



ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA NA CULTURA DE CANA-DE- AÇÚCAR EM PERNAMBUCO

Ákilas Dias Rocha

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(akilas.rocha@discente.univasf.edu.br)

Joaquim Pedro Andreatta Maduro

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(joaquim.maduro@discente.univasf.edu.br)

Fabiana Gomes dos Passos

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(fabiana.passos@univasf.edu.br)

Resumo

O presente estudo tem como tema a avaliação da eficiência produtiva da cultura da cana-de-açúcar em Pernambuco. O objetivo é analisar o desempenho dos 30 municípios que mais produziram em 2024, identificando aqueles que utilizam de forma mais eficiente os recursos disponíveis para gerar produção agrícola. Para isso, aplicou-se o método de Análise Envoltória de Dados (DEA), no modelo BCC orientado à saída, considerando como variável de entrada a área plantada e como variáveis de saída a quantidade produzida, o rendimento médio e o valor da produção. Os dados foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e normalizados antes da aplicação do modelo. Utilizou-se a correlação de *Spearman* para verificar a independência entre as variáveis, além do conceito do infinitesimal não-arquimediano, que minimiza os pesos nulos das unidades tomadoras de decisão (DMUs), permitindo diferenciar melhor os



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

níveis de eficiência. Os resultados indicaram São Lourenço da Mata como o município que alcançou eficiência máxima, servindo como referência para os demais, enquanto Itambé, Ipojuca e Paudalho apresentaram valores inferiores, evidenciando potencial de aprimoramento. Concluindo que o método DEA é uma ferramenta eficaz para compreender as diferenças de desempenho e apoiar estratégias voltadas à melhoria da eficiência agrícola no estado.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Análise Envoltória de Dados, Pernambuco, Agricultura.

Abstract

This study focuses on evaluating the productive efficiency of sugarcane cultivation in Pernambuco, Brazil. The objective is to analyze the performance of the 30 municipalities with the highest production in 2024, identifying those that use their available resources most efficiently to generate agricultural output. The Data Envelopment Analysis (DEA) method was applied using the output-oriented BCC model, considering the planted area as the input variable and the produced quantity, average yield, and production value as output variables. Data were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and normalized before applying the model. The Spearman correlation was used to verify the independence among variables, along with the concept of the non-Archimedean infinitesimal, which minimizes the null weights of decision-making units (DMUs), allowing a better distinction of efficiency levels. The results indicated that São Lourenço da Mata achieved maximum efficiency, serving as a benchmark for other municipalities, while Itambé, Ipojuca, and Paudalho showed lower values, revealing potential for improvement. It is concluded that the DEA method is an effective and accessible tool to understand performance differences and support strategies aimed at improving agricultural efficiency in the state.

Keywords: Sugarcane, Data Envelopment Analysis, Pernambuco, Agriculture.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Resumen

El presente estudio evalúa la eficiencia productiva del cultivo de caña de azúcar en Pernambuco, Brasil. Se analizó el desempeño de los 30 municipios con mayor producción en 2024, identificando aquellos que usan de forma más eficiente los recursos disponibles para generar producción agrícola. Se aplicó el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA), modelo BCC orientado a la salida, considerando como variable de entrada el área plantada y como variables de salida la cantidad producida, el rendimiento promedio y el valor de la producción. Los datos fueron obtenidos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) y normalizados antes de aplicar el modelo. Se utilizó la correlación de Spearman para verificar la independencia entre las variables, junto con el concepto del infinitesimal no arquimediano, que minimiza los pesos nulos de las unidades de decisión (DMUs), permitiendo diferenciar mejor los niveles de eficiencia. Los resultados mostraron que São Lourenço da Mata alcanzó eficiencia máxima, sirviendo como referencia para los demás municipios, mientras que Itambé, Ipojuca y Paudalho presentaron valores menores. Se concluye que el método DEA es una herramienta eficaz y accesible para comprender las diferencias de desempeño y apoyar estrategias para mejorar la eficiencia agrícola en el estado.

Palabras clave: Caña de azúcar, Análisis Envolvente de Datos, Pernambuco, Agricultura.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de 100 países, principalmente, em regiões tropicais e subtropicais, onde o clima quente e úmido favorece seu crescimento, representando uma importante fonte de mão de obra no meio rural nesses países. Em 2023, a produção global de cana-de-açúcar atingiu cerca de 2.026 milhões de toneladas, sendo essencial para a produção de açúcar e biocombustíveis, desempenhando um papel vital na economia agrícola global (FAO, 2023).

O Brasil é líder mundial em produção de cana-de-açúcar, produzindo cerca de 783 milhões de toneladas em 2023, a Índia é o segundo maior produtor com uma produção de aproximadamente 491 milhões de toneladas. A China é um dos principais contribuintes para a produção global produzindo cerca de 107 milhões de toneladas. Já a Tailândia produziu aproximadamente 94 milhões de toneladas, solidificando sua posição entre os maiores produtores. Esses países são responsáveis por uma parte substancial da produção mundial, enfatizando o papel central que desempenham no setor (FAO, 2023).

Segundo a revista Mais Agro (2024), a cana-de-açúcar tem grande relevância econômica e social para o Brasil, destacando-se entre as principais culturas agrícolas do país. No estado de Pernambuco, a produção de cana-de-açúcar mantém destaque regional, com uma safra de 14 milhões de toneladas no ciclo 2023/2024, o que consolida o estado como segundo maior produtor do Nordeste, atrás apenas de Alagoas (Belfort, 2024). No entanto, observa-se uma variação considerável na produtividade entre os municípios (IBGE, 2024), o que evidencia a importância de analisar como os recursos agrícolas são utilizados e quais fatores contribuem para um desempenho mais eficiente.

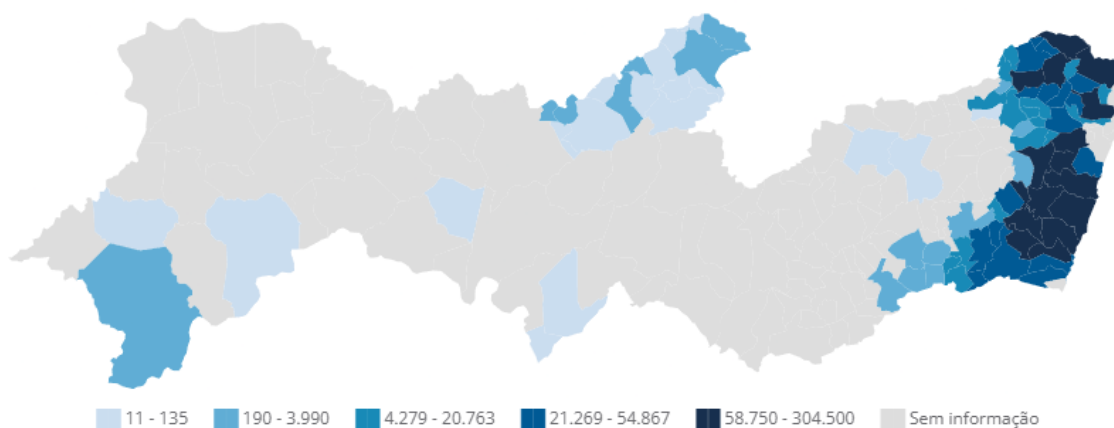
Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência produtiva a partir do método DEA-BCC orientado à saída, da cultura da cana-de-açúcar nos 30 municípios pernambucanos que mais produziram em 2024, buscando identificar quais localidades utilizam de forma mais eficiente os recursos disponíveis para alcançar maiores níveis de produção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do estado de Pernambuco, com forte presença na região da Zona da Mata, como mostra a Figura 01, onde há uma longa tradição de cultivo e beneficiamento (Embrapa, 2021). Essas áreas concentram a maior parte das terras plantadas e da produção estadual, o que faz dessa cultura uma importante fonte de renda para o meio rural (IBGE, 2024).

Figura 01: Valor da Produção de Cana-de-açúcar em Pernambuco em 2024

Mapa (26) - Cana-de-açúcar - Valor da produção (Mil Reais)



Fontes

[PAM](#): Valor da produção, Quantidade produzida, Área colhida, Rendimento médio, Maior produtor

[Censo Agropecuário](#): Estabelecimentos, Número de pés

Fonte: IBGE (2024)

Conforme TOTVS (2021), a análise da eficiência produtiva na agricultura busca compreender como diferentes unidades, sejam propriedades, municípios ou regiões, utilizam seus recursos para gerar resultados. Essa relação entre insumos e produtos é essencial para identificar o grau de aproveitamento dos fatores produtivos e o potencial de melhoria (TOTVS, 2024).

Com o avanço dos métodos quantitativos aplicados à gestão, várias abordagens foram criadas para medir a eficiência produtiva. Posto isso, entre elas a Análise Envoltória de Dados (DEA) desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), se consolidou como uma das principais ferramentas para avaliar o desempenho relativo de unidades

produtivas. A DEA é um método não-paramétrico que permite comparar múltiplas unidades com base em diferentes variáveis de entrada e saída, sem exigir o conhecimento prévio de uma função de produção. Essa característica oferece maior flexibilidade em contextos onde existem variabilidade de fatores, como clima, solo, tecnologia e práticas de manejo, tornando-a adequada para o setor agrícola. Ao identificar quais unidades se encontram na fronteira eficiente e quais apresentam margem de melhoria, a DEA possibilita compreender o uso dos recursos e orientar estratégias voltadas ao aumento da produtividade (Silva et al., 2022).

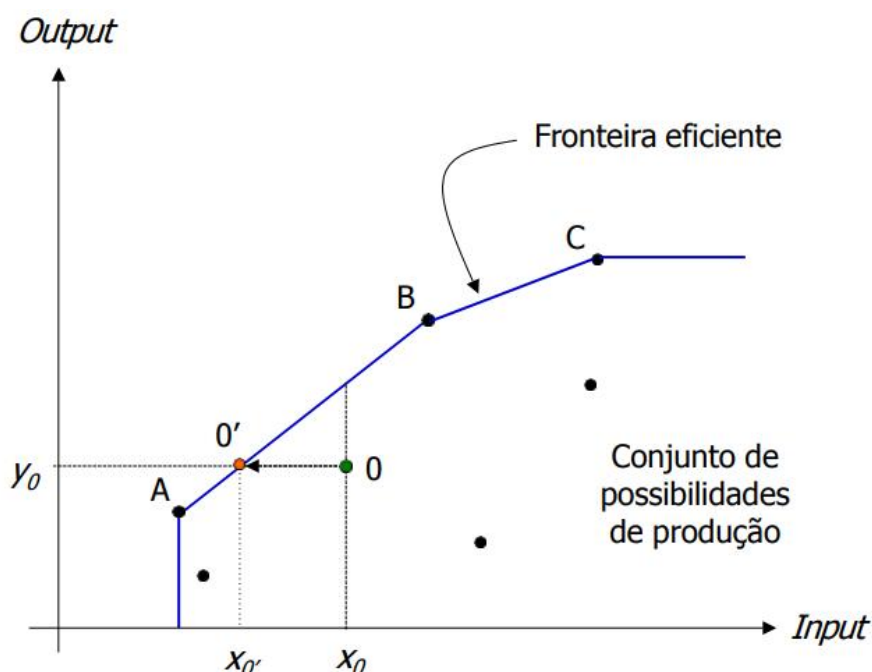
A DEA foi proposta inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com o modelo CCR, que considera retornos constantes de escala. Depois disso, Banker, Charnes e Cooper (1984) desenvolveram o modelo BCC, que admite retornos variáveis de escala, permitindo avaliar unidades de tamanhos diferentes sob condições mais realistas. A DEA utiliza programação linear para construir uma fronteira eficiente e medir o desempenho relativo de cada unidade produtiva, atribuindo índices de eficiência que variam entre 0 e 1 (Cooper, Seiford, Tone, 2000).

Nos trabalhos de Aydın e Unakıtan (2018); Li et al. (2017); Pereira e Tavares (2017); Souza et al. (2017); Parlakay et al. (2016); Atici e Podinovski (2015); Błażejczyk-Majka e Kala (2015); Liu et al. (2015); Li et al. (2012); Li et al. (2011); Santos et al. (2009) foi abordada a análise de desempenho através da DEA na produção de grãos e frutas.

Foi considerado o conceito do infinitesimal não-arquimediano, conforme proposto por Hatami-Marbini et al. (2017), o qual contribui para refinar a análise em situações com poucas unidades avaliadas. Esse conceito permite diferenciar pequenas variações de eficiência entre as unidades, oferecendo maior sensibilidade na comparação dos resultados e reduzindo o impacto de empates no ranking de desempenho.

A Figura 02 apresenta, de forma conceitual, a construção da fronteira eficiente no modelo DEA. As unidades localizadas sobre a linha azul representam combinações eficientes entre input e output, enquanto as que se encontram abaixo dessa fronteira indicam desempenho inferior, com potencial de melhoria em relação às unidades de referência.

Figura 02: Representação gráfica do modelo DEA



Fonte: Mello et al., 2005

No caso de Pernambuco, a diversidade de condições naturais, estruturais e tecnológicas entre os municípios influencia diretamente o desempenho agrícola. Enquanto as áreas da Zona da Mata contam com infraestrutura consolidada, outras partes enfrentam maiores limitações (IBGE, 2024).

À vista disso, a escolha do modelo DEA-BCC orientado à saída se mostra adequada para avaliar a eficiência produtiva da cultura da cana-de-açúcar em Pernambuco. Esse modelo considera as diferenças de escala e permite verificar o quanto cada município pode ampliar sua produção agrícola com os recursos disponíveis. Foram adotadas como variável de entrada a área plantada e como variáveis de saída a quantidade produzida, o rendimento médio e o valor da produção (Ferreira e Gomes, 2012).

Bem como, realizou-se a análise de correlação de *Spearman* entre as variáveis, com o objetivo de verificar se há relação significativa entre elas e evitar redundância de informações. Esse método estatístico mede se o aumento de uma variável tende a acompanhar o aumento ou a diminuição da outra, sem exigir uma relação linear entre elas. Dessa forma, a análise de *Spearman* contribui para garantir que cada variável

represente um aspecto diferente do fenômeno estudado, fortalecendo a consistência e a confiabilidade dos resultados obtidos pelo modelo DEA (Lima, 2021).

Posto isso, a aplicação da DEA permite compreender como os municípios pernambucanos utilizam seus recursos agrícolas e identificar aqueles que operam com maior eficiência produtiva.

3. MÉTODO

O presente estudo adota uma abordagem quantitativa e descritiva, com o objetivo de avaliar a eficiência produtiva da cultura da cana-de-açúcar nos municípios de Pernambuco. Foram analisados os 30 municípios com maior produção em 2024, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024).

A medida da eficiência técnica foi realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*, DEA), proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e posteriormente aprimorada por Banker, Charnes e Cooper (1984) com o modelo BCC, que admite retornos variáveis de escala. O modelo BCC orientado à saída foi escolhido por se adequar a contextos onde o objetivo é maximizar os resultados obtidos com os recursos disponíveis (Cooper et al., 2004).

Foi considerado como variável de entrada a área plantada e como variáveis de saída a quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção. O output área colhida foi excluído da análise por apresentar correlação perfeita com o input área plantada, conforme verificado pela análise de correlação de *Spearman* (Lima, 2021), utilizada para assegurar a independência das variáveis e a consistência dos resultados.

Os dados utilizados foram obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo realizada a análise de correlação de *Spearman* através do Minitab, software estatístico versão 2021, para verificar a independência entre as variáveis e garantir a consistência dos resultados.

Como sugerido por Passos (2020) foi necessário realizar o processo de ajuste de valores medidos em escalas diferentes para uma escala comum chamado de normalização de

dados, a partir da divisão pelo valor máximo, sendo uma técnica simples onde cada valor no conjunto de dados é dividido pelo maior valor absoluto presente nesse conjunto.

A linguagem de programação Visual Basic for Application (VBA), usada no Excel para automatizar tarefas através de macros (Microsoft, 2023) foi utilizada para aplicar o modelo DEA orientado a saída, permitindo a identificação dos 30 maiores municípios produtores de cana-de-açúcar em Pernambuco que utilizaram de maneira mais eficiente seus recursos agrícolas, gerando dados e informações para estratégias voltadas ao aumento da produtividade e melhor gestão dos recursos.

Logo depois foi inserido no modelo DEA orientado a saída, o infinitesimal não-arquimediano, conforme Hatami-Marbini et al. (2017), que contribui para minimizar os pesos nulos das unidades tomadoras de decisão (DMUs) estudadas (Hatami-Marbini et al., 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 01 apresenta os 30 municípios de Pernambuco com maior produção de cana-de-açúcar em 2024, segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM/IBGE, 2024). Esses municípios compõem a amostra utilizada no modelo DEA, representando as principais regiões produtoras do estado. As informações incluem área plantada, quantidade produzida, rendimento médio e valor total da produção, que foram posteriormente normalizadas para aplicação do modelo.

Tabela 01: Municípios de Pernambuco com maior produção de cana-de-açúcar em 2024

DMU	Município	Área plantada em Hectares	Área colhida em Hectares	Quantidade produzida em Toneladas	Rendimento médio (Quilogramas por Hectare)	Valor da produção em Mil Reais
1	Ipojuca (PE)	29.000	29000	1740000	60000	304500
2	Sirinhaém (PE)	22.271	22271	1429350	64180	242789
3	Escada (PE)	18.276	18276	1105698	60500	193497
4	Itambé (PE)	15.000	15000	883500	58900	148446
5	Aliança (PE)	10.000	10000	650000	65000	109961
6	Goiana (PE)	10.000	10000	639000	63900	107921

7	Primavera (PE)	10.917	10917	630457	57750	107178
8	Cabo de Santo Agostinho (PE)	9.000	9000	585000	65000	99450
9	Ribeirão (PE)	9.078	9078	544680	60000	92051
10	Igarassu (PE)	8.209	8209	478685	58312	81721
11	Vicência (PE)	8.000	8000	466400	58300	76933
12	Moreno (PE)	7.900	7900	456225	57750	86683
13	Rio Formoso (PE)	7.279	7279	407624	56000	74188
14	Vitória de Santo Antão (PE)	6.500	6500	390000	60000	64350
15	Gameleira (PE)	5.574	5574	345588	62000	58750
16	São Lourenço da Mata (PE)	4691	4691	328370	70000	59107
17	Itaquitinga (PE)	5000	5000	325000	65000	54867
18	Amaraji (PE)	5326	5326	308908	58000	43865
19	Paudalho (PE)	6100	6100	305000	50000	46330
20	Água Preta (PE)	4700	4700	267900	57000	41525
21	Timbaúba (PE)	4000	4000	260000	65000	43625
22	Palmares (PE)	4500	4500	256500	57000	46170
23	Araçoiaba (PE)	4072	4072	229987	56480	39263
24	Xexéu (PE)	3900	3900	225225	57750	40541
25	Tracunhaém (PE)	4000	4000	221728	55432	30687
26	Nazaré da Mata (PE)	4000	4000	210900	52725	31804
27	Ferreiros (PE)	3000	3000	184800	61600	31146
28	Barreiros (PE)	3000	3000	173250	57750	32051
29	Jaboatão dos Guararapes (PE)	3000	3000	173250	57750	31185
30	Buenos Aires (PE)	2600	2600	144690	55650	21269

Fonte: IBGE (2024)

A análise de correlação de *Spearman* entre as variáveis (Tabela 02) revelou uma correlação perfeita entre área plantada e área colhida ($\rho = 1,00$), indicando redundância

entre essas variáveis. Por essa razão, o output área colhida foi excluído da modelagem, permanecendo uma variável de entrada (área plantada) e três variáveis de saída: quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção. As demais correlações apresentaram valores inferiores a 0,99, garantindo independência suficiente para aplicação do modelo DEA-BCC.

Tabela 02: Matriz de correlação de *Spearman* entre as variáveis

Matriz Correlação de Spearman					
	Área plantada	Área colhida	Quantidade produzida	Rendimento médio	Valor da produção
Área plantada	1	1	0,99	0,39	0,97
Área colhida	1	1	0,99	0,39	0,97
Quantidade produzida	0,99	0,99	1	0,51	0,99
Rendimento médio	0,39	0,39	0,51	1	0,51
Valor da produção	0,97	0,97	0,99	0,51	1
Correlação de Spearman - Inputs vs Outputs					
Outputs					
	Área plantada	Área colhida	Quantidade produzida	Rendimento médio	Valor da produção
Input	Área plantada	1	0,99	0,39	0,97

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Após a etapa de validação das variáveis, aplicou-se o modelo DEA-BCC orientado à saída, com o objetivo de avaliar o desempenho relativo dos 30 maiores municípios produtores de cana-de-açúcar de Pernambuco em 2024, conforme dados do IBGE.

Os resultados de eficiência (Tabela 03) indicaram que São Lourenço da Mata (PE) foi o único município a atingir eficiência máxima (100%), configurando-se como referência para os demais. As eficiências variaram de 70,59% a 100%, com destaque também para Ferreiros (88,7%), Timbaúba (88,3%), Itaquitinga (92,6%) e Barreiros (83,3%), que apresentaram desempenhos próximos à fronteira eficiente. Por outro lado, municípios como Paudalho (70,5%), Ipojuca (74,1%) e Itambé (74,4%) mostraram menores níveis de eficiência, sugerindo a necessidade de melhor aproveitamento dos fatores produtivos e adoção de práticas mais otimizadas.

Tabela 03: Eficiências dos 30 maiores municípios produtores de cana-de-açúcar em Pernambuco (Modelo DEA-BCC)

Eficiências		
DMU	Município	BCC + infinitesimal
16	São Lourenço da Mata (PE)	100,00%
27	Ferreiros (PE)	88,71%
21	Timbaúba (PE)	93,08%
17	Itaquitinga (PE)	92,58%
28	Barreiros (PE)	83,27%
29	Jaboatão dos Guararapes (PE)	83,24%
30	Buenos Aires (PE)	80,21%
15	Gameleira (PE)	88,04%
24	Xexéu (PE)	82,84%
8	Cabo de Santo Agostinho (PE)	90,54%
5	Aliança (PE)	90,01%
23	Araçoiaba (PE)	80,87%
6	Goiana (PE)	88,48%
22	Palmares (PE)	81,51%
14	Vitória de Santo Antão (PE)	84,69%
20	Água Preta (PE)	81,19%
25	Tracunhaém (PE)	79,15%
18	Amaraji (PE)	82,16%
9	Ribeirão (PE)	83,52%
26	Nazaré da Mata (PE)	75,38%
11	Vicência (PE)	81,58%
10	Igarassu (PE)	81,60%
12	Moreno (PE)	81,26%
2	Sirinhaém (PE)	82,67%
13	Rio Formoso (PE)	78,94%
7	Primavera (PE)	79,57%

3	Escada (PE)	80,04%
4	Itambé (PE)	79,19%
1	Ipojuca (PE)	74,41%
19	Paudalho (PE)	70,59%
Infinitesimal não-arquimediano		
ϵ	0,0000003535885	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A aplicação do infinitesimal não-arquimediano ($\epsilon = 0,0000003535885$), conforme proposto por Hatami-Marbini et al. (2017), foi fundamental para refinar a comparação entre unidades com eficiências próximas de 1, evitando empates artificiais e aumentando o poder discriminatório do modelo. Esse ajuste possibilitou uma classificação mais precisa, especialmente considerando o número reduzido de unidades analisadas.

Os resultados obtidos indicam que a maioria dos municípios pernambucanos analisados apresenta níveis de eficiência próximos à fronteira, o que demonstra certo equilíbrio na utilização dos recursos produtivos disponíveis. Todavia, a diferença entre as unidades eficientes e ineficientes sugere que fatores econômicos e tecnológicos ainda exercem influência sobre o desempenho agrícola regional.

Esses resultados corroboram estudos de Silva et al. (2022) e TOTVS (2021), que destacam a influência das condições locais e do nível de investimento em tecnologia sobre a eficiência agrícola. Posto isso, políticas públicas voltadas à difusão de tecnologias, capacitação de produtores e incentivo à modernização das práticas rurais podem reduzir essas disparidades e contribuir para o aumento da produtividade no estado.

Além disso, a aplicação do modelo DEA-BCC orientado à saída demonstrou-se adequada ao contexto da agricultura pernambucana, por permitir identificar o potencial de expansão da produção sem a necessidade de aumento dos recursos empregados. A incorporação do infinitesimal não-arquimediano foi essencial para diferenciar unidades com eficiências próximas de 1, proporcionando maior precisão analítica e evitando classificações empatadas, como apontado por Hatami-Marbini et al. (2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência produtiva da cultura de cana-de-açúcar nos 30 maiores municípios produtores do estado de Pernambuco, utilizando o modelo DEA-BCC orientado à saída. Os resultados permitiram identificar diferenças relevantes no desempenho das unidades analisadas, mostrando que apesar de que a maioria dos municípios estejam próximos à fronteira eficiente, apenas São Lourenço da Mata atingiu eficiência máxima. Essa constatação reforça a importância de fatores estruturais, tecnológicos e de gestão na determinação da produtividade agrícola, conforme também destacado por Silva et al. (2022) e TOTVS (2021).

A aplicação do infinitesimal não-arquimediano, conforme Hatami-Marbini et al. (2017), mostrou-se eficaz para melhorar o poder discriminatório do modelo, permitindo diferenciar com maior precisão as unidades eficientes e aquelas com potencial de melhoria. Dessa forma, o método DEA demonstrou ser uma ferramenta robusta e acessível para apoiar o diagnóstico e o planejamento da produção agrícola, contribuindo para uma alocação mais racional dos recursos disponíveis.

Todavia, recomenda-se que estudos futuros ampliem o número de variáveis analisadas e não se restrinjam apenas aos 30 maiores produtores, para aprofundar a compreensão sobre os fatores determinantes da eficiência produtiva no setor. A inclusão de indicadores de clima, tecnologia e custos de produção poderá oferecer uma visão mais abrangente sobre os desafios e oportunidades da agricultura de cana-de-açúcar em Pernambuco, orientando políticas e estratégias voltadas ao aumento da produtividade.

REFERÊNCIAS

ATICE, K.B.; PODINOVSKI, V.V. Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture. *Omega* (United Kingdom), v. 54, p. 72-83, 2015.

AYDIN, B.; UNAKITAN, G. Efficiency analysis in agricultural enterprises in Turkey: case of Thrace Region. *Custos e @gronegocio on line*, Recife, v. 4, n. 2, Abr/Jun. p. 137-160., 2018.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BELFORT, A. Atual safra da cana-de-açúcar deve ficar em 14 milhões de toneladas em PE. *Movimento Econômico*, 17 mar. 2024. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/estados/pernambuco/2024/03/17/atual-safra-da-cana-de-acucar-deve-ficar-em-14-milhoes-de-toneladas-em-pe/>. Acesso em: 17 out. 2025.

BĹAŹEJCZYK-MAJKA, L.; KALA, R. On the combined estimation of technical efficiency and its application to agriculture. *Agricultural Economics (Czech Republic)*. v. 61, n. 10, p. 441-449, 2015.

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

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

EMBRAPA. Cana-de-açúcar. *Agência de Informação Embrapa*, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/atividades-economicas/cultivos/cana-de-acucar>. Acesso em: 17 out. 2025.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. Viçosa – MG, Ed. UFV, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO DATABASE. In: FAOSTAT. [Roma]: FAO, [2023]. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>. Acesso em: 08 nov. 2025.

GUZMÁN, I.; GUZMÁN, C.; ROMÁN, M. Linking human development and the financial responsibility of regions: combined index proposals using methods from Data Envelopment Analysis. *Social Indicators Research*, v. 152, n. 3, p. 877–902, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02338-3>.

HATAMI-MARBINI, A.; TOLOO, M. An extended multiple criteria data envelopment analysis model. *Expert Systems with Applications*, v. 71, p. 39-47, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.030>.

IBGE. Cana-de-açúcar em Pernambuco. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/pe>. Acesso em: 17 out. 2025.

LI, X.; ZHANG, Y.; LIANG, L. Measure of agricultural production input/output efficiency and the spatial disparity analysis in China. *Custos e @gronegocio online*, Recife, v. 13, n. 2, p. 408-420. 2017.

LI, D., T. Nanseki; S. Takeuchi. Measurement of agricultural production efficiency and the determinants in China based on a DEA approach: A case study of 99 farms from hebei province. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, v. 57, n.1, p. 235-244. 2012.

LI, D.; NANSEKI, T.; SHIGEYOSHI, T. Measurement of corn production efficiency in different counties of Hebei province, China: a model Basead on data envelopment analysis. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, v. 56, n.2, p. 409-415, 2011.

LIU, S.; ZHANG, P.; HE, X.; WANG, Z.; TAN, J. Productivity and efficiency change in China's grain production during the new farm subsidies years: Evidence from the rice production. *Custos e @gronegocio on line*, Recife, v.11, n.4, 2015.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

LIMA, M. O que é correlação de Spearman? *Blog Psicometria Online*, 14 fev. 2021. Disponível em: <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/o-que-e-correlacao-de-spearman/>. Acesso em: 17 out. 2025.

MAIS AGRO. Produção de cana-de-açúcar no Brasil: história, economia e manejo. *Syngenta Mais Agro*, 2024. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/producao-de-cana-de-acucar-no-brasil-historia-economia-e-manejo/>. Acesso em: 17 out. 2025.

MICROSOFT, Introdução ao VBA no Office. In: MICROSOFT, [2023]. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office> . Acesso em: 08 nov. 2025.

MINITAB, LLC. *Minitab Statistical Software* (versão 21). State College: Minitab, LLC, 2023. [Software].

PARLAKAY, O.; GÖZENER, B.; SAYILI, M. Production cost and technical efficiency in the enterprises producing sunflower in dry conditions: a case study of Edirne, Turkey. *Custos e @gronegocio on line*, Recife, v. 12, n.4, 2016.

PASSOS, F.G. DOS; FONTES, C.H.O.; NASCIMENTO, A.N. DO. Avaliação da eficiência de uma empresa exportadora de manga do Vale do São Francisco: um modelo em Análise Envoltória de Dados. *Custos e @gronegocio on line*, v. 16, n. esp., nov. 2020.

PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltório de dados (DEA). *Custos e @gronegocio online*, Recife, v. 13, p. 37-68, 2017.

SANTOS, V. F. dos; VIEIRA, W. C.; RUFINO, J. L. dos S.; LIMA, J. R. F. Análise da eficiência técnica de talhões de café irrigados e não irrigados em Minas Gerais:2004-2006. *Revista Economia e Sociologia Rural*, v.47, n.3, p. 677-698, 2009.

SILVA, G. M. C. D.; PÉRICO, A. E. Eficiência e sustentabilidade: uma análise econômica, social, ambiental e sustentável das usinas paulistas de cana-de-açúcar. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 60, n. 3, e238512, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238512>.

SOUZA, C. C.; SILVA, F. A.; DEBOLETO, G. A. G.; CARVALHO, L. M.; NETO, J. F.; FRAINER, D. M.; LEMES, L. H. B. Eficiência técnica de pequenos produtores de soja da região de Dourados (MS). *Revista Espacios*, v. 38, n 26, 2017.

TOTVS. Produtividade agrícola: como medir e aumentar a eficiência no campo. *TOTVS Blog de Gestão Agrícola*, 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/produtividade-agricola/>. Acesso em: 17 out. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

TOTVS. Eficiência produtiva: o que é e como melhorar seus resultados. *TOTVS Blog de Gestão Varejista*, 2024. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-varejista/eficiencia-produtiva-em-confeccoes/>. Acesso em: 17 out. 2025.