ranking* de eficiência.

### 4.2. Redistribuição do valor a ser recebido por cada estado

Além do índice de eficiência, o modelo também fornece um parâmetro $\boldsymbol{\lambda}$, que indica as DMUs consideradas *benchmarks* e o quanto estas DMUs contribuem para a eficiência da DMU em análise. Com essas informações, é possível calcular os alvos para que as DMUs ineficientes se tornem eficientes. Como o modelo é orientado a *input* e um dos *inputs* é não-discricionário, foi calculado o valor alvo de cada estado para o *input* "Valor destinado". Os valores obtidos encontram-se na Tabela 4.

No entanto, a quantia total repassada pelo Governo Federal no ano em estudo é fixa e não pode ser alterada. Por esse motivo, foi realizada uma nova distribuição entre os estados de maneira que o montante final distribuído permanecesse o mesmo.

Obedecendo as propriedades do modelo DEA de ganhos de soma zero, foi aplicada a estratégia de redução proporcional e calculado um novo alvo para cada DMU, apresentado na coluna "alvo soma zero" da Tabela 4. A coluna "Valor destinado" representa o valor original da variável e a coluna "alvo" representa o valor alvo do *input* calculado com o parâmetro $\boldsymbol{\lambda}$.

Tabela 4 – Alvo para o input Valor destinado ao estado, em milhares de reais

| ESTADO | VALOR DESTINADO | ALVO | ALVO SOMA ZERO |
|---|---|---|---|
| ACRE | R$ 3.862.072,83 | R$ 3.064.610,10 | R$ 3.853.007,03 |
| ALAGOAS | R$ 8.871.971,66 | R$ 5.001.816,03 | R$ 6.288.575,62 |
| AMAPÁ | R$ 3.463.993,11 | R$ 3.106.972,31 | R$ 3.906.267,29 |
| AMAZONAS | R$ 6.979.811,01 | R$ 5.515.530,53 | R$ 6.934.447,52 |
| BAHIA | R$ 29.168.441,97 | R$ 18.087.496,99 | R$ 22.740.658,97 |
| CEARÁ | R$ 18.461.991,99 | R$ 9.388.491,51 | R$ 11.803.760,56 |
| DISTRITO FEDERAL | R$ 12.791.436,99 | R$ 12.791.436,99 | R$ 16.082.142,62 |
| ESPÍRITO SANTO | R$ 7.266.976,48 | R$ 7.266.976,48 | R$ 9.136.467,80 |
| GOIÁS | R$ 9.394.724,03 | R$ 8.068.483,38 | R$ 10.144.169,15 |

| ESTADO | VALOR DESTINADO | ALVO | ALVO SOMA ZERO |
|---|---|---|---|
| MARANHÃO | R$ 17.468.654,21 | R$ 7.454.254,50 | R$ 9.371.924,68 |
| MATO GROSSO | R$ 5.930.960,60 | R$ 5.335.788,09 | R$ 6.708.464,82 |
| MATO GROSSO DO SUL | R$ 4.818.245,07 | R$ 4.818.245,07 | R$ 6.057.779,47 |
| MINAS GERAIS | R$ 28.529.131,95 | R$ 28.529.131,95 | R$ 35.868.493,07 |
| PARÁ | R$ 16.595.437,09 | R$ 8.659.660,75 | R$ 10.887.431,91 |
| PARAÍBA | R$ 10.005.009,00 | R$ 6.000.246,31 | R$ 7.543.860,56 |
| PARANÁ | R$ 15.060.913,34 | R$ 15.060.913,34 | R$ 18.935.461,01 |
| PERNAMBUCO | R$ 17.657.709,63 | R$ 9.678.652,49 | R$ 12.168.567,92 |
| PIAUÍ | R$ 9.044.652,80 | R$ 5.278.258,42 | R$ 6.636.135,16 |
| RIO DE JANEIRO | R$ 24.032.143,82 | R$ 24.032.143,82 | R$ 30.214.616,60 |
| RIO GRANDE DO NORTE | R$ 8.413.401,90 | R$ 5.333.811,76 | R$ 6.705.980,07 |
| RIO GRANDE DO SUL | R$ 14.853.494,88 | R$ 14.853.494,88 | R$ 18.674.682,39 |
| RONDÔNIA | R$ 3.959.413,11 | R$ 3.959.413,11 | R$ 4.978.005,71 |
| RORAIMA | R$ 2.894.796,66 | R$ 2.894.796,66 | R$ 3.639.507,65 |
| SANTA CATARINA | R$ 8.635.169,12 | R$ 8.635.169,12 | R$ 10.856.639,60 |
| SÃO PAULO | R$ 39.351.094,23 | R$ 39.351.094,23 | R$ 49.474.496,91 |
| SERGIPE | R$ 6.341.142,30 | R$ 4.269.679,07 | R$ 5.368.090,22 |
| TOCANTINS | R$ 5.779.330,25 | R$ 3.700.500,56 | R$ 4.652.485,71 |
| **TOTAL** | **R$ 339.632.120,02** | **R$ 270.137.068,44** | **R$ 339.632.120,02** |

Observa-se que, apesar das DMUs 100% eficientes apresentarem inicialmente um valor de "alvo" igual ao "valor destinado" (justamente porque já são eficientes), para que pudesse ser possível a redistribuição da receita arrecada pela União com soma zero, estas DMUs também obtiveram novos valores na coluna "alvo soma zero".

Como o modelo é orientado a *input*, quanto mais ineficiente for uma DMU, maior tem que ser a redução dos seus *inputs* para que atinja a fronteira de eficiência. Na Tabela 4 observa-se que, em geral, todos os estados considerados ineficientes obtiveram um "alvo soma zero" que diminui o seu valor recebido do Governo Federal. As exceções foram os estados de Mato Grosso, Amapá e Goiás que apresentaram um índice de eficiência alto, acima de 85%.

A maior redução no valor do *input* "Valor destinado" foi observada no estado do Maranhão, que também foi o estado considerado menos eficiente, 42%. O valor recebido do Governo Federal passou de aproximadamente 17,5 bilhões de reais para um pouco mais de 9 bilhões.

No entanto, para que o valor destinado aos estados ineficientes pudesse diminuir na redistribuição dos recursos, os estados eficientes passaram a receber uma quantia maior. Assim, todos os estados que obtiveram 100% de eficiência tiveram o mesmo aumento proporcional no valor de seu *input*, 25,7%.

Após a redistribuição do *input* "valor destinado", o modelo DEA BCC não-radial foi executado novamente para cada DMU, considerando os novos valores do "alvo soma zero". Apesar de Fonseca et al. (2010) relatarem que para modelos não-radiais a uniformidade não é garantida, neste caso em particular a convergência aconteceu, e todos os estados obtiveram eficiência igual a 100%. Caso isso não ocorresse, seria necessário repetir o processo de cálculo dos alvos e redistribuição do valor do *input* repetidas vezes e, assim, melhorar a eficiência média a cada iteração até que todas as DMUs alcancem a eficiência.

## 5. Conclusão

A metodologia da DEA aplicada neste estudo permitiu a avaliação da distribuição dos recursos do governo federal aos estados brasileiros e como esses estados usam esses recursos para gerar benefícios para sua população.

A eficiência calculada através do modelo BCC verificou que há discrepâncias entre as quantias de dinheiro recebidas por cada estado e sua transformação efetiva em ações de desenvolvimento regional. As desigualdades regionais no país também foram evidentes, já que todos os estados da região Sudeste e Sul alcançaram 100% de eficiência, enquanto nenhum estado na região Nordeste alcançou o mesmo resultado.

Foi observado que o Governo Federal não está realizando a distribuição de recursos entre entidades federativas de forma eficiente. Isso pode significar que os critérios utilizados como base para essa distribuição precisam ser revisados e melhorados.

Com a aplicação de modelo DEA de ganhos de soma zero, foi possível estabelecer a quantidade de dinheiro ideal para cada estado, fazendo com que todos os estados atinjam sua máxima eficiência. Assim, foi proposta uma nova distribuição de recursos, mostrando que a metodologia proposta pode ser uma boa ferramenta para auxiliar a tomada de decisões e orientação para a melhor alocação de fundos federais.

Com esta redistribuição dos valores destinados a cada estado, os estados eficientes receberiam uma maior quantidade de dinheiro, já que eles estão usando o recurso de forma eficiente. Esta lógica de distribuição, que beneficia os agentes que utilizam os recursos da melhor maneira possível, também foi verificada em em Soares de Mello et al. (2006).

Por outro lado, os estados que apresentaram um índice de eficiência inferior a 100% tiveram os recursos reduzidos, pois significa que eles não estão usando o recurso recebido de forma eficiente. Nesse caso, quaisquer recursos adicionais também serão gastos de forma ineficiente, sem retornar como benefícios para a população.

Um ponto crítico que deve ser investigado no trabalho futuro é a identificação das principais fontes de ineficiência em cada estado. Cada fonte identificada deve ser analisada de forma detalhada e os planos de ação devem ser sugeridos, a fim de garantir a efetiva aplicação dos fundos públicos para melhorar a qualidade de vida no estado.

**Referências**


BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1 set. 1984.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1 nov. 1978.

DA CRUZ, N. F.; MARQUES, R. C. Revisiting the determinants of local government performance. **Omega**, v. 44, p. 91–103, 1 abr. 2014.

DESPOTIS, D. K. Measuring human development via data envelopment analysis: the case of Asia and the Pacific. **Omega**, OR and its Applications. v. 33, n. 5, p. 385–390, 1 out. 2005.

DILLINGER, W. R.; WEBB, S. B. Fiscal management in federal democracies: Argentina and Brazil. **Policy Research Working Papers**, n. 2, p. 122, 1999.

DLOUHÝ, M. Models of subsidy allocation among city districts. **Prague Economic Papers**, n. 1, p. 108–120, 2014.

DUFRECHOU, P. A. The efficiency of public education spending in Latin America: A comparison to high-income countries. **International Journal of Educational Development**, v. 49, p. 188–203, 1 jul. 2016.

DYSON, R. G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, Data Envelopment Analysis. v. 132, n. 2, p. 245–259, 16 jul. 2001.

FÄRE, R.; KNOX LOVELL, C. A. Measuring the technical efficiency of production. **Journal of Economic Theory**, v. 19, n. 1, p. 150–162, 1 out. 1978.

FARIA, F. P.; JANNUZZI, P. DE M.; SILVA, S. J. DA. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 1, p. 155–177, fev. 2008.

FEITÓSA, C. G.; SCHULL, A. N.; HEIN, A. F. Análise da eficiência dos gastos em segurança pública nos estados brasileiros através da análise envoltória de dados (DEA). **Revista Capital Científico**, v. 12, n. 3, p. 91–105, 26 out. 2014.

FONSECA, A. B. DE M. et al. Uniformization of frontiers in non-radial ZSG-DEA models: an application to airport revenues. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 175–193, abr. 2010.

FONSECA, R. A. et al. ICMS ecológico: Uma análise do modelo adotado pelo Estaado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 3, p. 4–29, 2015.

GIMÉNEZ, V.; AYVAR-CAMPOS, F. J.; NAVARRO-CHÁVEZ, J. C. L. Efficiency in the generation of social welfare in Mexico: A proposal in the presence of bad outputs. **Omega**, v. 69, p. 43–52, 1 jun. 2017.

GOMES, E. G.; LINS, M. P. E. Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, n. 5, p. 616–623, 1 maio 2008.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; LINS, M. P. E. Busca sequencial de alvos intermediários em modelos DEA com soma de outputs constante. **Investigação Operacional**, v. 23, n. 2, p. 163–178, dez. 2003.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; LINS, M. P. E. Uniformização da fronteira eficiente em modelos de análise de envoltória de dados com ganhos de soma zero e retornos constantes de escala. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 261–277, ago. 2005.

GOMES JÚNIOR, S. F. et al. Evaluation of Brazilian airlines nonradial efficiencies and targets using an alternative DEA approach. **International Transactions in Operational Research**, v. 23, n. 4, p. 669–689, 1 jul. 2016.

GOMES JÚNIOR, S. F.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L. DEA nonradial efficiency based on vector properties. **International Transactions in Operational Research**, v. 20, n. 3, p. 341–364, 1 maio 2013.

LINS, M. P. E. et al. Olympic ranking based on a zero sum gains DEA model. **European Journal of Operational Research**, Sport and Computers. v. 148, n. 2, p. 312–322, 16 jul. 2003.

MACEDO, M. A.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. **Cálculo de divisão de cotas de emissão de CO2 segundo a modelagem DEA GSZ com retornos híbridos de escala**. SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA. **Anais**... In: SPOLM 2005. Rio de Janeiro, Brasil: 2005

MORAIS, P.; CAMANHO, A. S. Evaluation of performance of European cities with the aim to promote quality of life improvements. **Omega**, v. 39, n. 4, p. 398–409, 1 ago. 2011.

PASTOR, J. T.; RUIZ, J. L.; SIRVENT, I. An enhanced DEA Russell graph efficiency measure. **European Journal of Operational Research**, v. 115, n. 3, p. 596–607, 16 jun. 1999.

PETTAS, N.; GIANNIKOS, I. Evaluating the delivery performance of public spending programs from an efficiency perspective. **Evaluation and Program Planning**, v. 45, p. 140–150, 1 ago. 2014.

ROCHA, C. A. A. Rateio do FPE: análise e simulações. **Centro de Estudos da Consultoria do Senado**, v. Texto para Discussão nº 71, 2010.

SMITH, P.; MAYSTON, D. Measuring efficiency in the public sector. **Omega**, v. 15, n. 3, p. 181–189, 1 jan. 1987.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Algoritmo de alocação de recursos discretos com análise de envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 2, p. 225–239, ago. 2006.

TURGEON, M.; CAVALCANTE, P. Desproporcionalidade da representação dos estados no congresso nacional e seus efeitos na alocação dos recursos federais. **Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**, 2014.

ZIESCHANG, K. D. An extended farrell technical efficiency measure. **Journal of Economic Theory**, v. 33, n. 2, p. 387–396, 1 ago. 1984.