



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACE – FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E**  
**GESTÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS**

Luis Eduardo Gomes Lopes da Silva

**ECOEFIÊNCIA AGROPECUÁRIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS SEGUINDO**  
**O CENSO AGROPECUÁRIO DE 2017**

**BRASÍLIA**  
**2021**

Luis Eduardo Gomes Lopes da Silva

**ECOEFIÊNCIA AGROPECUÁRIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS SEGUINDO  
O CENSO AGROPECUÁRIO DE 2017**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Rosano Peña

**BRASÍLIA**

**2021**

LUIS EDUARDO GOMES LOPES DA SILVA

**ECOEFIÊNCIA AGROPECUÁRIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS  
SEGUINDO O CENSO AGROPECUÁRIO DE 2017**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Administração.

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Rosano Peña  
Orientador

---

Prof. Me. Roque Magno de Oliveira  
Examinador

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Olinda Maria Gomes Lesses  
Examinadora

## RESUMO

Este trabalho busca, a partir da aplicação dos modelos clássicos de *Data Envelopment Analysis* (DEA), CCR e BCC, encontrar as eficiências técnicas e de escala de todos os municípios brasileiros, seguindo os dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017. Serão delimitados *outliers*, utilizando resultados de supereficiência, seguindo o procedimento BG. O cálculo da eficiência terá variáveis ambientais, portanto se tratará de uma ecoeficiência. Com os resultados encontrados, se busca obter um mapa do Brasil, em que serão representados os municípios de acordo com seus escores de eficiência. Foi encontrado uma baixa eficiência global e alta eficiência de escala, o que define que a causa da ineficiência é a baixa eficiência técnica. Por conta do caráter de ecoeficiência, os municípios mais eficientes estão encontrados na região Norte, onde há legislações para o controle da preservação mais rigorosas.

**Palavras-chave:** Eficiência; Produção rural; DEA; Modelo CCR; Modelo BCC.

## ABSTRACT

This work intends to calculate, based on the application of the classic Data Envelopment Analysis (DEA) models, CCR and BCC, the technical efficiency and scale efficiency from all the Brazilian municipalities, based on the data collected from the Censo Agropecuário of IBGE 2017. There will be determined outliers, utilizing super-efficiency results, following the BG procedure. To calculate the efficiencies, there are going to be used ambiental variables, so the results represents an eco-efficiency. After finding the results, the efficiency will be represented in a map, so that it's possible to see the efficiency scores throughout the regions. The results found where a low global efficiency, but high scale efficiency, hence the inefficiency cause is a low technical efficiency. Due to the eco-efficiency character, the efficient municipalities are concentrated in the North region, where there is more strict legislation to control the preservation.

**Key-words:** Efficiency; Rural production; DEA; CCR Model; BCC Model.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1	Conceitos de produção	8
2.2	Eficácia	9
2.3	Produtividade	10
2.4	Conceitos de Eficiência	10
2.5	Ecoeficiência	11
2.6	Eficiência Técnica, Alocativa e Global	11
2.7	<i>Outliers</i>	14
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
3.1	Coleta de dados	15
3.2	Modelo Charnes, Cooper e Rhodes	17
3.3	Modelo Baker, Carnes e Cooper	19
2.7	Supereficiência	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor do Agronegócio é historicamente fundamental para o desenvolvimento econômico brasileiro, passando por diversos momentos históricos e culturais, desde a colonização até os dias atuais. A importância deste setor foi ainda mais enaltecida quando o Brasil assumiu o papel de exportador de produtos agrícolas. O *boom* da produção rural se iniciou em meados dos anos 80 e início dos anos 90, quando passou a existir uma abordagem “intersectorial”, agregando conhecimentos de agronomia e de negócios, assim se desenvolvendo o agrobusiness, ou agronegócio (Heredia; Palmeira; Leite, 2010).

Segundo levantamento do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2021), o agronegócio é o principal fator da balança comercial brasileira, possuindo um saldo final de US\$ 81,9 bilhões em 2017 e de US\$ 87,7 bilhões em 2020. Observando dados dos últimos 10 anos, o agronegócio sempre apresentou um saldo positivo, que significa que esses produtos são mais exportados do que importados, já os demais produtos somados apresentam um saldo negativo, por serem mais importados do que exportados. O valor alto de exportações brasileiras se deve muito pelas *commodities*, que possuem alta produção no Brasil, principalmente a soja e a carne bovina. Por se tratarem, portanto, de *commodities*, um fator a se levar e conta é reduzir os custos de produção para atingir os menores preços e maximizar a produção total, ou seja, produzir de uma maneira mais eficiente.

Também não se pode esquecer dos impactos causados pela produção agropecuária nos biomas brasileiros. Somente a pecuária é responsável por cerca de 70% das áreas desmatadas na Floresta Amazônica (Barreto et al., 2006), já que ao buscar esse tipo de terra os produtores buscam preços mais baixos, para alcançarem maiores lucros. Apesar de este trabalho buscar medir uma maior eficiência, ela não deve vir a qualquer custo, portanto para o cálculo, uma das variáveis deve levar em consideração a preservação ambiental, o que tornará nossos scores não somente de eficiência, mas de ecoeficiência.

Este trabalho busca, portanto, calcular a eficiência dos municípios brasileiros através dos modelos clássicos de *Data Envelopment Analysis* (DEA), sendo o primeiro desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) levando em conta retornos constantes e sendo popularmente conhecido como método CCR, futuramente aprimorado por Banker, Charnes e Cooper (1984), para abordar retornos variáveis de

escala, que ficou conhecido como método BCC. Também será calculada a supereficiência, que será utilizada para ranquear os municípios mais eficientes, além de ser feita uma representação gráfica em mapa para analisar que regiões se encontram mais eficientes.

Foram realizados diversos trabalhos a respeito da eficiência produtiva no agronegócio com o modelo DEA, como por Sharma, Leung e Zaleski (1999) nos EUA, Iráizoz, Rapún e Zabalena (2003) na Espanha, Ruslan (2019) na Malásia. No Brasil também foi usado o DEA para se calcular a eficiência por Gomes (1999), Silva (2001), Silva e Sampaio (2002), Souza (2003), Vicente (2004), Santos, Vieira e Batista (2004), Gomes, Mangabeira e Mello (2005), Gonçalves et al. (2008), Magalhães e Campos (2006), Campos e Ferreira Neto (2008), Constantin, Martin e Rivera (2009), Mariano e Pinheiro (2009), Carvalho et al. (2017), entre outros. Pode-se perceber que poucos dos estudos levam em conta variáveis ambientais, como no caso de Sherlund, Barrett e Adesina (2002) na Costa do Marfim. Neste trabalho, uma variável ambiental será utilizada para que se possam balancear regiões que poderiam não ser tão eficientes ao se considerar apenas benefícios financeiros, mas possuem grande importância por conta de seu benefício ambiental, seguindo um cálculo de ecoeficiência. Outro fator importante deste trabalho é que ele trabalhará com dados de toda a população, por se tratar do Censo Agropecuário do IBGE, assim como foi utilizado em trabalhos como o de Barbosa et al. (2013), que utilizou o censo de 2006, contudo neste trabalho será utilizado o censo de 2017, que são os dados mais recentes disponíveis, portanto este será um dos primeiros trabalhos a utilizar os modelos clássicos de DEA para se calcular a eficiência de todos os municípios brasileiros com dados de 2017.

Além deste primeiro capítulo de introdução, o trabalho terá no capítulo dois o referencial teórico, para explicar conceitos como o de produção e eficiência, em que se diferenciarão os tipos de eficiência, além dos conceitos de eficácia e produtividade, para que se entenda a diferença deles para a eficiência. No capítulo três será explicado o método utilizado para se calcular as eficiências, com os modelos clássicos de DEA em relação a retornos constantes e variáveis de escala. No capítulo quatro serão apresentados os resultados da pesquisa, além de discutir o que estes resultados representam. Por fim, no capítulo cinco serão feitas as considerações finais do trabalho.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para cumprir o objetivo do trabalho, precisa se entender o conceito de eficiência, além de diferenciá-lo de conceitos semelhantes, como eficácia e produtividade. Também é interessante a definição de produção, pois ela está diretamente ligada à eficiência. No caso da eficiência, deve-se também saber diferenciar conceitos relacionados, como ecoeficiência, eficiências técnica, alocativa, global e de escala. Por fim, é importante de entender o conceito de *outliers*, para que o cálculo da eficiência seja mais correto.

### 2.1 Conceitos de produção

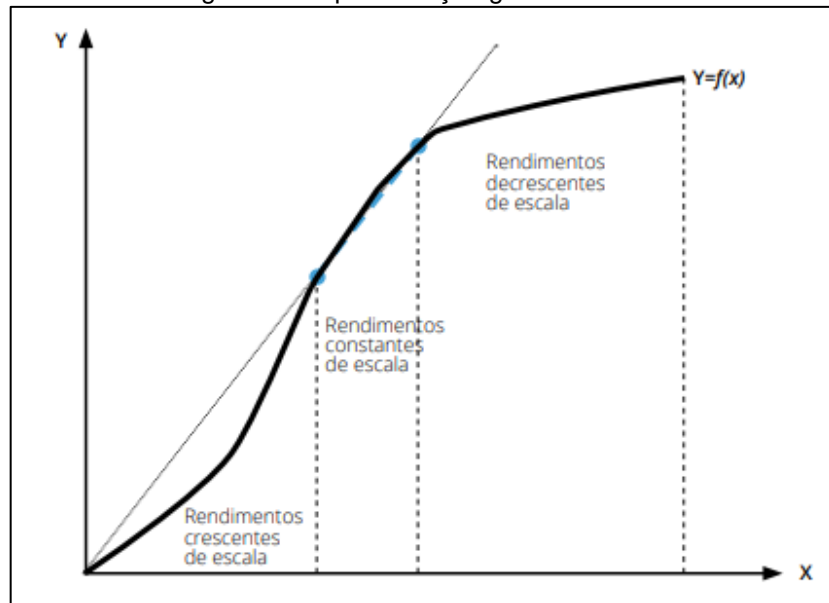
Produção é definida por Peña e Gomes (2018) como uma criação de valor, para satisfazer a necessidades e desejos, ou pela transformação de insumos em produtos, envolvendo processos produtivos, além dos serviços relacionados, como estocagem e distribuição. Por conta de sua natureza, a produção enfrenta um grande problema econômico, que consiste em como alcançar níveis de produção crescentes com um número de recursos limitados, que possui como resposta outras perguntas, como a delimitação do que deve ser produzido, em que quantidade, com qual combinação de insumos, e como reduzir os custos de produção.

Tendo em vista as múltiplas possibilidades para se produzir, Färe et al. (1989) categorizou propriedades para o Conjunto de Possibilidade de Produção (CPP). Esse conjunto consiste nas possibilidades de diferentes distribuições de insumos, para a produção de diferentes distribuições de produtos, que possui como principais propriedades a possibilidade de não produzir, no caso de uma unidade que escolha por não utilizar insumos, assim não obtendo produtos, assim como não há a possibilidade de se produzir sem o uso de insumos, já que a produção se dá pela transformação de insumos em produtos. Também há a propriedade que o valor da produção é finito, variando de acordo com o valor de insumos, portanto a produção possui um limite máximo de acordo com a possibilidade de distribuição de *inputs* e *outputs*.

A produção pode seguir diversos padrões de crescimento, como apresentado na Figura 1, podendo ser um crescimento constante, em que o valor da produção

crece proporcionalmente ao incremento nos insumos utilizados, pode haver uma taxa de crescimento crescente com escala, em que quanto maior o número de insumos utilizados, a produção cresce mais do que proporcionalmente, de forma exponencial, ou com decrescimento de escala, em que cada insumo utilizado, terá um impacto marginal na produção cada vez menor, assim a taxa de crescimento da empresa fica decrescente, até atingir um limite da produção.

Figura 1 - Representação gráfica do CPP



Fonte: Modificado de Rosano-Peña e Gomes (2018, p.199).

Inicialmente, como ainda existem poucos insumos a produção é bem pequena, porém cada insumo adicionado possui um impacto marginal maior na produção, portanto há rendimentos crescentes de escala. Esse comportamento segue até certo patamar, em que a produção passa a seguir um crescimento constante, em que há a proporcionalidade na adição de insumos e na produção. Porém quando a produção alcança um alto patamar, passa a haver rendimentos decrescentes de escala.

## 2.2 Eficácia

A eficácia consiste na capacidade de se produzir de acordo com uma meta estabelecida anteriormente, estando, portanto, tomando como parâmetro o resultado obtido, porém sem levar em conta a quantidade de recursos utilizados para se produzir.

O cálculo da eficácia consiste em saber o quanto a empresa chegou perto de alcançar sua meta. Já no caso de haver diferentes fatores a serem avaliados, para o cálculo da eficácia geral deve-se, portanto, atribuir pesos para os fatores a serem avaliados.

### **2.3 Produtividade**

Já a produtividade, segundo Martins e Laugeni (2005), é um conceito já utilizado há centenas de anos, como no caso de François Quesnay em 1766. Pode ser definida pela relação entre produtos e insumos, podendo ser calculada de forma parcial, para assim, por exemplo calcular a produtividade de funcionários individualmente, para saber quem possui a capacidade de produzir mais.

### **2.4 Conceitos de Eficiência**

Por conta da natureza da produção, que possui um Conjunto de Possibilidade de Produção, existe uma busca pela eficiência de acordo com a distribuição de produtos e insumos escolhida. A eficiência é basicamente o esforço por um maior nível de produção, mantendo os níveis de insumos usados, ou de manter os níveis de produção, reduzindo os insumos dispendidos. O estudo realizado por Debreu (1951) concluiu que em uma produção que possuía  $x$  insumos e  $y$  produtos, a fronteira de produção poderia ser utilizada para o cálculo de eficiência, em que se avaliavam as diferentes possibilidades de produção, dados os recursos limitados, para se encontrarem os resultados de satisfação. Representando de forma gráfica, ele foi capaz de definir que existem curvas de produção, chamadas de isoquantas, que são linhas em que todos os pontos são diferentes distribuições de recursos que alcançam um mesmo valor de eficiência, chegando até à isoquanta eficiente, em que todos os pontos são as possibilidades de produção mais eficientes tecnicamente.

De acordo com a teoria de Debreu, após serem analisados os possíveis cenários de produção, era definido um limite ótimo de produção, para que a partir de sua representação gráfica, ele fosse comparado a outras unidades de produção, sendo, portanto, a perda de eficiência o correspondente à distância entre o ponto ineficiente e a fronteira de eficiência.

No mesmo ano que Debreu desenvolveu sua teoria, Koopmans (1951) também partiu da ideia da eficiência como um contínuo da relação e distribuição entre insumos e produtos. Em sua concepção, quando houvesse o incremento no valor da produção de um bem, para se manter a eficiência, deveria haver um balanço com a diminuição do valor da produção de outro bem. Para Koopmans, uma unidade produtiva é eficiente se e somente se é tecnologicamente impossível aumentar qualquer *output* (e/ou reduzir qualquer *input*) sem simultaneamente reduzir outro *output* (e/ou aumentar qualquer outro *input*).

## 2.5 Ecoeficiência

Em um contexto econômico em que as empresas estão sempre em busca da maximização da produção e da redução do número de recursos gastos, tudo em busca da maior eficiência possível, há em grande parte uma desconsideração dos recursos naturais utilizados e dos danos ambiental causada pela produção. Por conta disso, surgiu o conceito de ecoeficiência, que é o cálculo da eficiência da produção que também busca minimizar o uso dos recursos naturais e os impactos ambientais, além de maximizar a geração de produtos ambientais (WBCSD, 2000).

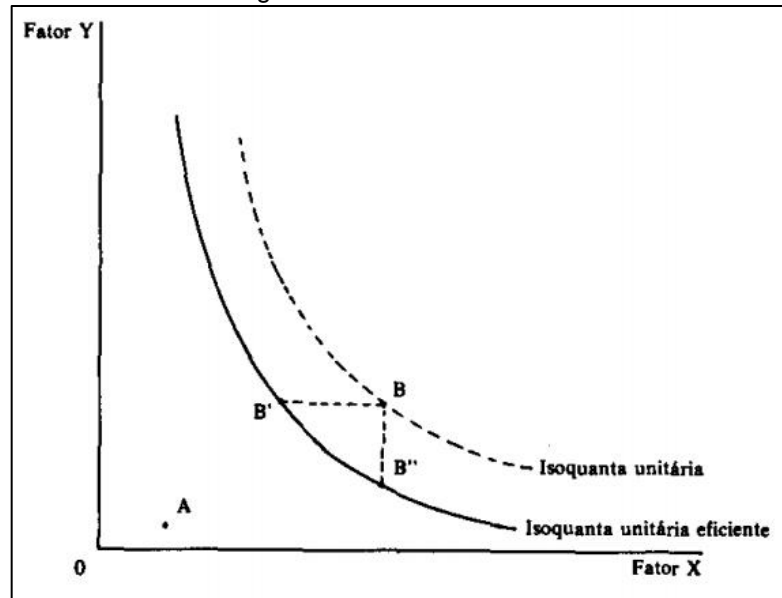
Por conta da importância de considerar a ecoeficiência, este trabalho irá a partir do método da Análise Envoltória de Dados, utilizar variáveis que levem em conta aspectos ambientais, para que se calcule uma eficiência econômica ambiental, para que se possa delimitar os municípios que possuam uma consideração ambiental maior, para que sejam usados de exemplo para todo o país.

## 2.6 Eficiência Técnica, Alocativa e Global

Farrel (1957) criou formas simples de se mensurar a eficiência, que por ele foi dividida em eficiência técnica, que busca maximizar a produção, dado um mesmo número de insumos, eficiência alocativa ou de preço, que busca uma melhor proporção de recursos e insumos, por fim a eficiência geral, que consiste na junção das outras duas eficiências. Para calcular as eficiências, foram levados em conta conceitos desenvolvidos anteriormente, com a análise gráfica da produção e de isoquantas de eficiência. No caso apresentado na Figura 2, as isoquantas e os

cálculos possuem uma orientação para os insumos, além de considerarem um retorno constante de escala.

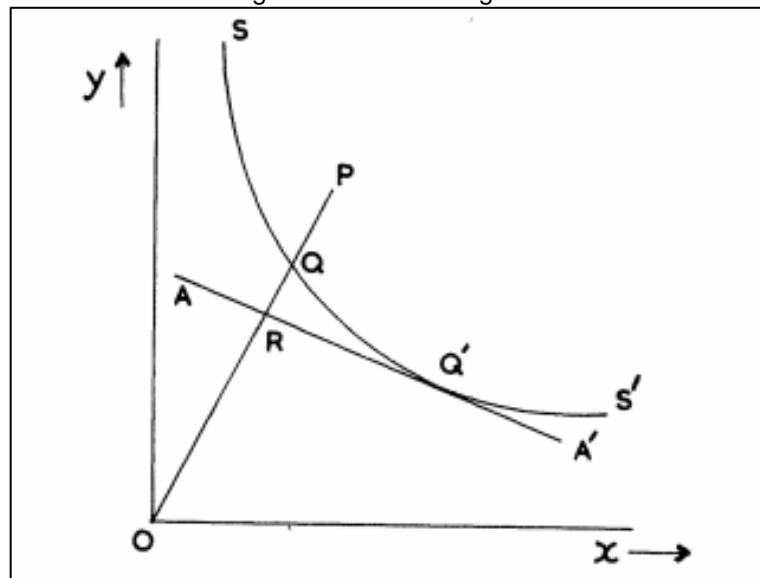
Figura 2 – Eficiência técnica



Fonte: modificado de Albuquerque (1987).

A Figura 2 apresenta duas isoquantas, sendo a isoquanta superior pontilhada, que contém o ponto B, ineficiente. Já a outra isoquanta, que possui os pontos B' e B'', é a que possui maior eficiência técnica, portanto todos os pontos acima dela são ineficientes e todos os pontos abaixo, como no caso do ponto A, são inviáveis.

Figura 3 – Eficiência global



Fonte: modificado de Farrell (1957, p.254).

A eficiência técnica consiste na busca pela maior eficiência, dada a mesma proporção entre insumos e produtos. Graficamente ela é a relação entre o ponto a ser

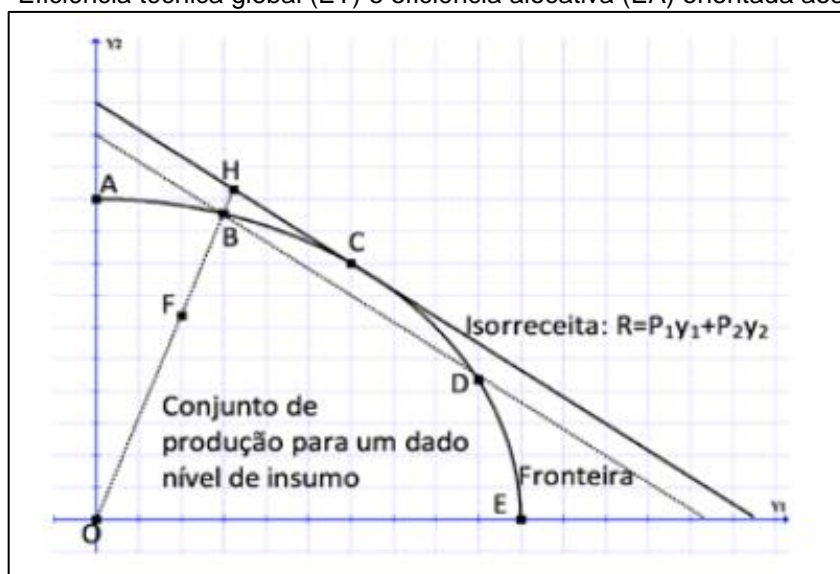
estudado, com a sua projeção na isoquanta, sendo no caso do ponto P da Figura 3, representada pela relação  $OQ/OP$ , o cálculo da eficiência técnica. Os pontos presentes na isoquanta eficiente, como no caso de  $SS'$ , possuem valor de eficiência técnica igual a 1.

A linha  $AA'$  representa e delimita o isocusto, que tangencia a isoquanta no ponto  $Q'$ , que subsequentemente é o que possui o menor custo dentre as combinações do mesmo nível de eficiência. Portanto a eficiência de preço, também chamada de eficiência alocativa, consiste na busca pela proporção mais eficiente na relação entre insumos e produtos. Sendo representada por  $OR/OQ$  para aqueles pontos projetados na isoquanta no ponto  $Q$ , possuindo valor igual a 1 no ponto de tangência, representado por  $Q'$ .

Por fim, foi desenvolvida também a eficiência global, que consiste no cálculo tanto da eficiência técnica, por levar em conta o nível produzido, como a eficiência alocativa, por considerar a proporção na distribuição de insumos e produtos. Seu cálculo no diagrama é representado por  $OR/OP$ . Considerando a isoquanta  $SS'$  como a mais eficiente, o ponto  $Q'$  é o único que possui a eficiência global com o valor de 1, por ser o ponto que tangencia o isocusto na isoquanta de maior eficiência técnica.

Já na orientação produto, apresentada na Figura 4, a concavidade da isoquantas é invertida e a função utilizada como parâmetro para o cálculo da eficiência alocativa deixa de ser o isocusto e passa a ser a isoreceita.

Figura 4 - Eficiência técnica global (ET) e eficiência alocativa (EA) orientada aos produtos.



Fonte: Modificado de Rosano-Peña e Gomes (2018, p.199).

Portanto o ponto A, B, C, D e E são tecnicamente eficientes, por estarem sobre a fronteira de eficiência. O ponto F é ineficiente, por estar abaixo da fronteira e o ponto H é a sua projeção na reta de isoreceita. C é o ponto que apresenta a maior receita ao ser o que possui maior eficiência tanto técnica por estar na isoquanta eficiente, como alocativa, por tangenciar a isoreceita, assim possuindo uma eficiência global igual a 1.

Para serem calculados os valores de eficiência nas orientações de insumo e produto, considerando produção constante e variável de escala, será usado a *Data Envelopment Analysis* (DEA), que é uma técnica não paramétrica, que calculará a eficiência de acordo com os pontos mais eficientes da amostra, que serão, portanto, considerados como a fronteira de eficiência. Seguindo o DEA, serão utilizados os modelos CCR e BCC, para a produção com retornos constantes à escala e variáveis, respectivamente.

## **2.7 Outliers**

O modelo DEA passou a ser amplamente estudado, porém foram observados alguns pontos em que ele poderia trazer falhas, ou complicações de análise. Segundo levantado por Mehdiloozad e Roshdi (2014), um problema presente no DEA é que por se tratar de um modelo não-paramétrico, seus resultados são relativos a amostra que está sendo avaliada, portanto a presença de *outliers* pode trazer resultados distorcidos em relação à fronteira de eficiência e conseqüentemente as unidades ineficientes irão possuir um valor de eficiência ainda menor do que deveriam possuir. Para resolver essas questões, diversos métodos foram desenvolvidos, dentre eles surgiu o método da supereficiência.

Os *outliers*, segundo Banker e Chang (2006), são unidades que possuem valores muito extremos, podendo ser tanto nos *inputs*, como nos *outputs*, possivelmente causados por erros de mensuração. Por conta disso, eles distorcem os valores calculados pelo DEA, porque caso constituam a fronteira de eficiência, eles irão trazer uma grande influência sobre os resultados de eficiência obtidos por outras unidades. Devido aos problemas causados pelos *outliers*, eles devem ser identificados e descartados da análise.

### 3 METODOLOGIA

Como metodologia utilizada neste trabalho, foi escolhido a análise quantitativa da eficiência com base no Censo Agropecuário do IBGE de 2017, seguindo a metodologia de DEA, com a aplicação de seus modelos clássicos CCR e BCC, encontrando os escores de eficiência dos municípios, considerando a existência ou não de eficiência de escala. Também será aplicado o procedimento BG, desenvolvido por Banker e Gifford (1988), em que é calculado uma supereficiência, que será utilizada para a identificação e eliminação de *outliers*.

#### 3.1 Coleta de dados

Para calcular a eficiência dos municípios brasileiros através do DEA, é preciso de uma fonte segura que conseguirá todos os dados disponíveis, portanto serão usados os dados coletados no Censo Agropecuário de 2017, realizado pelo Instituto brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo estes os dados mais recentes e confiáveis a respeito da produção agropecuária brasileira. Por se tratar de um estudo sobre todos os municípios do Brasil, as unidades analisadas serão cada um dos municípios brasileiros, que possuirão cada um cinco *inputs* e dois *outputs*.

O primeiro *input* é a área total em hectares correspondente a agropecuária, que leva em consideração tanto a área utilizada para a produção, como a área construída, como a área que não é utilizada. A área total está ligada à eficiência, pois quanto maior a área total de um município, maior é sua capacidade de produção. Outros trabalhos da literatura utilizaram como insumo apenas área direcionada para a produção, porém em um contexto de ecoeficiência, se busca considerar a área total das propriedades do município, pois isso inclui outras áreas de vegetação natural, pois deve-se buscar minimizar o uso destas áreas.

Como segundo *input* utilizado foi o total de salários pagos para os trabalhadores do agronegócio nas propriedades dentro de cada município, que servem como base não só de quanto dinheiro é gasto, mas também para se ter uma dimensão de quantos trabalhadores se tem em cada município, ou se são trabalhadores mais remunerados. De forma eficiente, se busca reduzir os gastos com salários mantendo-se o patamar de produção.



O terceiro insumo estudado foram os gastos com combustíveis e lubrificantes, que são utilizados para se ter uma dimensão da quantidade de máquinas utilizadas na produção. Foi cogitado utilizar o número de máquinas, porém o número absoluto poderia trazer um viés, já que existem propriedades que possuem muitas máquinas, porém máquinas pequenas e talvez mais antigas, que conseqüentemente não possuem o mesmo peso que máquinas grandes e modernas possuem para a produção, que conseguem, portanto, ser mais eficientes.

Como quarto insumo, foi escolhido o total gasto com agroquímicos e alimentação. Esse total corresponde a soma dos valores de agrotóxicos, adubos e fertilizantes, medicamentos, sal, ração e outros suplementos. Esses são valores adequados para avaliar a eficiência, pois são valores que variam muito de acordo com a produção, podendo ser interessantes de se observar quando são economizados e consegue se manter a produção, assim como no caso contrário, quando são utilizados com excesso, podendo causar redução na produção total e conseqüentemente na eficiência.

O quinto insumo utilizado foi o de outras despesas, que consiste no total de despesas, menos o somatório do segundo, terceiro e quarto insumos. Assim, pode-se saber de forma generalizada quanto de dinheiro é gasto para que os municípios produzam.

Já como produtos, o primeiro a ser escolhido foi a produção total, que é a variável mais utilizada na literatura, já que é o resultado econômico trazido pelas propriedades rurais. Esse valor engloba toda a produção pecuária, vegetal, da pesca, floricultura, agroindústria e de outros segmentos do agronegócio. A maximização das receitas, portanto, é uma forma de se aumentar a eficiência.

Também foi escolhido como outro produto o total de área preservada, que representando os serviços ambientais, sendo um *output* desejado no contexto da ecoeficiência, já que deve-se buscar alcançar a maior preservação possível dos biomas brasileiros. Esta variável é o somatório dos valores de: Matas ou florestas - matas ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal; Matas ou florestas - matas e/ou florestas naturais; e Matas ou florestas - florestas plantadas. Sendo este somatório utilizado para o cálculo da ecoeficiência, pode-se, portanto, averiguar o quanto de área preservada os municípios conseguem manter

além da produção, assim o cálculo não irá favorecer os municípios com pouca responsabilidade ambiental, mas sim aqueles que conseguem produzir e manter a natureza dos biomas.

### 3.2 Modelo Charnes, Cooper e Rhodes

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolverem o método de DEA, para calcular a eficiência de unidades, que passou a ser conhecido como método CCR. As unidades chamadas em inglês de Decision Making Units (DMU's), são os indivíduos/ empresas/ municípios/ etc. objetivos de pesquisa que serão submetidos ao método para o cálculo da eficiência. Cada DMU, portanto, terá seus valores se múltiplos *inputs* (insumos), retratados por 'x', e múltiplos *outputs* (produtos), retratados por 'y', para ser calculada a eficiência da unidade. Este método leva em consideração que os limites de eficiência alcançados não se alteram com o aumento da escala de produção, portanto possui um retorno constante. Sendo calculada pela Equação (1).

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$$

Cada tipo de insumo e produto possuirá um peso atribuído, que será calculado e representado por 'v' nos insumos e por 'u' nos produtos. Eles indicam a importância de cada uma dessas variáveis para a eficiência de cada DMU. O 'i' e o 'r' correspondem a um insumo e produto específicos e o 'j' corresponde a uma DMU específica.

A representação do cálculo de eficiências da Equação (1) representa uma visão orientada para os produtos, pensando que para alcançar a maior eficiência pode ser mantida a mesma distribuição de insumos, mas buscando uma maior produção. Também pode ser usado o modelo para uma visão orientada aos insumos, em que se busca representar uma produção com os mesmos produtos, porém sendo reduzido o número de insumos utilizados, sendo representado pela Equação (2).

$$\min f_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (2)$$

Sujeito a:

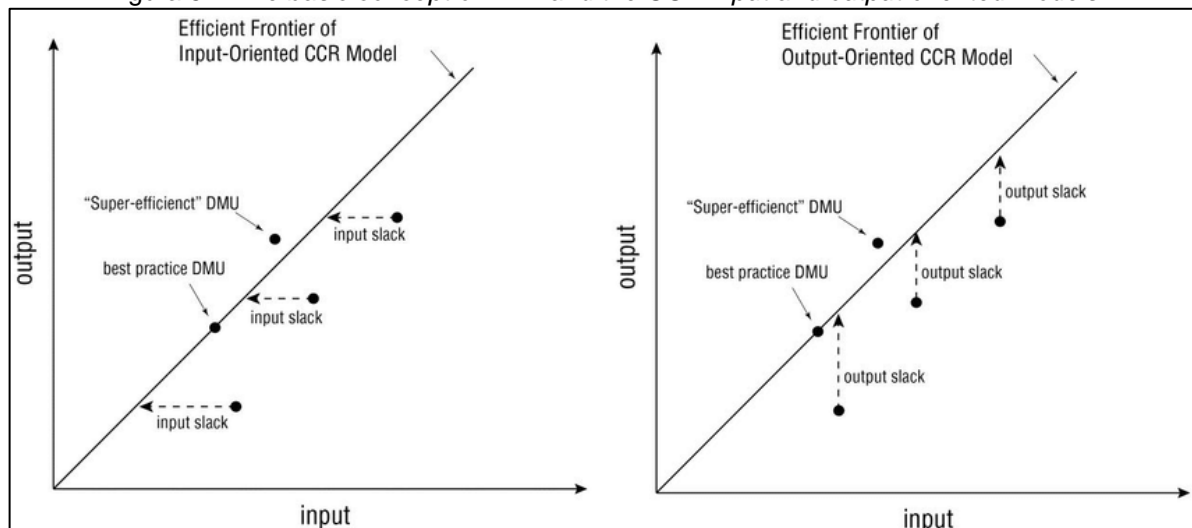
$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$v_i, u_i \geq 0.$$

Ao comparar as duas orientações, pode-se perceber, portanto, que a orientação produto, possui um valor menor ou igual a 1, sendo que quanto maior é o seu valor, mais eficiente é a unidade analisada, já na orientação insumo o valor de eficiência é superior ou igual a 1, sendo mais eficiente quanto menor o valor. Em ambos os casos, quando a eficiência for igual a 1, significa que a unidade é eficiente, estando, portanto, contida na fronteira de eficiência. Portanto como o valor da eficiência na orientação insumo no modelo CCR é igual ao inverso da eficiência na orientação produto, será utilizado apenas o valor da orientação produto nas análises.

A matriz correspondente à soma do valor de cada insumo multiplicado pelo seu peso é representada por 'X' e a soma do valor de cada produto multiplicado por seu peso é representada por 'Y'. Ambas as matrizes, assim como a fronteira de eficiência são dadas em forma gráfica na Figura 5.

Figura 5 – The basic concept of DEA and the CCR input and output oriented models



Fonte: modificado de Leung, Burke, Yen e Cui (2016, p.9).

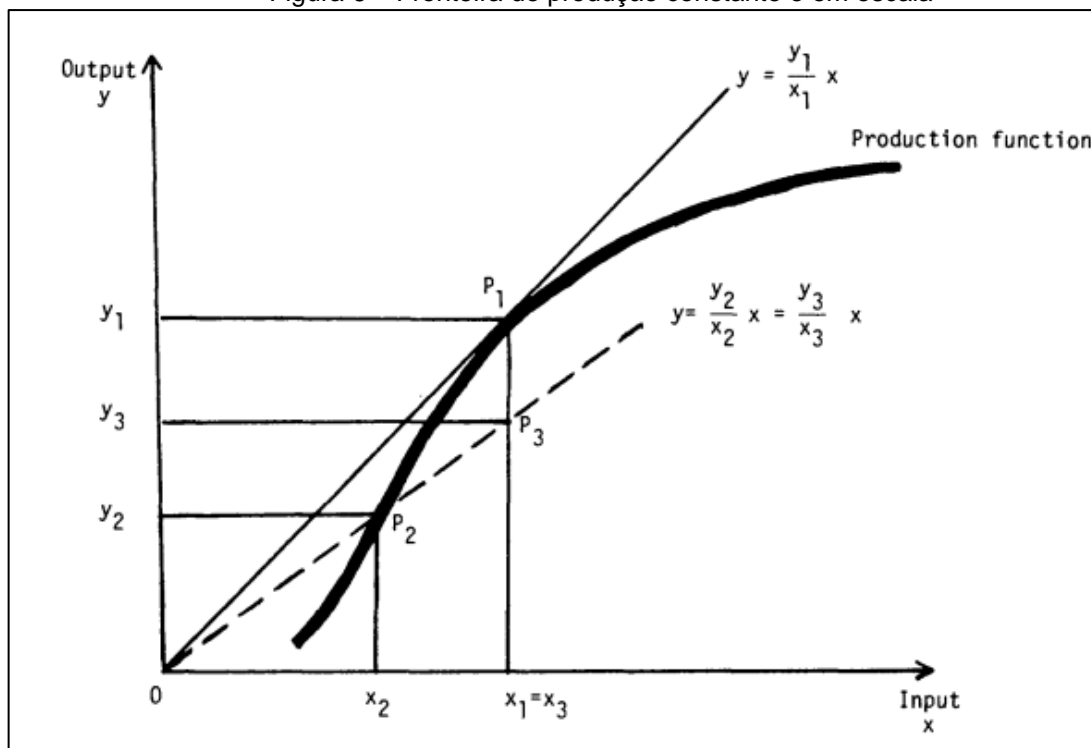
A reta representa a fronteira de eficiência, que segue um comportamento como uma produção com retorno constante, em que todos seus pontos são eficientes.

Todos os pontos abaixo da fronteira são ineficientes e os pontos acima são os considerados *outliers* (desconsiderados na construção da fronteira), que devem ser estudados individualmente, por possuírem um comportamento totalmente diferente de outras unidades. No gráfico à esquerda da Figura 5, por se tratar da orientação de *input*, se mantém a produção 'Y' e reduz os insumos 'X'. Já no gráfico à direita, sendo a orientação *output*, se mantém os valores de insumo 'X' e aumenta a produção total 'Y'.

### 3.3 Modelo Baker, Carnes e Cooper

Após o desenvolvimento do método CCR, Banker se juntou a Charnes e Cooper (1984) para formar um novo método, que iria complementar o anterior e levar em conta diferença de eficiência de escala variável. Esse modelo ficou então popularizado como BCC. Assim como o método anterior, o BCC também leva em consideração várias DMU's que possuem seus valores para os diversos insumos e produtos, que serão utilizados para o cálculo da eficiência ao serem atribuídos seus respectivos pesos.

Figura 6 – Fronteira de produção constante e em escala



Fonte: modificado de Banker, Charnes e Cooper (1984, p.1079).

Por levar em conta a eficiência de escala, volumes mais baixos de produção não conseguem chegar ao nível de eficiência máximo se fosse considerado o modelo constante, pois a taxa de crescimento inicial da produção é baixa, porém crescente. O mesmo ocorre quando a produção já está muito elevada, pois nesse caso há um trabalho muito grande de se gerenciar a produção, impedindo de haver a maior eficiência possível, havendo uma taxa de crescimento decrescente. Por conta dessas limitações decorrentes da escala, o valor da eficiência no modelo BCC sempre será pelo menos igual ao valor no modelo CCR, já que a distância para a fronteira de eficiência é reduzida. As fronteiras dos dois modelos acabam coincidindo em casos como o ponto P1 da Figura 6, em que a eficiência em ambos os modelos é igual a 1, já que a produção alcança também eficiência técnica CCR.

Para se calcular a eficiência no modelo DEA utilizando retornos variáveis de escala na orientação insumo, Dourado (2009) segue a Equação (3).

$$\max \sum_{i=1}^n u_r y_{rk} - u_k, \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0$$

$$u_r, v_i \geq 0,$$

$$r = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, N.$$

Se busca maximizar o valor da produção, assim como no modelo CCR, porém possui a adição de uma nova variável  $u_k$ , que representa os retornos variáveis de escala, portanto podendo ser positivo ou negativo, para assim refletir uma eficiência de escala, ou uma ineficiência de escala.

Já o cálculo do BCC seguindo uma orientação para a produção segue as Equação (4).

$$\min h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v_k, \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0$$

$$u_r, v_i \geq 0,$$

$$r = 1, \dots, m;$$

$$i = 1, \dots, n;$$

$$j = 1, \dots, N.$$

Em que se mantém o nível de produção e busca reduzir o número de insumos, assim como no modelo CCR, porém com a adição da variável  $v_k$ , que de forma similar à variável  $u_k$  na orientação *input*, representa o valor dos retornos variáveis de escala.

## 2.7 Supereficiência

A supereficiência foi desenvolvida por Banker e Gifford (1988), conhecido como procedimento BG, e Banker et al. (1989), em que se avaliou a capacidade das DMU's consideradas eficientes de aumentarem os valores de *input* e reduzirem os valores de *output*, ainda se mantendo eficientes. Para o cálculo da supereficiência em relação ao modelo BCC, seguem a Equação (5).

$$\max n_k - 2\lambda_k, \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j Y_j - n_k Y_k \geq 0,$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j X_j \leq X_k,$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1,$$

$$n_k, \lambda_j \geq 0.$$

Assim, o valor da supereficiência corresponde a  $1/n_k$  em uma situação ótima em que  $\lambda_k = 0$ , sendo o cálculo se supereficiência impraticável em uma situação que  $\lambda_k = 1$ . Os valores calculados pela Equação (5) serão ineficientes apenas quando a unidade é ineficiente no modelo BCC, já quando uma unidade é eficiente no modelo BCC, o seu valor de eficiência será maior ou igual a 1. A partir deste modelo padrão de supereficiência, foi analisado a sua aplicação para a definição de *outliers*.

Timmer (1971), desenvolveu um procedimento de eliminação de *outliers* em que descartava uma percentagem das unidades eficientes de forma arbitrária antes de se calcular novamente a eficiência, para assim quando houvesse uma grande diferença nos valores de eficiência encontrados, eram assim definidos os *outliers*. Já Banker e Gifford (1988) aprimoraram esse procedimento, adicionando um critério para a exclusão dessas unidades eficientes, sendo este critério eliminar as unidades que possuam valores de supereficiência superiores ao patamar selecionado pelo pesquisador.

As unidades com maiores valores de supereficiência são consideradas *outliers*, pois quanto maior a distorção no número de *inputs* e *outputs*, maior é o valor de supereficiência, concluindo que o procedimento BG é o ideal para a identificação de *outliers* através da supereficiência. Este método foi testado e comprovado, ao serem utilizadas como limite de supereficiência, eliminando unidades com valores de supereficiência superiores a 1.0, 1.2, 1.6 e 2.0, em que se encontrou uma correlação com a diminuição no número de *outliers*. Os valores de 1.0 e 1.2 possuem uma maior redução no número de *outliers*, porém podem acabar excluindo unidades com altas eficiências e que possuem dados mensurados de forma correta, já ao utilizar os valores de 1.6 e 2.0 como barreiras, fica mais difícil eliminar unidades válidas, porém pode ocorrer de alguns *outliers* permanecerem na amostra. Pelo fato de eliminar apenas os *outliers* mais discrepantes e de manter mais unidades eficientes, para a detecção de *outliers* será utilizada a barreira de 2.0.

Como limitação técnica do software utilizado e dos modelos de DEA, unidades não podem possuir o valor de nenhuma variável igual a zero, portanto para efeitos de cálculo, variáveis nulas serão substituídas pelo valor de "1", assim possibilitando a aplicação dos modelos.

Como os resultados dos modelos CCR e BCC são distorcidos com a presença de *outliers*, primeiramente o procedimento BG será aplicado para detectar e eliminar os *outliers*, até que todos os que estiverem após a barreira de 2.0 de supereficiência sejam descartados. Também serão excluídos municípios considerados eficientes avaliando caso a caso, pois podem possuir valores inconsistentes, como apresentar alguma variável com valor de zero. Após a eliminação de *outliers*, serão calculados os valores de eficiência seguindo os modelos clássicos de DEA, que irão, portanto, gerar as fronteiras de eficiência tanto com retornos constantes, como variáveis de escala, para que então se possa comparar os resultados encontrados em ambas. Como forma de representar graficamente os resultados de eficiência, será criado um mapa do Brasil, em que todos os municípios receberão uma cor de acordo com a classificação do valor de eficiência de cada um.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizaram-se os dados de 5563 municípios brasileiros no que se refere à produção do agronegócio. Destes, 36 considerados eficientes no modelo BCC. Porém, antes de se calcular a eficiência pelos modelos clássicos, estimou-se a supereficiência pelo procedimento BG, com limite de supereficiência definido como 2. Assim, excluíram-se 10 municípios por terem valores muito altos de supereficiência, sendo estes os *outliers*. Também foram excluídos outros 15 municípios por apresentarem dados inconsistentes, como a total ausência de salários pagos, ou gastos com combustíveis, que são valores inalcançáveis para uma produção real, assim sendo excluídos, para não serem utilizados como base para se calcular a eficiência de outros municípios, assim reduzindo a possibilidade de distorção.

Dentre as unidades restantes, pode-se entender a dimensão da produção nos municípios brasileiros, representada na Tabela 1. Percebe-se que todas as variáveis possuem média superior às medianas, o que nos faz concluir que grandes propriedades, apesar de serem uma pequena parcela no número total de propriedades rurais, possuem valores muito alto de área total, gastos com salários, valor da produção e demais variáveis, assim puxando a média para o alto.

Tabela 1 - Resultado das variáveis

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Área total (hectares)	62.425,42	24.598,50	123.519,42	2.462.092,00	18,00
Salários pagos (R\$)	8.690.248,65	3.140.000,00	18.784.058,25	250.984.000,00	8.000,00
Combustíveis e lubrificantes (R\$)	4.277.964,43	1.486.000,00	17.311.089,77	1.107.997.000,00	2.000,00
Agroquímicos (R\$)	20.950.780,07	6.845.500,00	51.265.535,88	1.004.087.000,00	21.000,00
Outras despesas (R\$)	25.164.014,99	8.258.000,00	61.382.597,39	1.320.992.000,00	0,00
Área preservada (hectares)	17.715,64	4.686,50	46.862,30	962.598,00	0,00
Valor Proução (R\$)	83.883.803,18	34.337.500,00	171.337.535,57	3.248.127.000,00	53.000,00

Fonte: autoria própria.

Após a eliminação dos *outliers*, foram recalculados todos os resultados de eficiência dos municípios, que serão analisados. Seguindo o modelo CCR, portanto com retornos constantes de escala, foram encontradas 23 unidades eficientes, já seguindo o modelo BCC com retornos variáveis, foram encontradas 54 unidades eficientes. Pode-se encontrar os resultados de eficiência na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado das eficiências

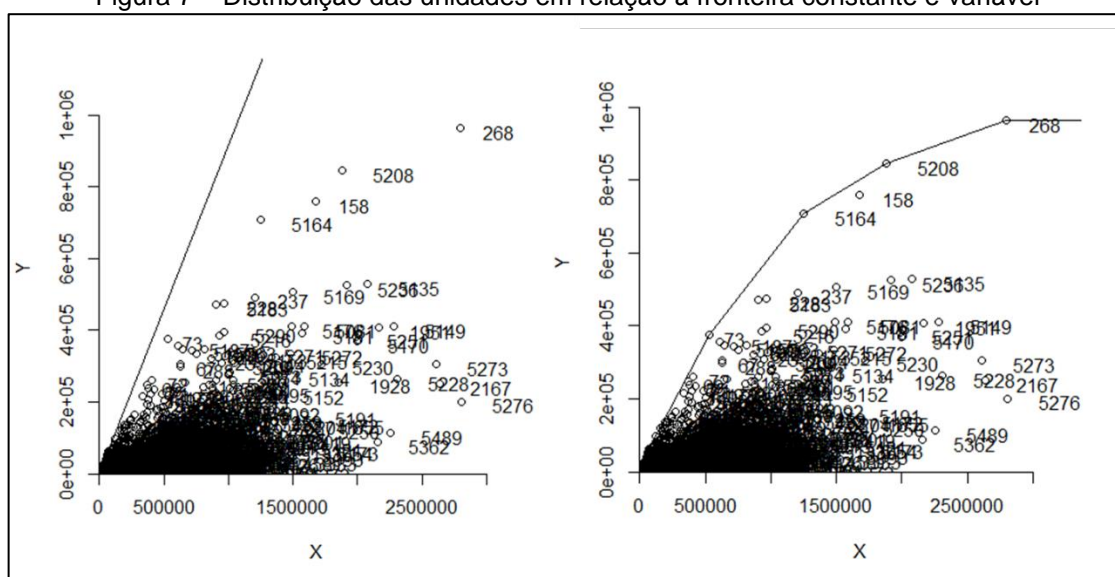
Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Retornos Constantes (CCR)	0,25060	0,20525	0,18535	1,00000	0,00004
Retornos variáveis (BCC) Input	0,26372	0,21097	0,19565	1,00000	0,00492
Retornos variáveis (BCC) Output	0,26322	0,21067	0,19978	1,00000	0,00004
Eficiência de escala	0,94689	0,99478	0,16271	1,00000	0,00032

Fonte: autoria própria.

Primeiramente, pode-se observar pela eficiência de escala, com média de 0,95 e mediana de 0,99, que a maioria dos municípios é eficiente em relação à distribuição de insumos e produtos no Conjunto de Possibilidades de Produção. Por conta disso, pode-se afirmar que a ineficiência apresentada nos municípios é por conta da ineficiência técnica. Pelo mesmo fator, os valores de eficiência decorrentes dos modelos CCR e BCC são muito similares. Também são observados resultados similares nas orientações insumo e produto, por conta disso será utilizada apenas a orientação insumo a partir daqui para comparar os dois modelos.

Foram então delimitadas as fronteiras de produção para as unidades, seguindo retornos constantes e variáveis de escala, em que se percebe que unidades consideradas ineficientes ao observar retornos constantes, passam a ser eficientes na visão de retornos variáveis. Além disso, unidades que permaneceram ineficientes passaram a ficar mais próximas à fronteira, sendo assim mais eficientes. A distribuição das unidades em um gráfico com as matrizes insumo ponderado e produto ponderado ocorrem como apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Distribuição das unidades em relação à fronteira constante e variável

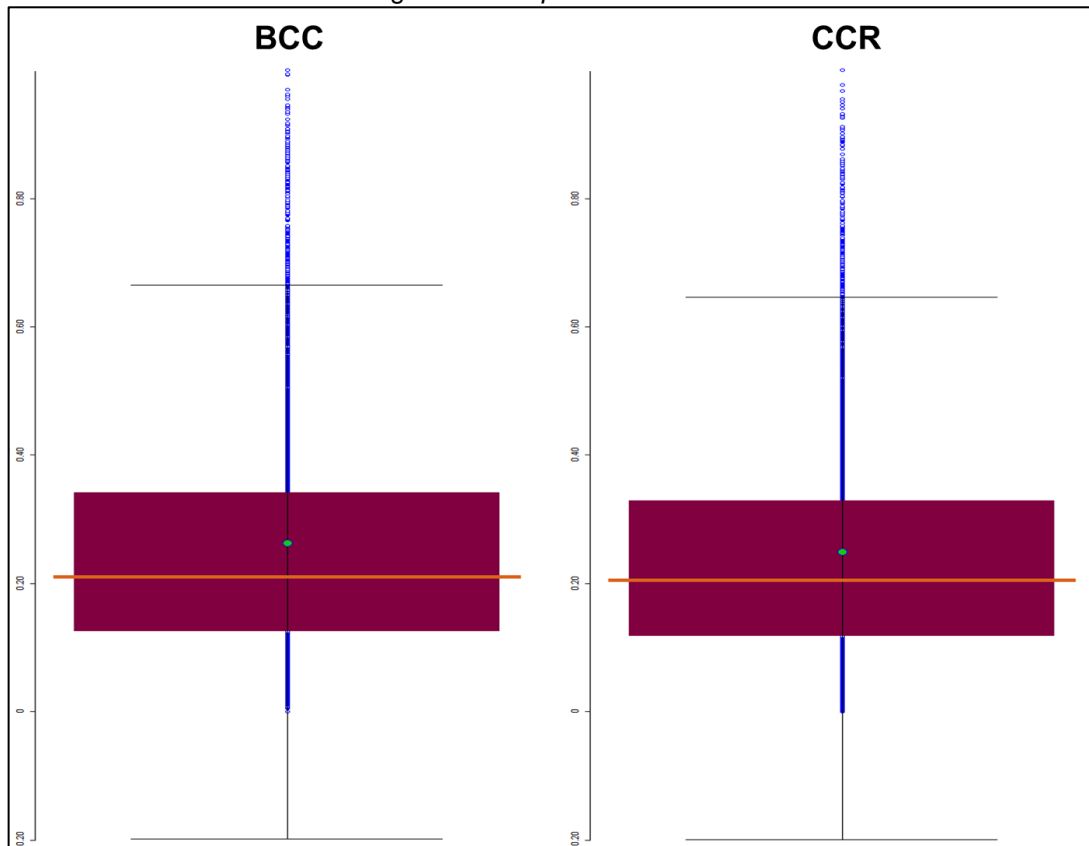


Fonte: autoria própria.

As unidades com alta produção eficientes no modelo BCC, porém não eficientes no modelo CCR, possuem uma alta ineficiência de escala. Porém, essa ineficiência de escala não se traduz para o total da população, por possuírem valores de produção mais baixos, assim tomando como referência para o cálculo de eficiência pontos que se encontram mais próximos da fronteira de eficiência constante, assim tornando a eficiência de escala média bem elevada.

Para analisar a distribuição das unidades em relação à eficiência, pode-se utilizar o gráfico *Boxplot* (Figura 8), que apresenta a distribuição dos escores.

Figura 8 – *Boxplot* BCC e CCR



Fonte: autoria própria.

No gráfico à esquerda da Figura 8, pode-se observar a distribuição das eficiências seguindo retornos variáveis de escala e na direita, seguindo retornos constantes de escala. Evidentemente, pela natureza dos modelos, os valores seguindo retornos variáveis são iguais ou maiores que os valores com retornos constantes. Por conta disso, os valores de média, quartis e mediana do modelo BCC são todos superiores aos valores do modelo CCR, porém a diferença é muito pequena em geral, o que torna as duas distribuições quase idênticas, que se devem ao fato da

eficiência de escala ser bem elevada, o que torna os valores dos dois modelos bem similares.

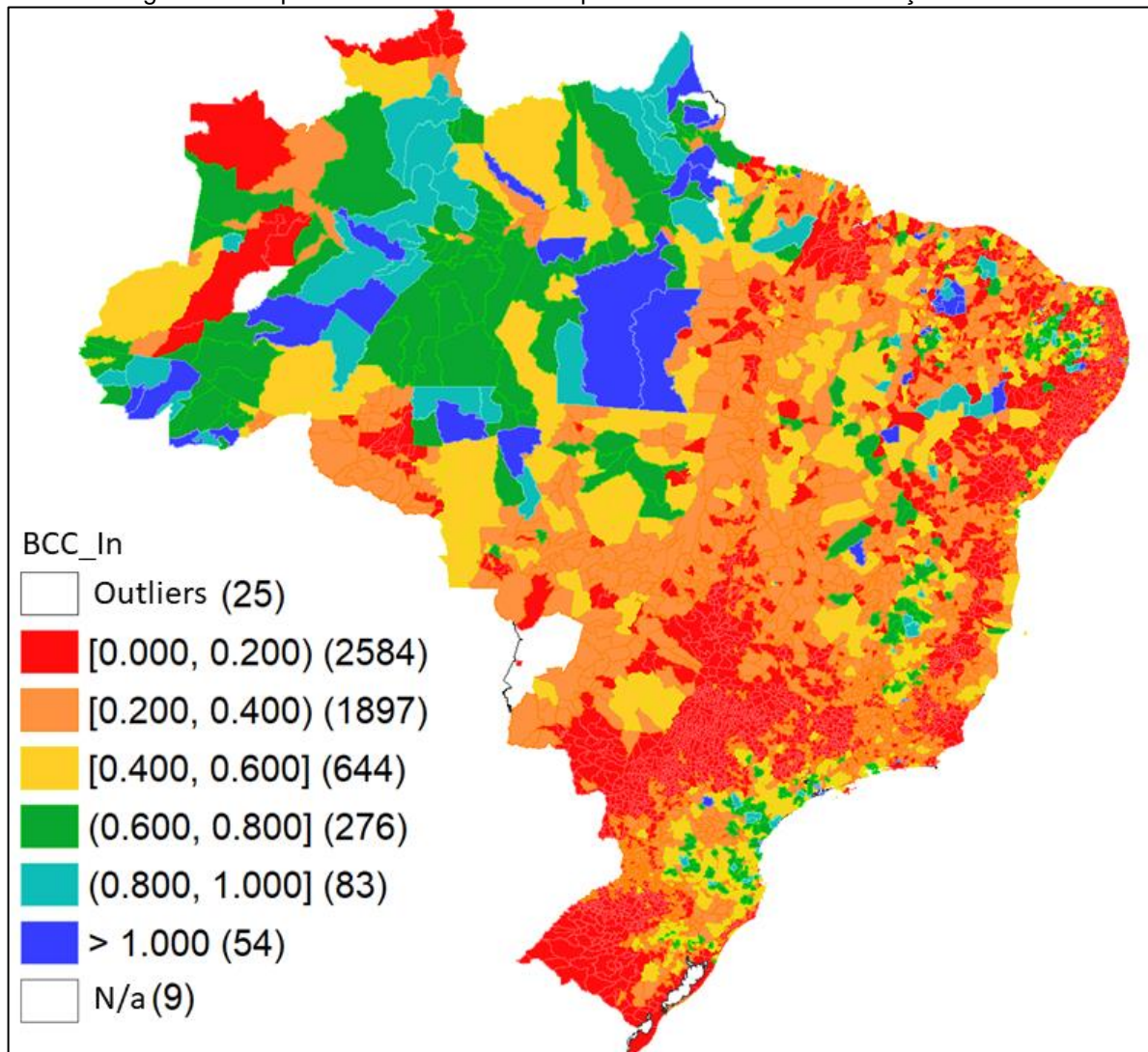
Observando-se esses valores, nota-se que em geral os municípios são muito ineficientes, sendo 75% do total, cerca de 4.100, com eficiência abaixo de 0,34, que são valores muito baixos, ao considerar que existem municípios eficientes, que, portanto, possuem a capacidade de produzir cerca de 3 vezes esse valor, utilizando a mesma quantidade de insumos.

Segundo a própria forma do *Boxplot*, é delimitado um limite superior, que leva em conta os valores dos quartis, sendo então as unidades acima deste limite consideradas *outliers*, porém caso fosse seguir este procedimento, unidades com eficiência acima de 0,67 deveriam ser desconsideradas, o que representam mais de 5% dos municípios, causando uma grande distorção nos valores.

Agora, para entender melhor a distribuição dos municípios em relação à eficiência, segundo o modelo BCC, pode-se representar os resultados em um mapa (Figura 9). Em branco estão representados os municípios *outliers* que foram eliminados anteriormente (25), além de outros municípios que não estavam presentes nos dados do censo agropecuário (9). Em azul escuro estão os municípios considerados eficientes, além de outras cinco cores que representam diferentes intervalos de eficiência, até o vermelho, que representa os municípios com maior ineficiência.

Assim percebe-se que os municípios eficientes estão em grande parte na região Norte, assim como os municípios com baixa ineficiência (0.8 : 1). Esses grupos de municípios eficientes estão presentes principalmente nos estados do Pará, Amazonas, Acre e Amapá, todos parte do bioma amazônico. Essa alta eficiência se dá pela natureza do cálculo utilizado, que também calcula a ecoeficiência, por trazer como insumo área total e como produto a área preservada. Esses municípios possuem uma grande quantidade de área preservada, que se dá pelo fato de que essa região possui legislações para que cada produtor mantenha uma parcela de suas terras preservadas. A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 exige que os produtores nos municípios presentes na região da Amazônia Legal devem manter 80% de suas terras como área preservada, para manter o bioma vivo, assim, reduzindo o impacto ambiental da produção agropecuária na região.

Figura 9 – Mapa do Brasil em eficiência pelo modelo BCC na orientação insumo



Fonte: autoria própria

Outros municípios eficientes são encontrados nas demais regiões brasileiras, porém de forma dispersa, exceto no Piauí, onde há um grupo de 11 municípios eficientes, além de dois com baixa ineficiência. Eles estão presentes em um raio de 115 Km e se destacam por possuírem uma grande área preservada em relação ao total. Já com eficiência média (0.4 : 0.8), é encontra uma grandes concentrações de municípios na região Norte, no interior do nordeste, no estado do Mato Grosso, além de Santa Catarina e litorais de Paraná e São Paulo.

Já entre as regiões com menor eficiência, destaca-se grande parte do estado do Rio Grande do Sul, um conglomerado de municípios entre os estados do Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Goiás. Também há uma concentração de municípios ineficiente no estado do Maranhão, além de uma grande faixa que parte

do Rio Grande do Norte, percorrendo todo o litoral Leste nordestino, até chegar no Rio de Janeiro, além de englobar parte de Minas Gerais. Todas essas regiões ineficientes de acordo com nosso modelo aplicado são causadas pelo fato de serem áreas mais povoadas, principalmente em comparação com o bioma amazônico, portanto possuem uma maior produção agropecuária e uma menor quantidade de áreas preservadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na aplicação realizada, conclui-se que os valores encontrados seguindo os métodos CCR e BCC são bem similares, além do fator que a eficiência de escala foi muito elevada, portanto, os baixos valores de eficiência encontrados se dão por conta da ineficiência técnica apresentada pelos municípios. A região Norte, portanto, foi a que mais se destacou ao apresentar altos índices de ecoeficiência, resultado de políticas para a preservação ambiental, que mantém o bioma preservado. Também se evidenciou que as regiões Centro-Oeste e Sudeste, que possuem alto valor de produção não foram tão eficientes por conta dos baixos índices de preservação.

Levando em conta a população estudada, que são mais de 5.500 municípios, apenas 54 destes, o que representa menos de 1%, foram eficientes, reflete como a produção brasileira apesar de ser uma das maiores do mundo, possui a capacidade de crescer ainda mais, além da possibilidade de manter terras preservadas em maior quantidade do que atualmente, pois o desmatamento cresce para dar espaço ao agronegócio, mas pode ser combatido com produções mais eficientes.

Este estudo conseguiu aplicar os métodos clássicos de DEA para avaliar a eficiência da produção agropecuária em todos os municípios brasileiros, diferenciando este trabalho por ser um dos primeiros a utilizar os dados mais recentes do Censo Agropecuário do IBGE de 2017, além de medir uma ecoeficiência. Tendo em vista que o modelo DEA é não paramétrico, todos os resultados obtidos são apenas relativos aos dados utilizados, portanto existe a possibilidade de haver algumas distorções, que em parte foram reduzidas com a exclusão de *outliers*, mas que também poderiam ser evitadas ao aplicar métodos de reamostragem com variáveis determinantes, como por exemplo o modelo tobit.

Uma alternativa para trabalhos futuros seria a aplicação de técnicas de *bootstrap* para que se possa avaliara a interferência de variáveis exógenas à produção, que se correlacionam às produções mais eficientes, ou mais ineficientes, para assim se ter maior direcionamento de como atingir altas eficiências. Também poderia ser feita uma análise de eficiência do Censo anterior, de 2006, para que assim se pudesse comparar os valores encontrados entre os anos e descobrir as regiões

que melhor desenvolveram sua eficiência, além da possibilidade de atrelar a variáveis determinantes.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M.C.C. **Estrutura fundiária e reforma agrária no Brasil**. Revista de Economia Política, v.7, n.3, julho-setembro, p.99-134, 1987.
- ALMEIDA, Paulo Nazareno Alves. **Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006**. 2012. Tese (Doutor em Ciências de Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2012.
- BANKER, R.D., CHANG, H. **The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units**. Eur. J. Oper. Res. 175, 1311-1320 (2006).
- 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.
- BANKER, R.D., DAS, S., DATAR, S.M. **Analysis of cost variances for management control in hospitals**. Res. Gov. Nonprofit. Account. 5, 268–291, 1989.
- BANKER, R.D., GIFFORD, J.L. **A relative efficiency model for the evaluation of public health nurse productivity**. Carnegie Mellon University, School of Urban and Public Affairs: Pittsburgh, 1988.
- BARBOSA, Wescley de Freitas; SOUSA, Eliane Pinheiro de; AMORIM, Airton Lopes; CORONEL, Daniel Arruda. **Eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileiras e seus determinantes**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 43, n. 11, p. 2115-2121, 2013.
- BARRETO, P.; SOUZA JR., C.; ANDERSON, A.; SALOMÃO, R.; WILES, J. & NOGUERON, R. **Pressão humana na floresta amazônica brasileira**. Imazon, WRI, Greenpeace. Belém, Pará, 2005.
- CAMPOS, S.A.C.; FERREIRA NETO, J.A. **Eficiência técnica dos produtores de leite em assentados rurais da reforma agrária**. Revista de economia e agronegócio, Viçosa, v.6, n.3, p.395-414, 2008.
- CARVALHO, Jaqueline Bonfim de; PANOSSO, Alan Rodrigo; SABBAG, Omar Jorge; TARSITANO, Maria Aparecida Anselmo. **Desempenho da produção agropecuária dos municípios pertencentes ao Escritório de Desenvolvimento Rural de Andradina, SP, Brasil**. Interações, Campo Grande, MS, v. 18, n. 2, p. 171-184, 2017.
- CHAMES, A., COOPER, W.W., & RHODES, E. (1978). **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.

CONSTANTIN, P.D.; MARTIN, D.L.; RIVERA, E.B.B. de R. y. **Cobb-Douglas, translog stochastic production function and data envelopment analysis in total factor productivity in brazilian agribusiness**. Journal of operations and supply chain management, São Paulo, v.2, n. 2, p.20-34, dec. 2009.

DEBREU, G. **The coeficient of resource utilization**. Econometrica, Malden, v.19, n.3, p.273-292, jul. 1951.

DOURADO, Afonso. **Aplicação da Data Envelopment Analysis na determinação da eficiência empresarial em ambientes colaborativos**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

EREDIA, Beatriz; PALMEIRA, Moacir; LEITE, Sergio Pereira. **Sociedade e economia do "agronegócio" no Brasil**. Revista brasileira de ciências sociais, São Paulo, v. 25, ed. 74, p. 159-176, 29 set. 2010.

FÅRE, R. et al. **Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach**. Review of Economics and Statistics, v. 75, p. 90-98, 1989.

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

GOMES, A.P. **Impactos das transformações da produção de leite no número de produtores e requerimentos de mão de obra e capital**. 1999. 161p. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

GOMES, E. G.; et al. **Efficiency and sustainability assessment for a group of farmers in the Brazilian Amazon**. Annals of Operations Research, v.169, p. 67-181, 2009b.

GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A. de C.; MELLO, J.C.C.B.S. de. **Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso**. Revista de economia e sociologia rural, Brasília, v.43, n.4, p.607-631, out./dez. 2005.

GONÇALVES, R.M.L.; VIEIRA, W. da C.; LIMA, J. E de L.; GOMES, S.T. **Analysis of technical efficiency of milk-producing farms in Minas Gerais**. Economia aplicada, Ribeirão Preto, v.12, n.2, p.321-335, abr./jun. 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Comércio exterior de produtos do agronegócio: Balanço de 2020 e perspectivas para 2021**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/category/agropecuaria/>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

IRÁIZOZ, B.; RAPÚN, M.; ZABALETA, I. **Assessing the technical efficiency of horticultural production in Navarra, Spain.** *Agricultural systems*, Amsterdam, v. 78, n.3, p.387-403, Dec. 2003.

KOOPMANS, T. C. **An analysis of production as an efficient combination of activities.** In Koopmans, T. C. (Ed.): *Activity Analysis of Production and Allocation*, Proceeding of a Conference, pp.33-97, John Wiley and Sons Inc., London, 1951.

KRETER, Ana Cecília; PASTRE, Rafael; FILHO, Guilherme Soria Bastos. **Comércio exterior de produtos do agronegócio: Balanço de 2020 e perspectivas para 2021.** *Carta de Conjuntura IPEA*, [s. l.], v. 29, ed. 50, 31 mar. 2021.

LEUNG, A.; BURKE, M.; YEN, B.; CUI, J. **Oil vulnerability of Australian capital cities: a pilot study using Data Envelopment Analysis (DEA) for vulnerability benchmarking.** *Australian Transport Research Forum*, 2016.

MAGALÃES, K.A.; CAMPOS, R.T. **Eficiência técnica e desempenho econômico de produtores de leite no Estado do Ceará, Brasil.** *Revista de economia e sociologia rural*, Brasília, v.44, n.4, p.695-711, out./dez. 2006.

MARIANO, J.L.; PINHEIRO, G.M.T.L. **Eficiência técnica da agricultura familiar no projeto de irrigação do Baixo Açu (RN).** *Revista econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.40, n.2, p.283-296, abr./jun. 2009.

MEHDILOOZAD, M.; ROSHDI, I. **Analysing the concept of super-efficiency in data envelopment analysis: A directional distance function approach.** *Arxiv: Optimization and Control*, Iran, 2014.

ROSANO-PEÑA, Carlos; GOMES, Eduardo Bráz Pereira. **Eficiência e produtividade no setor público: conceitos e medidas.** In: MADURO-ABREU, Alexandre (Org.). *Gestão judiciária: conteúdos e disciplina*. Brasília: Editora IABS, 2018. p. 188-249.

RUSLAN, Siti Marsila Mhd. **Efficiency for Agro-Based Industrial Sub-Sector in Malaysia Using Data Envelopment Analysis (DEA).** *Academy of Strategic Management Journal*, Malaysia, v. 18, n. 6, 2019.

SANTOS, J.A. dos; VIEIRA, W. da C.; BATISTA, A.J.M. dos S. **Eficiência técnica na produção de leite em pequenas propriedades da microrregião de Viçosa, MG.** *Revista de economia e agronegócio*, v.2, n.2, p.261-290, 2004.

SHARMA, K. R; LEUNG, P.S; ZALESKI, H.M. **Technical, allocative and economic efficiencies in swine production in Hawaii: a comparison of parametric and nonparametric approaches.** *Agricultural economics*, Malden, v.20, n.1, p.23-35, jan. 1999.

SHERLUND, S.M.; BARRETT, C.B.; ADESINA, A.A. **Smallholder technical efficiency controlling for environmental production conditions**. Journal of development economics, Amsterdam, v.69, n.1, p.85-101, oct. 2002.

SILVA, J.L.M. da. **Ineficiência técnica e desperdício de água na fruticultura irrigada no Vale do São Francisco**. In: Congresso brasileiro de economia e sociologia rural, 39., 2001. Recife. Anais... Brasília: Sober, 2001. 1 CD-ROM.

SILVA, R.G. da; FERREIRA JÚNIOR, S. **Eficiência técnica: uma análise comparativa entre Acre e Rondônia**. In: Congresso brasileiro de economia e sociologia rural, 40., 2002. Passo Fundo. Anais... Brasília: Sober, 2002. 1 CD-ROM.

SOUZA, D.P.H. de. **Avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. 2003. 136p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TIMMER, C.P. **Using a probabilistic frontier production function to measure technical efficiency**. Journal of Political Economy 79, 776–794, 1971.

VICENTE, J. R. **Economic efficiency of agricultural production in Brazil**. Revista de economia e sociologia rural, Brasília, v.42, n.2, p.201-222, abr/jun. 2004.

WBCSD, World Business Council For Sustainable Development. **Eco-efficiency. Creating more value with less impact**. WBCSD, Geneve. 2000.