

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENAN FELIPE ALVES FERREIRA

**EFICIÊNCIA DA PRODUTIVIDADE NOS MUNICÍPIOS PRODUTORES DE SOJA
NO BRASIL (2015-2019): UMA ABORDAGEM UTILIZANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

LONDRINA
2023

RENAN FELIPE ALVES FERREIRA

**EFICIÊNCIA DA PRODUTIVIDADE NOS MUNICÍPIOS PRODUTORES DE SOJA
NO BRASIL (2015-2019): UMA ABORDAGEM UTILIZANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

**Productivity efficiency in brazilian soy-producing municipalities (2015-2019):
an approach using data envelopment analysis (dea)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Rogério Tondato.

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RENAN FELIPE ALVES FERREIRA

**EFICIÊNCIA DA PRODUTIVIDADE NOS MUNICÍPIOS PRODUTORES DE SOJA
NO BRASIL (2015-2019): UMA ABORDAGEM UTILIZANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 21 de novembro de 2023

José Angelo Ferreira
Doutorado
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Silvana Rodrigues Quintilhano Tondato
Doutorado
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Rogério Tondato
Doutorado
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LONDRINA

2023

Dedico este trabalho à Deus e toda minha família,
pelo incentivo sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por sempre me amparar em todos os momentos, iluminando e indicando sempre o melhor caminho.

Aos meus pais, Ormino e Aldelina, por toda força, amor, carinho, parceria, apoio e incentivo, sempre me suportando nos momentos mais difíceis sendo minha base.

Aos meus irmãos, Ruan e Rian, pelo apoio, que sempre que possível, me deram.

Ao meu orientador, professor Rogério Tondato, por toda atenção e prestatividade em meio a toda essa correria. Gratidão!

À UTFPR, todos funcionários e professores meus agradecimentos.

Aos meus amigos, que mesmo distante me acompanharam nessa jornada.

Aos meus amigos e companheiros do curso de Graduação, mas em especial a Rayanne e o Vinícius, por sempre me apoiarem nos momentos difíceis e, principalmente, motivarem a sempre continuar em frente.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento!

“Não há nada tão inútil quanto fazer
eficientemente o que não deveria ser feito.”
(DRUCKER, 1963)

RESUMO

A soja tem sido a principal cultura agrícola do país e a expansão do setor de óleo combinada com o desenvolvimento de novas tecnologias impulsionou o cultivo da soja. Diante de tamanha relevância e crescimento, a produção acaba exigindo cada vez mais níveis de eficiência. Diante disso, este trabalho investiga a eficiência da produção de soja nos principais municípios brasileiros entre 2015 e 2019, empregando o modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) no formato CCR. Para alcançar este objetivo, foram adotadas técnicas de pesquisa quantitativa, envolvendo a coleta e análise de dados de produção de soja em diferentes municípios. A metodologia empregada permitiu uma avaliação comparativa da eficiência produtiva nas unidades analisadas, destacando os *scores* de desempenho e identificando cidades para melhoria. A eficiência "dentro da fazenda" variou ao longo do período estudado, com algumas cidades mantendo altos níveis de eficiência e outras mostrando flutuações significativas. Os resultados indicam uma eficiência média ponderada de 0,86 nas cidades analisadas, indicando uma margem substancial para melhoria. O que significa que é possível reduzir em aproximadamente 14 % dos custos com insumos sem comprometer a produção. As cidades com níveis de eficiência próximos ao máximo representam um *benchmark* para outras seguirem. A transferência de conhecimento das cidades mais eficientes para as menos eficientes é proposta como uma solução viável para reduzir disparidades. A análise operacional "dentro da fazenda" é ressaltada como um indicador crítico do sucesso na produção de soja, essencial para a melhoria contínua da agricultura no Brasil.

Palavras-chave: Soja; Eficiência; Análise Envoltória de Dados; Agricultura.

ABSTRACT

Soybean has been the primary agricultural crop in the country, and the expansion of the oil sector combined with the development of new technologies has boosted soy cultivation. Given its significant importance and growth, production increasingly demands higher levels of efficiency. In this context, this study investigates the efficiency of soy production in the main Brazilian municipalities between 2015 and 2019, using the Data Envelopment Analysis (DEA) model in the CCR format. To achieve this objective, quantitative research techniques were adopted, involving the collection and analysis of soybean production data across various municipalities. The employed methodology enabled a comparative assessment of productive efficiency in the analyzed units, highlighting performance scores and identifying areas for improvement. "Within-farm" efficiency varied over the studied period, with some cities maintaining high levels of efficiency and others showing significant fluctuations. The results indicate a weighted average efficiency of 0.86 in the analyzed cities, signifying a substantial margin for improvement. This means that it is possible to reduce input costs by approximately 14% without compromising production. Cities with efficiency levels close to the maximum serve as a benchmark for others to follow. The transfer of knowledge from the most efficient cities to the less efficient ones is proposed as a viable solution to reduce disparities. Operational analysis "within the farm" is emphasized as a critical indicator of success in soy production, essential for the continuous improvement of agriculture in Brazil.

Keywords: Soybean; Efficiency; Data Envelopment Analysis; Agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produtividade e Eficiência.....	17
Figura 2 - Processo de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> das DMUs	28
Figura 3 - Demonstrativo do total de área plantada entre os anos 2015 e 2019	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios produtores de soja selecionados para análise.....	25
Tabela 2 - Variáveis de input e output	28
Tabela 3 - Estatística da Base de Dados	30
Tabela 4 - Base de Scores de eficiência por Município	33
Tabela 5 - Ranking 15 melhores práticas	34
Tabela 6 - Ranking 15 piores práticas	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis da base de dados consideradas para análise	27
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
BCC	Barnes, Charnes e Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CRS	Constant Return to Scale
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Data Making Unit
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMS	Efficiency Measurement System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
PIB	Produto Interno Bruto
PL	Programação Linear
PPL	Problema de Programação Linear
PPNL	Problema de Programação Não-Linear
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VBP	Valor Bruto da Produção
VRS	Variable Return to Scale

LISTA DE SÍMBOLOS

Ha	Hectares
Kg	Quilograma
Kg/Há	Quilograma por hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Eficiência.....	16
2.2	Análise Envoltória de Dados	17
2.2.1	Modelo CCR.....	18
2.2.2	Modelo BCC	21
2.2.3	Pesquisas Correlatas	22
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	24
4	ANÁLISE DE DADOS.....	25
4.1	Variáveis.....	26
5	DISCUSSÕES.....	30
5.1	Aplicação do modelo CCR.....	32
5.2	Análise de Eficiência do modelo CCR	33
5.3	Discussões	36
6	CONCLUSÃO	38

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil tem desenvolvido de forma contínua a produção agropecuária, que num futuro será o grande fornecedor de alimentos. Conforme o CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA, 2022), produção cresceu tão significativamente nos últimos 20 anos com taxa de crescimento 3,7%. Ao produzir aproximadamente 52 milhões de toneladas de soja na safra de 2001/2002, o Brasil passou a ser o primeiro produtor de soja no ranking mundial. Ainda segundo o CEPEA, vinte anos depois, na temporada 2021/22, a média é de 122 milhões de toneladas, conforme dados do Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022).

A eficiência produtiva na agricultura, especialmente em culturas intensivas como a soja, é importante não apenas para maximizar a rentabilidade e sustentabilidade econômica, mas também para contribuir para a segurança alimentar e a qualidade de vida da população. Conforme destacado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2021), o aumento da produtividade no agronegócio brasileiro tem sido um fator chave na redução do preço dos alimentos e na melhoria da qualidade de vida da população. Este cenário evidencia a importância de práticas agrícolas eficientes e sustentáveis.

No ramo agrícola, o maior desafio é produzir maior volume de soja, com sustentabilidade, sem expandir a área cultivada. A produção de soja enfrenta inúmeros desafios, sendo eles indefinições climáticas, pragas, e doenças e também oscilações do mercado e custos de insumos. Contudo, ter uma produção eficiente se torna significância vital no quesito de aumentar a rentabilidade da produção.

Atualmente tem sido discutido sobre a tomada de decisão dentro das organizações, inclusive, dentro do ramo agropecuário. Aprofundando, segundo Penã (2008 p. 85), os tomadores de decisão sempre procuram melhorar a união de recursos ao iniciarem qualquer empreitada e assim determinar a melhor forma e quando ser executada.

Dada esta importância estratégica de se ter uma tomada de decisão para que obtenha uma melhora na eficiência produtiva, o foco deste trabalho é investigar e avaliar a eficiência produtiva nos principais municípios produtores de soja do Brasil, utilizando a metodologia de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA). Por isso, decisões devem ser baseadas em dados históricos e análises

criteriosas. Assim, é possível estabelecer novos objetivos para melhorar a eficiência da produtividade da produção agrícola.

Por isso, o método Análise Envoltória de Dados (DEA) surge como ferramenta valiosa capaz de agilizar esse processo de análise, promovendo um resultado comparativo dos dados de forma menos subjetiva, permitindo a avaliação da eficiência entre diferentes municípios produtores e suas melhores práticas e pontos de melhorias.

Com a aplicação da metodologia do DEA torna-se possível mapear fronteiras de eficiência baseada nas unidades de produção, identificando as melhores práticas dos municípios mais eficientes. Essa abordagem usa um modelo matemático de programação linear não paramétrico para avaliar a eficiência relativa de unidades comparáveis com a intenção de melhorar o desempenho (VILELA *et al*, 2007, p. 100).

Por fim, pode-se questionar em que medida a Análise Envoltória de Dados auxilia no processo de identificação de unidades produtivas eficientes na produção de soja?

1.1 Justificativa

Observando o cenário do agro atual, nos últimos 25 anos a produção de soja triplicou. A alta produtividade de soja é resultado de vários investimentos, além de climas propícios, incluindo o uso de técnicas para o plantio direto, manejo de solo, manejo integrado de pragas e tecnologias de melhoramento de plantas (SYNGENTA, 2021).

Ainda segundo a Syngenta (2021), a missão de produzir maior volume de soja, com sustentabilidade, sem expandir a área cultivada, continua a desafiar os agricultores.

Portanto, a modelagem matemática vem para auxiliar este desafio, que segundo Lobato (2008), otimizar é melhorar o que já existe, projetar o novo com mais eficiência e menor custo. A otimização ajuda a encontrar o parâmetro ideal para um projeto sem testar todas as opções.

Em vista dos aspectos mencionados, compreende-se a relevância deste estudo para avaliação da eficiência operacional da produção de soja. Desta maneira, torna-se pertinente explorar métodos que potencializem e otimizem a produção com base na tomada de decisão baseada em dados.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar, através da Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando o método CCR, a eficiência da produtividade nos principais municípios produtores de soja durante o intervalo de 2015 e 2019.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Elaborar um embasamento teórico acerca de Análise Envoltória de Dados (DEA);
- Catalogar e coletar dados referente à produção agrícola no período estipulado, destacando os municípios selecionados.
- Realizar o processo de tratamento, limpeza e carga dos dados coletados;
- Identificar a modelagem do problema, aplicando as técnicas de Análise Envoltória de Dados.
- Avaliar a eficiência da produção de soja de 2015 a 2019 dos principais municípios produtores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A DEA é uma ferramenta que traz uma total relação funcional entre as entradas de insumos e a saída da produção, tendo como objetivo ser cada vez mais eficiente. Portanto, faz-se necessário que saibamos o que se trata Eficiência.

2.1 Eficiência

O conceito de eficiência em produção tem sido um dos pilares na economia e na gestão operacional de empresas, enfatizando a importância de maximizar a produção enquanto se minimizam os custos e o uso de recursos.

De acordo com Gomes e Batista (2004), Farrell colaborou com o entendimento que eficiência pode ser subdividida em dois componentes principais: eficiência técnica e eficiência alocativa.

A eficiência de produção pode ser definida como a comparação entre o valor real e o valor ótimo em relação às suas relações entre insumo e produto final. A eficiência técnica ocorre quando o valor ótimo é calculado dentro das possibilidades de produção (FRIED *et al.*, 1993).

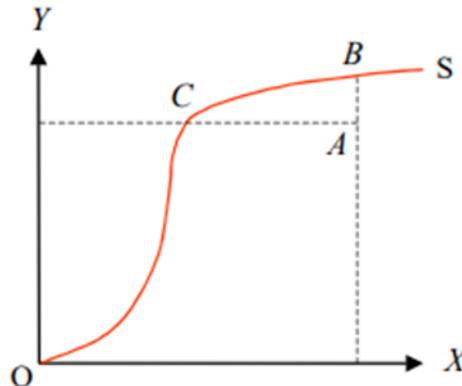
Quando uma firma opera na sua fronteira produtiva, ocorre-se a eficiência técnica. Isso significa que aumentar a produção de um produto não é possível sem aumentar proporcionalmente o uso de insumos ou sem reduzir a produção de outro produto (COELLI *et al.*, 2005).

Por outro lado, Fried *et al.* (1993) definem o valor ótimo avaliando o comportamento do custo e da receita com um valor ótimo produtivo. Nesse caso, a eficiência é chamada de alocativa e essa combinação relativa é tomada para produzir com menores custos de produção.

A eficiência alocativa refere-se à proporção com que os insumos são utilizados, tendo em conta seus preços relativos e a tecnologia de produção disponível. Uma firma é considerada eficiente quando usa insumos em proporções que correspondem a preços relativos, reduzindo assim os custos de produção para um nível específico de produção (COELLI *et al.*, 2005).

Mello *et al.* (2005), eficiência compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. A maneira de medir a quantidade mencionada difere significativamente. Fazendo uma relação funcional entre os insumos e o que foi produzido exemplificado na Figura 1.

Figura 1 - Produtividade e Eficiência



Fonte: adaptado de Mello *et al* (2005).

Ainda segundo Mello *et al.* (2005), na Figura 1, o eixo X representa os Recursos; Y representa a Produção; a curva S, chamada Fronteira de Eficiência, indica o máximo que foi produzido para cada nível de recurso. O Conjunto Viável de Produção fica localizado abaixo da curva.

Com isso, chega-se ao entendimento da relação entre as entradas de recursos e saídas de produção. Complementando Mello *et al.* (2005), diz que, existem duas formas básicas de uma unidade não eficiente tornar-se eficiente. A primeira é reduzindo os recursos, mantendo constantes os produtos (orientação a *inputs*); a segunda é fazendo o inverso (orientação a *outputs*).

2.2 Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados é uma metodologia que busca fazer uma comparação da eficiência dentro das unidades a serem analisadas, trazendo indicadores avaliativos do nível de eficiência.

Iniciando apresentamos o conceito proposto Farrel (1957) apud Vilela *et al.* (2007, p. 108) considerando:

[...] que considerou um único insumo e um único produto, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) iniciaram o estudo da abordagem não paramétrica para análise de eficiência com múltiplos insumos (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*), denominada *Data Envelopment Analysis* (DEA), ou Análise Envoltória de Dados.

Tal citação nos traz a compreensão que Charnes, Cooper e Rhores (1978), iniciaram os estudos dentro desses parâmetros de busca de eficiências que

posteriormente recebeu o nome de Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* (DEA).

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*), Segundo Oliveira (2014, p. 63): “tem sido considerada uma ferramenta matemática não paramétrica, de grande utilização para dimensionar a eficiências que as empresas se comportam com seus *inputs* e *outputs*.”

Para Ferreira e Gomes (2009) *apud* Oliveira (2014, p. 63) “os resultados alcançados estão diretamente ligados à eficácia, que no contexto de uma Unidade Tomadora de Decisão (*Decision Making Unit* – DMU) significa a quantidade efetivamente produzida (alcance da meta de produção estipulada).”

Para Ferreira (2009) *apud* Oliveira, Bornia, Silveira, Drumond e Oliveira (2014, p. 231), a Análise Envoltória de Dados é considerada uma ferramenta de análise de grande importância no meio científicos com grande aplicação às demandas práticas.

Conforme citado acima, a Análise Envoltória de Dados tem atendido às demandas de aplicações práticas em diversos setores, fazendo com que tenhamos mais confiabilidade na aplicação da mesma em nossa pesquisa.

Para Gomes (2005), a abordagem por DEA, que utiliza programação linear para estimar a fronteira eficiente (linear por partes), é capaz de incorporar diversos *inputs* (entradas, recursos, insumos ou fatores de produção) e *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo da eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão, designadas por DMUs (*Decision Making Units*).

Existem alguns modelos de DEA porém os mais clássicos são o CCR em homenagem aos seus criadores Charnes, Cooper e Rhodes, também conhecido por CRS (*Constant Returns to Scale*) que trabalha com retornos constantes de escala (CHARNES *et al.* 1978) e o BCC devido a Banker *et al.* (1984), incorporando o retorno variável de escala.

2.2.1 Modelo CCR

O modelo, trazido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, inicialmente orientado às entradas (*input*) e trabalhando com constante de escala, produzindo variação proporcional em suas saídas (*output*).

Segundo Casado (2007), a eficiência técnica de uma unidade que toma decisões observada (DMU 0) será obtida através de um PPNL (Problema de Programação Não-Linear), utilizando o modelo da Equação 1:

$$\text{Máx } h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{ik}} \leq 1, k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$u_j, v_i \geq \forall j, i \quad (3)$$

Onde:

h_0 = eficiência da DMU 0

r = quantidade total de *inputs*

s = quantidade total de *outputs*

n = quantidade total de DMU

Y_{jk} = quantidade de *output* j para DMU k

X_{ik} = quantidade de *input* i para a DMU k

u_j = peso referente ao *input* j

v_i = peso referente ao *input* i

X_{j0} = quantidade de *output* j para a DMU 0 (DMU observada)

X_{i0} = quantidade de *output* i para a DMU 0 (DMU observada)

Na Equação 1 o objetivo é maximizar o valor de h_0 , que representa a eficiência da DMU a ser analisada. E na Equação 2 obtém-se uma restrição garantindo que os pesos otimizados u_j e v_i sejam aplicados a todas DMUs, com a eficiência limitada em 1 contendo uma restrição garantindo números não negativos.

O modelo de Programação Linear, chamado de modelo dos multiplicadores, evoluiu como uma modificação do modelo CCR. Este modelo foi desenvolvido para calcular os pesos u_j e v_i , com o objetivo de otimizar a relação entre a soma ponderada dos outputs (denominado "*output virtual*") e a soma ponderada dos inputs (referida como "*input virtual*") para a DMU em análise. (LINS, MEZA, 2000, p. 11)

Repetindo-se para cada DMU analisada, definindo as eficiências relativas de cada. Para o modelo multiplicados:

$$\text{Máx } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (4)$$

Logo:

$$\text{Máx } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i X_{ik} \leq 0, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$u_j v_i \geq 0 \forall j, i \quad (7)$$

É viável obter o dual a partir do modelo dos multiplicadores primais representado na Equação 4. Nesse contexto, o modelo dual terá um número inferior de limitações (expresso como $s + r < n + 1$), uma vez que o modelo DEA estipula que o número de Unidades de Tomada de Decisão (DMUs). No modelo do Envelope o objetivo é determinar os valores de γ_k de tal forma a minimizar θ (NETO *et al.* 2001).

Também chamado de Envelope, o dual dos modelos apresentará uma menor quantidade de restrições ($s + r < n + 1$) pois o modelo DEA exige o número de DMUs seja maior que o número de variáveis. (NETO *et al.* 2001). Modelo envelope:

$$\text{Min } \theta \quad (8)$$

Logo:

$$-Y_{j0} + \sum_{k=1}^n Y_{jk} \lambda_k \geq 0, j = 1, 2, \dots, s \quad (9)$$

Na Equação 8 tal com o objetivo de minimizar θ , que representa a eficiência da DMU, aplicando-se com a restrição garantindo a combinação ponderada dos outputs das DMUS.

2.2.2 Modelo BCC

O modelo BCC, de Banker *et al.* (1984, faz uso do VRS, a fim de mitigar problemas em situações de anomalias. Para Casado (2007), o BCC (VRS) é usado quando ocorrem Retornos Variáveis de Escala, sejam eles crescentes ou decrescentes ou mesmo constantes. No modelo BCC, os *scores* de eficiência dependem da orientação escolhida. A formulação do modelo BCC é a seguinte, caso queira maximizar h_0 :

$$\text{Max } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + w \quad (10)$$

Logo:

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} \leq 1 \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + w \leq 0, \text{ para todo } j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$-u_r \leq -e, r = 1, 2, \dots, s \quad (13)$$

$$-v_i \leq -e, i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Para minimizar a seguinte Equação:

$$\text{Min } h_0 = \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s S_r - \varepsilon \sum_{i=1}^m e_i \quad (15)$$

Logo:

$$X_{i0}\theta - e_i - \sum_{j=1}^n X_{ijk} = 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

$$-S_r + \varepsilon \sum_{j=1}^n Y_{rj}\lambda_j = Y_r 0, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (18)$$

$$\lambda_j > 0, \text{ para todo } j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

$$s_r > 0, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (20)$$

$$e_i > 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

Por meio da utilização desses modelos, é possível detectar a eficiência das DMUs, construindo, assim, a fronteira de produção com as unidades que atingirem o máximo de produtividade (*benchmarks*) (CASADO, 2007).

2.2.3 Pesquisas Correlatas

A sojicultora, assim como qualquer ação produtiva, é uma atividade caracterizada como um processo que utiliza múltiplos fatores produtivos (insumos, recursos humanos, terra e capital) e gera produtos, neste caso, o grão de soja. (ROSSETO E PEÑA, 2018)

Segundo o estudo realizado por Rosseto e Peña (2018) analisaram a eficiência da sojicultura no período de 2007 até 2017. Concluíram que, a distribuição dos índices ficou relativamente concentrada em valores acima de 0,6 com um valor mínimo de 0,22, máximo de 1 e uma média de 0,8.

Rosseto e Peña (2018) concluem ainda que, a partir desses a partir desses dados, pode-se aferir que, em média, os municípios sojicultores ineficientes podem elevar o valor da produção com os insumos disponíveis.

Conforme Gomes e de Carvalho Mangabeira (2004), a utilização da Análise de Envoltória de Dados (DEA) para medir a eficiência de agricultores em Holambra, São Paulo, no ano de 2002, revelou que 6 dos 71 agricultores avaliados eram 100% eficientes, com uma eficiência média da amostra de 23,8%, sendo de 24,8% para os floricultores e 22,4% para os demais. Essa análise fornece suporte à tomada de decisões na produção agrícola de flores.

O estudo conduzido por Pinto e Rodrigues (2015) destaca a importância do monitoramento do desempenho das bibliotecas universitárias em um cenário de crescimento das universidades, destacando a importância da Análise Envoltória de Dados (DEA) para monitorar o desempenho de bibliotecas universitárias em crescimento. Os modelos CCR e BCC são essenciais para calcular eficiência e ineficiência de escala.

Conforme Peña (2008), a Análise Envoltória de Dados (DEA) é usada para avaliar a eficiência técnica de unidades produtivas que usam vários insumos e fabricam uma variedade de bens e serviços, especialmente útil para avaliar a eficiência da administração pública. Além disso, demonstra-se que o uso do DEA pode identificar unidades ineficientes, das quais nove são ineficientes. Se essas unidades fossem combinadas com as outras unidades, a produção de 47 alunos formados e 69 trabalhos científicos poderia ser aumentada.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Quanto à abordagem da pesquisa, pode-se classificar como quantitativa, uma vez que visa obter uma compreensão aprofundada de questões relacionadas à tomada de decisões. Visto que, busca-se calcular a eficiência de um determinado tipo de produção agrícola.

Em relação ao método utilizado, a pesquisa baseia-se na coleta e análise de dados da empresa para uma investigação mais detalhada. Portanto, a abordagem metodológica pode ser caracterizada como um estudo de caso, onde se observa, registra e descreve o contexto da produção e os processos de tomada de decisão. A coleta de dados foi realizada a partir de informações disponíveis no banco de dados disponibilizado pelo governo, que posteriormente foram analisadas e processadas.

O trabalho foi dividido em 3 etapas principais, cada uma com suas respectivas subdivisões, a fim de organizar o contexto da pesquisa. Na primeira etapa, a fundamentação teórica, discute-se conceitos relacionados a Análise Envoltória de Dados e a aplicação desses conceitos no estudo da problemática. A segunda etapa envolve-se a coleta e o processamento de dados da base governamental. Na terceira etapa, realiza-se aplicação da ferramenta para entender o tipo de tecnologia usado na resolução e/ou otimização das decisões. Por fim, na última etapa, apresentou-se as conclusões e considerações com base no modelo proposto.

4 ANÁLISE DE DADOS

Nesta pesquisa será feita a análise dos dados de produção de soja dos principais municípios do Brasil. Os anos coletados foram de 2015 a 2019 e os municípios escolhidos, por conta da disponibilidade de informação, são os apontados na Tabela 1.

Tabela 1 - Municípios produtores de soja selecionados para análise

Estado	Município
BA	Barreiras
GO	Cristalina
GO	Rio Verde
MA	Balsas
MG	Unaí
MT	Primavera do Leste
MT	Sorriso
PR	Campo Mourão
PR	Londrina
RS	São Luiz Gonzaga

Fonte: Autoria própria com base extraída o CONAB (2023)

Conforme a Tabela 1, a escolha desses municípios se baseou na disponibilidade de informações confiáveis e detalhadas sobre a produção de soja ao longo de cinco anos, de 2015 a 2019. A decisão de focar nesse período permite uma análise abrangente da evolução da produção de soja ao longo do tempo, o que é crucial para entender as tendências e os fatores que impactam esse setor.

Os dados do IBGE, que fornecem estatísticas detalhadas sobre a produção agrícola do Brasil, ressaltam a representatividade geográfica e a importância econômica desses municípios (INACIO, 2021).

Os municípios selecionados representam diferentes regiões do Brasil, abrangendo estados como Bahia, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, que são conhecidos por sua relevância na produção de soja. Ao analisar municípios de diversas regiões, podemos obter uma visão mais abrangente das práticas de produção e dos desafios enfrentados em diferentes contextos geográficos.

A escolha dos principais municípios decorre da influência que eles exercem na produção de soja em nível nacional. Esses municípios têm um histórico de produção significativo e são frequentemente destacados nas estatísticas de produção

de soja no Brasil. Portanto, ao analisar essas localidades, podemos obter insights valiosos sobre a eficiência e os fatores que afetam a produção de soja em nível nacional.

A coleta de dados de 2015 a 2019, abrangeu informações detalhadas sobre a produção de soja, incluindo a quantidade de soja produzida em toneladas, a área de cultivo, o uso de insumos agrícolas e outros fatores relevantes. Esses dados fornecem uma base sólida para a aplicação de modelos de análise, como o Modelo CCR e o Modelo BCC da Análise Envoltória de Dados (DEA), que auxiliou a avaliar a eficiência da produção e identificar áreas de melhoria.

Portanto, esta pesquisa se concentra em uma análise aprofundada da produção de soja em municípios-chave do Brasil, ao longo de um período de cinco anos, visando a compreender a dinâmica da produção, identificar práticas eficientes e contribuir para a tomada de decisões no setor agrícola. As análises foram executadas utilizando o software EMS (*Efficiency Measurement System*) para serem calculados os *scores* e os *benchmarks*.

4.1 Variáveis

Nesta seção apresenta-se as variáveis utilizadas na pesquisa. No contexto da produção de soja, as variáveis podem incluir a produção anual de soja em toneladas, a área de cultivo, o uso de insumos agrícolas, o clima e outras características que possam afetar a eficiência da produção. A análise dessas variáveis é fundamental para compreender como diferentes fatores impactam a eficiência da produção de soja nos municípios em estudo.

As variáveis selecionadas para a análise da produção de soja nos municípios desempenham papéis cruciais na avaliação da eficiência e na compreensão dos fatores que afetam a produção agrícola. Vamos discutir cada uma das variáveis e sua importância.

A produção anual de soja em toneladas é a variável central em nossa análise, refletindo a capacidade de um município em produzir soja, o resultado final da atividade agrícola. O crescimento consistente ao longo dos anos pode indicar uma eficiência estável na produção.

A extensão das terras cultivadas com soja é um fator crítico para a produção. Municípios com maior área de cultivo podem ter maior potencial de produção, mas a eficiência no uso dessa área é fundamental para determinar a produtividade.

O uso de insumos agrícolas, que inclui fertilizantes, pesticidas, irrigação e outros, desempenha um papel crucial. O uso eficiente desses insumos pode aumentar a produtividade, mas o excesso ou uso inadequado pode ter impactos negativos no ambiente e nos custos de produção.

As variáveis climáticas, como pluviosidade, temperatura e eventos climáticos extremos, são fundamentais na produção de soja. Municípios com condições climáticas favoráveis podem obter melhores resultados, mas a adaptação a condições climáticas adversas também é importante.

Além disso, fatores específicos de cada município, como recursos hídricos, infraestrutura e disponibilidade de mão de obra, podem influenciar a produção de soja. Essas características locais podem criar vantagens competitivas ou desafios adicionais.

A análise dessas variáveis é fundamental para avaliar a eficiência da produção de soja nos municípios selecionados. Elas ajudam a identificar não apenas quais municípios são mais eficientes na transformação de insumos em produção, mas também quais fatores específicos podem estar contribuindo para essa eficiência. Isso fornece informações valiosas para a tomada de decisões no setor agrícola, promovendo a otimização de recursos e a sustentabilidade na produção de soja.

Este estudo concentra-se em variáveis específicas que são essenciais para a nossa análise. É importante destacar-se que, embora o clima possa ter um impacto significativo, ele não será abordado neste estudo. Com base em pesquisas anteriores centradas na eficiência, escolheram-se as variáveis da base de dados, que estão detalhadas no Quadro 1 e que serão utilizadas para a análise.

Quadro 1 - Variáveis da base de dados consideradas para análise

Área Plantada	Refere-se à extensão em hectares de uma determinada cultura no município, levando em consideração o ano de referência. As informações foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Mão de obra	Representa o custo em reais por hectare, calculado por hora-homem por ano. Esses dados são provenientes da série histórica fornecida pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).
Capital	Inclui os custos associados ao uso de terra, máquinas e outros equipamentos. A CONAB forneceu essa série histórica.
Insumos Agrícolas	Estão ligados aos gastos com produtos como agrotóxicos, fertilizantes e sementes, conforme dados da CONAB.
Produção por Hectare	Mostra a quantidade total de soja produzida por hectare durante o ano em questão, com dados obtidos do IBGE.

Fonte: Autoria própria (2023)

A combinação dessas variáveis descritas no Quadro 1, permite-se a medição dos *scores* de eficiência de produção dentro do período selecionado. Por exemplo, no estudo de Rossetto e Peña (2018), o modelo DEA foi usado para estimar os níveis de eficiência para avaliar a eficácia do cultivo de soja no Brasil entre 2007 e 2014.

O estudo aborda os elementos fundamentais da produção agrícola, considerando como insumos principais a mão de obra, a área plantada e os insumos agrícolas, que incluem agrotóxicos, sementes e fertilizantes. O resultado desses insumos, tem-se a produção agrícola, que é o produto final deste processo, pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis de input e output

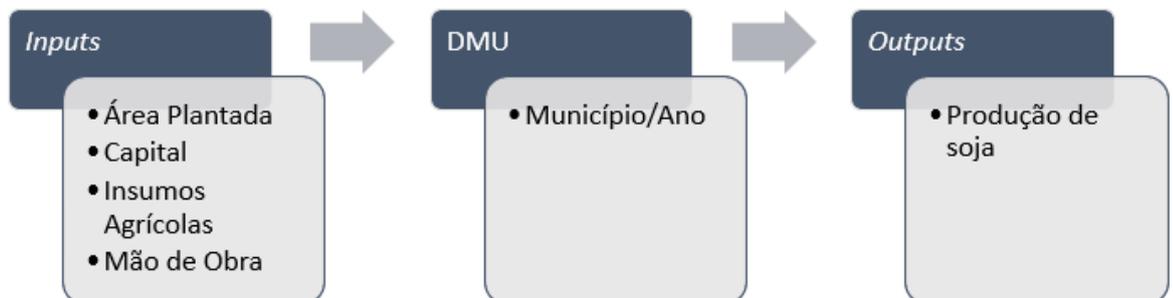
Inputs	Outputs
Área Plantada	Produção
Capital	
Insumos Agrícolas	
Mão de Obra	

Fonte: Autoria própria (2023)

A escolha dos inputs e outputs para o desenvolvimento destes trabalhos, tem-se como parâmetro outras revisões de literatura (ROSSETO E PEÑA, 2018).

A Figura 2 ilustra de forma clara o processo pela qual as variáveis apresentadas na Tabela 2 são transformadas.

Figura 2 - Processo de *Inputs* e *Outputs* das DMUs



Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme apresenta-se na Figura 2 os dados são carregados no Software EMS e ocorre-se a definição das DMUS, que foram realizadas conforme os

parâmetros configurados no sistema no momento da inserção dos dados de inputs. Obtendo-se ao final dessa execução os *scores* de eficiência como resultado do processo.

Os dados dos inputs e outputs foram coletados da Série Histórica de Produção de Culturas, disponibilizado pela CONAB, importante ressaltar que os dados foram preenchidos em todos os períodos selecionados para análise.

5 DISCUSSÕES

Dentro da sojicultura, a compreensão das variáveis de custo é fundamental para otimizar a produção e garantir a rentabilidade da atividade. A Tabela 3 traz uma análise das principais variáveis que afetam o custo de produção de soja, incluindo Agrotóxicos, Capital, Fertilizantes, Mão de Obra e Sementes. Com base nos dados da CONAB e do IBGE, esta análise detalhada discute os mínimos, máximos, médias e desvios padrão destas variáveis, buscando entender suas oscilações e impactos na produção de soja.

Tabela 3 - Estatística da Base de Dados

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Agrotóxicos (R\$)	244,32	993,49	548,07	192,52
Capital (R\$)	55,00	418,25	175,21	75,88
Fertilizantes (R\$)	280,68	972,91	589,93	192,63
Mão de Obra (R\$)	2,39	279,09	51,61	58,73
Sementes (R\$)	122,50	441,35	232,52	73,73
Produção (Kg/Ha)	1.302,00	4.123,00	3.145,32	476,15

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com a Tabela 3, o custo dos agrotóxicos varia significativamente entre os valores mínimos de R\$ 244,32 e os valores máximos de R\$ 993,49, representando uma variação de aproximadamente 75%. Isso pode ser justificado devido quantidade e tipo de agrotóxicos usados, têm sido mais usados nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste (EMBRAPA, 2021).

Conforme a Tabela 3, a variável capital pode representar o investimento em infraestrutura e equipamentos, com um valor mínimo de R\$ 55,00 e um valor máximo de R\$ 418,25. A alta produtividade da produção de grãos torna necessária a aquisição de novas máquinas e equipamentos (EMBRAPA, 2020).

Ainda perante a Tabela 3, para os fertilizantes a variação foi de aproximadamente 71%, dos valores de R\$ 280,68 a R\$ 972,91. A necessidade de aumentar a produtividade e expandir a cultura em locais marginais, como pastagens degradadas, pode justificar esse uso maior dos fertilizantes (HIRAKURI, 2018).

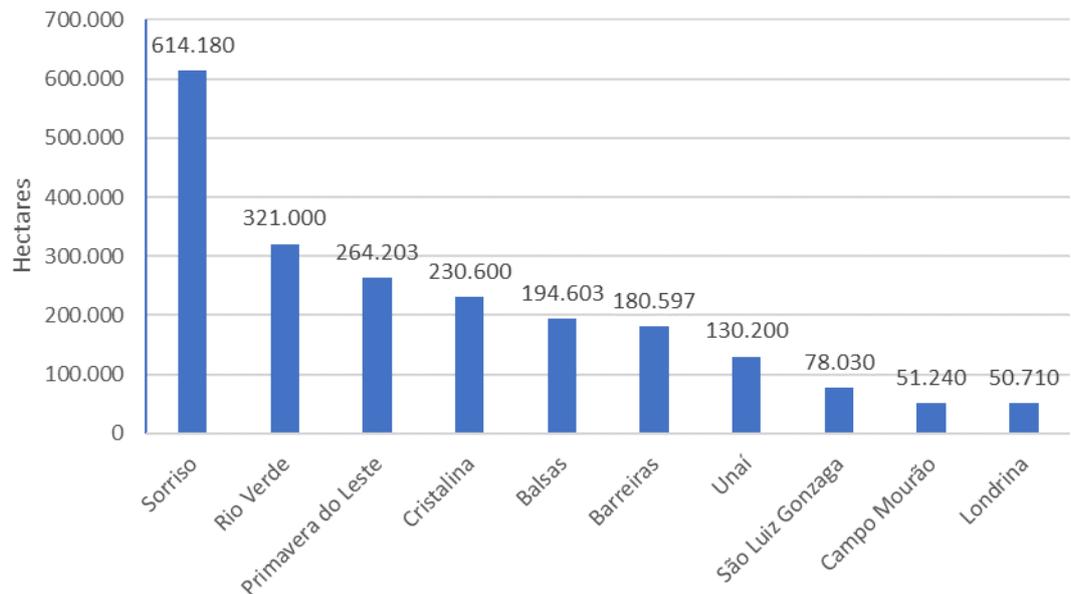
Entre as variáveis contidas na Tabela 3, a mão de obra mostra a taxa oscilação foi de 99% aproximado, partindo de R\$ 2,39 e até o valor mais alto de R\$ 279,09. Influenciado pela necessidade de especializar a mão de obra por meio da introdução de conceitos de negócios e modernização agrícola (EMBRAPA, 2020).

Logo, destacado na Tabela 3, o custo das sementes pode variar de R\$ 122,50 a R\$ 441,35, dependendo de sua qualidade, tipo e procedência e também considerado um insumo que tem aumentado sua participação nos custos (EMBRAPA, 2020).

A partir das informações apresentadas na Tabela 3, destaca-se que a produção oscilou a margem de 69%, dentre 1302 (Kg/Ha) e 4123 (Kg/Ha), obtendo uma média aproximada de 3145 (Kg/Ha) de produtividade no período.

Outro fator, que se ressalta é a evolução de área plantada de lavouras de soja, que pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Demonstrativo do total de área plantada entre os anos 2015 e 2019



Fonte: Autoria própria com dados extraídos do IBGE (2023).

Conforme a Figura 3, a cidade de Sorriso (MT) destaca-se com a maior área plantada, isso pode ser resultado de uma série de fatores, como condições climáticas favoráveis, fertilidade do solo e a disponibilidade de infraestrutura e tecnologia que colaboram com a agricultura em grande escala. As mesorregiões nortes e nordeste mato-grossense possuem todas as condições ambientais necessárias para uma alta produtividade (EMBRAPA, 2021).

Embora tenham áreas menores em comparação com Sorriso (MT), a Figura 3 demonstra-se que as demais cidades apresentam um cultivo significativo de soja e conseqüentemente muito importantes nos números de produção total da oleaginosa.

E essa representatividade de apresentada, reforça a escolha dessas cidades modelos em produção de soja para esse estudo.

5.1 Aplicação do modelo CCR

O Modelo CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, é uma técnica inserida na Análise Envoltória de Dados (DEA). Essa metodologia é notável por sua capacidade de avaliar a eficiência das unidades de produção em relação a um conjunto de insumos e resultados (PEÑA, 2008). No contexto desta pesquisa, as unidades de produção são representadas pelos municípios produtores de soja. Os insumos se referem aos recursos e fatores utilizados na produção de soja, enquanto os resultados são representados pela produção anual de soja.

A aplicação do Modelo compreende várias etapas essenciais. Inicialmente, ocorre a coleta de dados, onde informações detalhadas sobre cada município em estudo, como a produção de soja, a área de cultivo, o uso de insumos agrícolas e outros fatores relevantes, são reunidas. Em seguida, são definidas as variáveis que servirão de insumos e resultados na análise CCR. Por exemplo, a área de cultivo e o uso de insumos agrícolas podem ser considerados insumos, enquanto a produção anual de soja representa os resultados.

O CCR é formulado com base nos dados coletados e nas variáveis definidas como insumos e resultados. Este é um modelo matemático fundamental para avaliar a eficiência de cada município em relação a esses insumos e resultados.

Após a formulação do modelo, calculamos a eficiência relativa de cada município. Isso nos permite determinar quais municípios utilizam seus insumos de forma mais eficiente para produzir soja.

Com base nos resultados da análise, identificamos quais municípios são considerados mais eficientes em termos de produção de soja. Essas unidades são aquelas que obtêm o melhor desempenho em relação aos insumos utilizados.

O uso da ferramenta tem como objetivo principal identificar as unidades de produção mais eficientes entre os municípios produtores de soja. Essa análise fornece insights valiosos para a tomada de decisões no setor agrícola, promovendo a otimização de recursos, a sustentabilidade na produção de soja e o aprimoramento das práticas de produção. O CCR é uma ferramenta crucial que nos permite avaliar e melhorar a eficiência da produção de soja nos municípios em estudo, contribuindo para a economia agrícola brasileira como um todo.

5.2 Análise de Eficiência do modelo CCR

Nesse cenário considera-se o produto (*output*), a produção de Quilos por hectare (Kg/Ha). Considerando-se que a análise de eficiência considera retornos constantes de escala. Com isso, a Tabela 4 apresenta os perfis de eficiência dos municípios produtores de soja para o período considerado neste trabalho.

Tabela 4 - Base de Scores de eficiência por Município

Estado	Município	2015	2016	2017	2018	2019	Média
BA	Barreiras	1,00	0,70	0,98	1,00	0,93	0,92
GO	Cristalina	0,59	0,66	0,74	0,72	0,60	0,66
GO	Rio Verde	0,72	0,90	1,00	1,00	0,83	0,89
MA	Balsas	0,83	0,40	0,81	0,89	0,75	0,74
MG	Unai	0,81	0,94	0,93	1,00	0,85	0,91
MT	Primavera do Leste	0,97	0,94	0,95	0,95	0,89	0,94
MT	Sorriso	0,98	0,84	0,98	1,00	0,94	0,95
PR	Campo Mourão	0,98	0,80	1,00	1,00	1,00	0,95
PR	Londrina	0,82	0,58	0,83	0,79	0,78	0,76
RS	São Luiz Gonzaga	0,77	0,87	0,93	0,97	0,87	0,88
	Máximo	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	0,95
	Mínimo	0,59	0,40	0,74	0,72	0,60	0,66
	Média	0,85	0,76	0,92	0,93	0,84	0,86
	Desvio-padrão	0,13	0,18	0,09	0,10	0,11	0,10

Fonte: Autoria própria com base extraída do software EMS (2023)

O método CCR avalia as vantagens de escala ao calcular a eficiência, que é determinada pela relação entre a produção e a produtividade das unidades examinadas. De acordo com o que foi mencionado por MARIANO *et al.* (2006), a eficiência varia de zero a um, sendo um o valor ideal.

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 4, é possível observar uma melhoria na eficiência dos municípios ao longo dos anos. Por exemplo, em Barreiras (BA), apesar de ter havido uma queda em 2016, a eficiência aumentou novamente, atingindo 1,00 em 2017 e 2018. Isso se deve principalmente ao crescimento da indústria da soja na região, que possui áreas consideráveis com condições favoráveis para expansão de fronteira agrícola (EMBRAPA, 2020).

Um outro município exposto na Tabela 4 e que merece destaque é Campo Mourão (PR), que se destacou ao manter uma consistente eficiência ao longo dos anos, alcançando o pico de 1,00 nos anos de 2017, 2018 e 2019. Por outro lado, Cristalina (GO) e Balsas (MA) apresentaram flutuações significativas em sua eficiência

ao longo do tempo. Já Londrina (PR) teve uma tendência decrescente, passando de 0,82 em 2015 para 0,78 em 2019.

Ainda na Tabela 4 também mostra que a eficiência média dos municípios ao longo dos anos permaneceu relativamente constante, com pequenas variações. Em 2019, a eficiência média foi de 0,84, um leve declínio em relação ao valor de 0,85 em 2015.

O Paraná continua sendo um estado notável, especialmente o município de Campo Mourão (PR) e Sorriso (MT) no estado de Mato Grosso. As médias de eficiência desses municípios se destacaram em geral em comparação aos demais, conforme estão representam-se na Tabela 4.

Identificando-se padrões de eficiência agrícola em diferentes regiões do Brasil ao longo dos anos, a Tabela 5 destaca-se as DMUs com os melhores scores em relação as boas práticas de cultivo de soja.

Tabela 5 - Ranking 15 melhores práticas

Rank	DMU	Score	Benchmark
1	Barreiras 2015	1,00	Unaí 2016
1	Barreiras 2018	1,00	Unaí 2017
1	Campo Mourão 2017	1,00	Unaí 2017
1	Campo Mourão 2018	1,00	Balsas 2019
1	Campo Mourão 2019	1,00	Balsas 2015
1	Rio Verde 2017	1,00	Barreiras 2015
1	Rio Verde 2018	1,00	Balsas 2019
1	Sorriso 2018	1,00	Campo Mourão 2018
1	Unaí 2018	1,00	Unaí 2019
10	Sorriso 2015	0,98	Sorriso 2018; Rio Verde 2018
11	Barreiras 2017	0,98	Barreiras 2018; Rio Verde 2018; Rio Verde 2017; Barreiras 2015
12	Campo Mourão 2015	0,98	Campo Mourão 2017
13	Sorriso 2017	0,98	Sorriso 2018
14	São Luiz Gonzaga 2018	0,97	Campo Mourão 2017
15	Primavera do Leste 2015	0,97	Barreiras 2015; Unaí 2018; Sorriso 2018

Fonte: Autoria própria com base extraída do software EMS (2023)

Ressalta-se que, alcançando uma pontuação perfeita de 1,00 em várias ocasiões, certos municípios, como Barreiras (BA), Campo Mourão (PR) e Rio Verde (GO), mostram uma consistência notável em suas práticas agrícolas.

Conforme a Tabela 5, entre 2015 e 2018, Barreiras não apenas alcançou a pontuação máxima, mas também funcionou como *benchmark* para outros municípios em 2015. Estabelecendo padrões de excelência para outras regiões, essa reitera-se

a posição da cidade como uma potência agrícola do Brasil. Os principais fatores de Barreiras incluem uma expansão da área agrícola, investimentos na tecnologia e o aumento da produção. (SICSÚ; 2020 LIMA)

Situado no estado do Paraná, Campo Mourão (PR), também surge como um padrão de eficiência, com *scores* perfeitos em 2017, 2018 e 2019, segundo a Tabela 5. Segundo EMBRAPA (2017), Paraná foi um dos estados que mais produziram soja no período.

Rio Verde (GO), no estado de Goiás, conforme já apontado em outros estudos mantém sua tendência de excelência. A cidade aparece com uma pontuação perfeita em 2017 e 2018 e serve como *benchmark* para outras cidades em diferentes anos. Considerando, grades áreas cultiváveis e alta participação da iniciativa privada, sendo multinacionais e empresas do agronegócio da região (ROSSETTO e PEÑA, 2018).

Vale a pena notar, no entanto, que mesmo cidades com pontuações ligeiramente mais baixas, como Sorriso (MT) e São Luiz Gonzaga (RS), ainda registaram pontuações impressionantemente altas. Estas cidades também foram avaliadas várias vezes, indicando que embora possam ter áreas para melhoria, as suas práticas agrícolas são robustas e vale a pena replicar.

Além disso, conforme apresenta-se na Tabela 6, mostra os municípios ineficientes para produção de soja. De certa forma, apresentaram-se umas piores práticas.

Tabela 6 - Ranking 15 piores práticas

Rank	DMU	Score	Benchmark
36	Unai 2015	0,81	Barreiras 2015; Unai 2018; Sorriso 2018
37	Campo Mourão 2016	0,80	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017; Rio Verde 2017
38	Londrina 2018	0,79	Campo Mourão 2018
39	Londrina 2019	0,78	Campo Mourão 2018
40	São Luiz Gonzaga 2015	0,77	Campo Mourão 2017; Rio Verde 2017
41	Balsas 2019	0,75	Sorriso 2018; Barreiras 2018; Unai 2018; Barreiras 2015
42	Cristalina 2017	0,74	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017
43	Rio Verde 2015	0,72	Rio Verde 2017
44	Cristalina 2018	0,72	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017
45	Barreiras 2016	0,70	Barreiras 2018; Rio Verde 2018; Barreiras 2015
46	Cristalina 2016	0,66	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017
47	Cristalina 2019	0,60	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017
48	Cristalina 2015	0,59	Barreiras 2018; Campo Mourão 2017
49	Londrina 2016	0,58	Campo Mourão 2018
50	Balsas 2016	0,40	Barreiras 2015; Unai 2018; Sorriso 2018

Fonte: Autoria própria com base extraída do software EMS (2023)

A Tabela 6 abrange-se DMUs classificadas entre 36 e 50, que não são de nível superior em termos de eficiência, mas ainda têm *scores* relativamente altas. Isto mostra-se que mesmo em áreas que não são líderes em práticas agrícolas, ainda existem importantes padrões de eficiência e melhores práticas a serem aplicadas.

Contudo, a recorrência de cidades como Cristalina (GO) e Londrina (PR) em anos consecutivos indica-se uma tendência em que os desafios persistem. Além disso, observou-se que DMUs como Barreiras (BA) e Rio Verde (GO) aparecem frequentemente como referências, sugerindo que estas cidades podem servir como *benchmarks* para boas práticas agrícolas em outras regiões.

Ao analisar-se mais a fundo os dados da Tabela 6, Unaí 2015 tem nota 0,81, o que é um excelente desempenho, embora haja espaço para melhorias em relação aos *benchmarks* Barreiras 2015 e Sorriso 2018. As participações consecutivas do Londrina em 2018 e 2019 mostra-se que, apesar das melhorias anuais, ainda há áreas que precisam de melhorias para atingir níveis de referência.

Por outro lado, Balsas 2016 tem a pontuação mais baixa da lista (0,40), o que mostra que esta área merece atenção. No entanto, ao analisar os seus *benchmarks*, fica claro que as práticas de Barreiras 2015, Unaí 2018 e Sorriso 2018, se adotadas, provavelmente melhorariam a eficiência de Balsas.

5.3 Discussões

O estudo enfatiza-se que a soja é a principal cultura agrícola do Brasil e que o crescimento e o avanço tecnológico aumentaram significativamente sua produção. Devido à importância e ao crescimento da indústria, a pesquisa indica que é necessário aumentar os níveis de eficiência na produção. A pesquisa mostra que a eficiência "dentro da fazenda" variou ao longo do período investigado. A eficiência de alguns municípios foi elevada, enquanto outros apresentaram flutuações significativas. Os resultados das cidades analisadas mostraram-se que tiveram uma eficiência média aproximada de 0.86, o que indica que há uma margem para melhorias.

A análise detalhada inclui custos como agrotóxicos, capital, fertilizantes, sementes e mão de obra. Com base em dados da CONAB e do IBGE, as oscilações e os efeitos dessas variáveis na produção de soja são discutidos. Além disso, nota-se uma grande variação na mão de obra, refletindo a necessidade de modernização e

especialização no setor agrícola. Além disso, é examinada a mudança da área plantada de soja entre 2015 e 2019.

O trabalho mostra-se que os municípios melhoraram em eficiência ao longo dos anos. Por exemplo, Barreiras (BA) e Campo Mourão (PR) se destacam por sua eficiência contínua ao longo da pesquisa. A eficiência média dos municípios manteve-se relativamente constante, com poucas variações, demonstrando a importância dessas análises para a otimização dos recursos na produção de soja, assim como para o desenvolvimento da economia agrícola do Brasil.

Assim, é possível concluir que a eficiência na produção de soja é essencial para a sustentabilidade econômica e a rentabilidade do setor agrícola. A inclusão de ferramentas como por exemplo o DEA identificação de práticas eficientes e pontos de melhorias pode auxiliar bastante o processo produtivo. Além disso, nota-se muito importante que a transferência de informações e práticas das cidades mais eficientes para as menos eficientes pode ser um método eficaz para melhorar a eficiência e produtividade em todo o setor. Contudo, uma abordagem analítica e a modernização e otimização contínua são extremamente importantes para enfrentar os desafios do setor agrícola.

6 CONCLUSÃO

Uma investigação utilizando o modelo de análise envoltória de dados (DEA) CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) revelou aspectos importantes da eficiência das operações de cultivo de soja nas cidades estudadas. Observou-se que, considerando apenas a perspectiva “dentro da fazenda”, a eficiência média ponderada apresenta-se variação ao longo dos anos, com algumas cidades como Campo Morão (PR) e Sorriso (MT) apresentando consistentemente altos níveis de eficiência enquanto outras apresentam flutuações, o que pode indicar oportunidades de melhorias operacionais e estratégicas.

A eficiência média nas cidades analisadas foi de 86%, indicando que há uma margem de aproximadamente 14% para melhorias nas práticas e na gestão de recursos nas propriedades, buscando minimizar custos e otimizar a produção dentre as 50 DMUS. Notavelmente, as cidades com eficiência máxima ou próxima representam uma *benchmarks* de desempenho que outras cidades podem alcançar através da adoção de práticas de gestão e tecnologia mais eficazes.

Contudo, pode-se dizer que o trabalho contribuiu em complemento à outros estudos já relacionados ao tema para reforçar que o estudo da eficiência da cultura de soja e seus impactos nas regiões produtoras. Além disso, reforça que os municípios do Mato Grosso e Paraná apresentaram um grande destaque, que principalmente em conjunto com os da Bahia servindo de *benchmark* para outros.

É importante destacar que as alterações nas pontuações de eficiência não refletem apenas diferenças inerentes às práticas agrícolas, às condições climáticas e à disponibilidade de fatores de produção, mas também podem ser atribuídas a flutuações do mercado e a cenários econômicos mais amplos que afetam as receitas e os custos operacionais. Destacando ainda que a DEA é um modelo como qualquer outro possuindo limitações.

Um método viável para diminuir essa disparidade na eficiência pode ser a transferência de tecnologia e conhecimento dos municípios mais eficientes para os menos eficientes. Além disso, estudos futuros devem levar em consideração a variação temporal dos *scores* de eficiência e as possíveis correlações com adaptações às variações climáticas e mudanças tecnológicas.

Finalmente, a pesquisa enfatiza análise da eficiência operacional "dentro da fazenda" como um indicador crucial do sucesso na cultura da soja, fornecendo aos

gestores agrícolas e formuladores de políticas uma perspectiva reflexiva sobre como melhorar continuamente a produção agrícola brasileira.

REFERÊNCIAS

- BIONDI, L. **DEA: Nova Metodologia para Determinação da Eficiência Relativa de Unidades Tomadoras de Decisão**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- CASADO, F. **Análise Envoltória de dados: Conceitos, metodologia e estudo da arte na Educação Superior**. Sociais e Humanas, Santa Maria, v. 20, p. 57-71.
- 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, 1978.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. Springer, 2005.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- CUSTOS GRÃOS. **Produção de soja e milho cresce mundialmente, mas não é competitiva**. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0866315001661798371.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.
- DRUCKER, P. F. Managing for business effectiveness. **Harvard Business Review**, [S.l.], maio 1963. Disponível em: <https://hbr.org/1963/05/managing-for-business-effectiveness>. Acesso em: 31 out. 2023.
- EMBRAPA. **Produção de soja no Brasil cresce mais de 13% ao ano**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25242861/producao-de-soja-no-brasil-cresce-mais-de-13-ao-ano>. Acesso em: 25 out. 2023.
- FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. **The measurement of productive efficiency - techniques and applications**. Oxford University Press, 1993.
- GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. T. (org). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52806/000728684.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 out. 2022.
- GOMES, E. G.; DE CARVALHO MANGABEIRA, J. A. **Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra**. Engevista, 2004.
- INACIO, A. **IBGE registra recorde na produção agrícola em 2020**. Disponível em: <https://www.bloomberglinea.com.br/2021/09/22/ibge-registra-recorde-na-producao-agricola-em-2020/>. Acesso em: 25 out. 2023.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2000.

- LOBATO, F. S. **Otimização multi-objetivo para o projeto de sistemas de engenharia**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2008.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados. In: **Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**, 12., 2006, Bauru. Anais... Bauru, 2006.
- OLIVEIRA, P. H. de. **Avaliação da Eficiência de Unidades de Inteligência Competitiva por meio da Data Envelopment Analysis (DEA)**. v. 13, n. 4, p. 57-75, 2014.
- OLIVEIRA, T. B. A.; BORNIA, A. C.; SILVEIRA, S. de F. R.; OLIVEIRA, M. W. de. **Análise de custos e eficiência de fazendas produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados**. V. 10, n. 1, p. 228-252, 2014.
- PANORAMA DO AGRO. **A CNA defende, trabalha e fala em seu nome e de todos os produtores rurais do Brasil**. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 22 out. 2022.
- PEÑA, C. R. **Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA)**. Revista de Administração Contemporânea, v. 12, p. 83-106, 2008.
- PINTO, M. B.; RODRIGUES, L. F. Análise envoltória de dados: aplicação do modelo CCR e do modelo BCC para a avaliação do desempenho de bibliotecas universitárias de uma IFES. RACEF - **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE**, v. 6, p. 80-96, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/6781>. Acesso em: 11 out. 2022.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.
- ROSSETTO, M.; PEÑA, C. R. A produtividade e o impacto da logística de distribuição na eficiência da sojicultura brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio** – REA. Vol. 16, n. 1, 2018.
- SICSÚ, A. B.; LIMA, J. P. R. **Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente**. Nova Economia, v. 10, n. 01, p. 109-138, 2000.
- SYNGENTA DIGITAL. **Como aumentar a produtividade na soja: 7 estratégias**. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/como-aumentar-a-produtividade-na-soja-old/>. Acesso em: 23 out. 2022.
- SEIXAS, C. D. S. *et al.* **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2022.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados em Cooperativas de Crédito Rural**. RAC, 2a. Edição Especial, p. 99-120, 2007.