

FATORES DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS POLOS DE PRODUÇÃO DO SUDESTE E CENTRO-OESTE
Determinant factors of sugarcane technical efficiency in South-Eastern and Center-Western production poles

COELHO, Luísa Fancelli¹; BRAGAGNOLO, Cassiano².

Área de submissão: 17 - Desenvolvimento rural e local.

JEL: C60; Q16; Q29.

Resumo

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. A cana-de-açúcar é utilizada para produzir diversos produtos, dentre eles, a cachaça, o melado, entre outros, destacando-se o etanol e o açúcar. Diante da importância econômica da atividade, o objetivo deste estudo foi calcular a eficiência técnica na produção de cana-de-açúcar utilizando o método de análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) para uma amostra de municípios dos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso por meio de dados do Censo Agropecuário 2017 e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Adicionalmente, um modelo Tobit foi empregado para identificar as variáveis socioeconômicas que afetaram as eficiências na produção da cana-de-açúcar destes estados. Os resultados apontaram que as mesorregiões de Ribeirão Preto e São José do Rio Preto em São Paulo e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba em Minas Gerais apresentam eficiências maiores que as médias dos seus estados. Além disso, foi identificado que os estados têm diferenças socioeconômicas na produção de cana-de-açúcar, destacando-se as variáveis de crédito rural, agricultura familiar e escolaridade.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; DEA; Tobit.

Abstract

Brazil is the largest sugarcane producer in the world. Sugarcane is used to produce various products, including cachaça, molasses, among others, especially ethanol and sugar. Given the economic importance of the activity, the aim of this study was to calculate the technical efficiency in the production of sugarcane using the data envelopment analysis (DEA) method for a sample of municipalities in the states of São Paulo, Goiás, Minas Gerais and Mato Grosso using data from the 2017 Agricultural Census and the National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels. Additionally, a Tobit model was used to identify the socioeconomic variables that affected sugarcane production efficiencies in these states. The results showed that the mesoregions of Ribeirão Preto and São José do Rio Preto in São Paulo and Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba in Minas Gerais have higher efficiencies than the averages of their states. Furthermore, it was identified that the states have socioeconomic differences in the production of sugarcane, highlighting the variables of rural credit, smallholder farms and education.

Keywords: *Sugarcane; DEA; Tobit.*

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar brasileira destaca-se pela versatilidade de utilização podendo ser destinada à produção de energia por meio da cogeração de eletricidade, bem como para a produção de subprodutos como o bagaço, melaço e o açúcar (SILVA et al., 2021a). Adicionalmente, a conversão energética da produção de etanol de cana-de-açúcar é considerada uma das mais eficientes (SCHARLEMANN; LAURANCE, 2008).

A produção de cana-de-açúcar brasileira apresenta limitações na sua cadeia produtiva. Para minimizar estas limitações faz-se necessário desenvolver continuamente técnicas de boas práticas agrícolas (RODRIGUES; ROSS, 2020) e considerar, também, os limites de expansão da área plantada (JAISWAL et al., 2017). Além disso, para manter sua competitividade internacional, o setor sucroenergético necessita de constantes investimentos visando a produção industrial e agrícola da cana-de-açúcar (MILANEZ et al., 2015; RODRIGUES; ROSS, 2020).

¹ Departamento de Economia da Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba.

² Departamento de Economia da Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba.

Em adição aos pontos destacados anteriormente, existe a possibilidade de aumentar a competitividade internacional do setor através de ganhos de eficiência na produção, ou seja, produzindo uma quantidade maior de produto enquanto há uma redução ou estabilidade no uso de insumos³ (O'DONNELL, 2018) e, portanto, fazendo uma exploração economicamente mais vantajosa (TORQUATO; MARTINS; RAMOS, 2009). A Análise Envoltória de Dados, muitas vezes referida na literatura pelo seu acrônimo em inglês DEA (*Data Envelopment Analysis*), tem se mostrado uma abordagem adequada para mensurar a eficiência técnica relativa de unidades de produção denominadas unidades tomadoras de decisão (DMUs).

Desse modo, o objetivo deste estudo é determinar a eficiência técnica na produção de cana-de-açúcar para uma amostra de municípios dos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso por meio de dados do Censo Agropecuário 2017 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Para a análise, será utilizada a abordagem DEA, com orientação para os insumos e retornos constantes de escala, conhecida como DEA-CCR⁴ ou DEA-CRS (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Complementarmente, serão analisadas, através de um modelo Tobit, as variáveis socioeconômicas que influenciam estas eficiências da produção de cana-de-açúcar.

Além desta breve introdução, este estudo está dividido em mais quatro seções, sendo: revisão de literatura e panorama do setor sucroenergético, metodologia e tratamento dos dados, resultados e discussão e, por fim, as considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA E PANORAMA DO SETOR SUCROENERGÉTICO

Esta seção apresenta um breve panorama da produção de cana-de-açúcar e os resultados de alguns dos principais estudos disponíveis na literatura que trataram sobre a eficiência produtiva no setor sucroenergético com ênfase na produção de cana-de-açúcar.

De acordo com dados da CONAB (2020) o estado de São Paulo é o que possui a maior parcela na produção de cana-de-açúcar e na área colhida, sendo responsável por mais de 50% da produção. Esta supremacia deve-se ao fato do estado possuir melhores condições para o desenvolvimento da atividade, tais como, solo, clima, infraestrutura, etc. (DUARTE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2014; PEREIRA; TAVARES, 2017). O segundo maior estado produtor nacional de cana-de-açúcar é o estado de Goiás, com cerca de 11% de participação na área colhida de cana-de-açúcar e 12% na produção. Em terceiro lugar, está Minas Gerais que tem participação de 9,7% na área colhida e de 10,7% na produção de cana-de-açúcar. O Mato Grosso do Sul e o Mato Grosso ocupam, respectivamente, a quarta e a quinta posições entre os maiores produtores.

Alguns estudos mediram a eficiência técnica da produção de cana-de-açúcar para o Brasil, dentre os quais destacam-se Marin et al. (2008), Oliveira et al. (2014), Pereira e Tavares (2017) e Cardoso et al. (2019).

Marin et al. (2008) estimaram a eficiência da produção de cana-de-açúcar com respeito a influência do clima e parâmetros físicos do local, tais como aptidão do solo, déficit hídrico, pluviometria, temperatura entre outros.

Oliveira et al. (2014) avaliaram a eficiência técnica das unidades produtoras de cana-de-açúcar por meio de um modelo DEA calculado com dados coletados de 20 fazendas. Foram utilizados como insumos a análise do solo, o uso de fertilizantes e herbicidas, bem como, práticas de cultivo, trabalho e transporte da cana. Como produto o modelo considerou a receita da cana-de-açúcar. Os resultados apontaram que cinco unidades foram consideradas eficientes, enquanto as demais foram consideradas ineficientes, devido a problemas de escala.

³ Essa é uma das abordagens que podem explicar ganhos de eficiência.

⁴ CCR é a abreviatura do nome dos autores Charnes, Cooper e Rhodes (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

Analogamente, Pereira e Tavares (2017) calcularam a eficiência técnica para as maiores unidades produtoras de cana-de-açúcar do Brasil nos anos de 2008 e 2011 por meio de um modelo DEA orientado para os insumos. Os insumos considerados foram mecanização, trabalho, aluguel, custos administrativos e outros insumos, enquanto o produto considerado foi a produção de cana-de-açúcar. Dentre as regiões, a região Centro-Sul⁵ tradicional mostrou ser a mais eficiente, a região Nordeste⁶ mostrou ineficiências puras e de escala, enquanto a região Centro-Sul expansão⁷ apresentou ineficiências somente de escala. Os autores afirmam que o maior problema das usinas de cana-de-açúcar com relação à eficiência está relacionado à escala.

Por fim, Cardoso et al. (2019) constataram que há uma relação positiva entre a eficiência e a mecanização nas unidades produtoras de cana-de-açúcar de São Paulo e das regiões Nordeste e Centro-Oeste. Os autores também apontaram que a localização geográfica é um fator determinante na determinação da eficiência de produção.

Diversos autores discutem diferentes aspectos produtivos que afetam o índice de eficiência técnica na agricultura, como condições climáticas (SMEETS et al., 2008), qualidade e tipo de solo (MARIN et al., 2008; SMEETS et al., 2008; TORQUATO; MARTINS; RAMOS, 2009), variedade genética da cana-de-açúcar (SIQUEIRA; REIS, 2006) e infraestrutura (MARTINELLI et al., 2011).

Existe uma grande quantidade de estudos que calculam a eficiência na produção de um determinado setor e, em seguida, avaliam os fatores determinantes destas eficiências a partir de um modelo de regressão do tipo Tobit. Com respeito à avaliação da cana-de-açúcar, especificamente, Ambetsa et al. (2020) mediram a eficiência técnica da produção de pequenos agricultores no Quênia utilizando análise de fronteira estocástica. Em um segundo estágio de análise, os autores avaliaram os determinantes da eficiência através de um modelo Tobit, verificando que o tamanho das famílias, o acesso à assistência técnica e o crédito eram fatores que afetavam a eficiência positivamente com nível de significância de 1%. A variável idade, no entanto, apresentou uma influência negativa sobre a eficiência técnica.

3. METODOLOGIA E TRATAMENTO DOS DADOS

3.1. Metodologia

A metodologia empregada no estudo consiste na aplicação de um modelo do tipo DEA-CCR orientado aos insumos, seguido de uma análise dos determinantes da eficiência a ser realizada por meio de um modelo Tobit. Assim, na primeira etapa, um modelo do tipo DEA-CCR será utilizado para calcular as eficiências das unidades de produção de cana-de-açúcar e na segunda etapa, será realizada uma análise por meio de um modelo Tobit para inferir sobre as variáveis socioeconômicas que afetam as eficiências da cana-de-açúcar obtidas por meio do modelo DEA-CCR da primeira etapa.

A DEA é uma técnica de programação linear que calcula a eficiência relativa de uma determinada amostra de DMUs construindo uma fronteira relativa de produção (COELLI; RAO; BATTESE, 1998; O'DONNELL, 2018). As DMUs mais eficientes são aquelas que produzem a maior quantidade de produto dado um nível fixo de insumos ou utilizam a menor quantidade de insumos possível dado um nível fixo de produto. O modelo DEA-CCR com orientação aos insumos pode ser representado por meio das expressões (1), (2) e (3) (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011).

$$Eff = \min \sum v_i x_{i0} = q \quad (1)$$

⁵ A região Centro-sul tradicional é composta pelos estados de São Paulo sem região Oeste, Paraná e Rio de Janeiro.

⁶ Somente analisados os estados de Pernambuco e Alagoas.

⁷ Composta pelo Mato Grosso do Sul, região do Triângulo Mineiro em Minas Gerais, Goiás e Oeste Paulista.

$$\mu_r, v_i \geq 0; \quad \forall r, \forall i$$

s. a.

$$\sum v_i x_{ij} - \sum \mu_r y_{rj} \geq 0; \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum \mu_r y_{r0} = 1; \quad \forall r, \forall i \quad (3)$$

Em que y_{rj} e x_{ij} são os produtos e insumos, respectivamente, de cada DMU denotados por $j \{1, \dots, n\}$ e que devem ser positivos. Os termos μ_r e v_i são os pesos atribuídos a cada variável que serão resultado da solução do problema. Essas relações são duais e normalmente conhecidas como “Modelo de Farrell”, devido à formulação seminal proposta por Farrell (1957).

A expressão (4) apresenta a função de produção utilizada na primeira parte da análise do estudo, que considera a produção de cana-de-açúcar.

$$Q_{sug} = f(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad (4)$$

Na qual: Q_{sug} é a receita relativa da produção de cana-de-açúcar de cada município da amostra, que corresponde à razão entre a produção total de cana-de-açúcar do município e a quantidade de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar do município no ano de 2017; x_1 é a área colhida de cana-de-açúcar, calculada a partir da razão entre a área total de cana-de-açúcar colhida em cada município e a quantidade de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar do município no ano de 2017; x_2 é o número de empregados relativos na cana-de-açúcar, calculado pela razão entre o número de empregados total (temporários e permanentes) na cana-de-açúcar no município em 2017 e a quantidade de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar do município no ano de 2017; x_3 é o custo relativo com combustíveis e lubrificantes, calculado pela razão entre o custo total com combustíveis e lubrificantes para a cana-de-açúcar em cada município e a quantidade de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar do município em 2017 e x_4 é o custo relativo dos pesticidas na cana-de-açúcar em 2017, calculado pela razão entre os custos ou despesas totais com pesticidas em cada município para a cana-de-açúcar e a quantidade de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar do município no ano de 2017.

O uso de modelos do tipo Tobit como uma análise de segundo estágio, dentro do contexto de modelos do tipo empregado neste estudo, ajuda a compreender os fatores que determinam as eficiências calculadas na primeira etapa da análise. O modelo em questão foi desenvolvido por Tobin (1958) e é amplamente utilizado para análise de bases de dados que contém variáveis censuradas ou limitadas como variáveis dependentes. O modelo Tobit é apresentado pelas expressões (5) e (6) (WOOLDRIDGE, 2012).

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \mu | x \sim Normal(0, \sigma^2) \quad (5)$$

$$y = \max(0, y^*) \quad (6)$$

A variável y^* é gerada através do clássico modelo de regressão linear, portanto, possui distribuição normal dos erros com média condicional linear. Por fim, foram empregados o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e o teste de multicolinearidade de Farrar-Glauber (Farrar e Glauber, 1967) para verificar a adequação do modelo Tobit aos dados empregados.

3.2. Tratamento dos dados

Os dados acerca dos insumos do modelo DEA-CCR e das variáveis explicativas do modelo Tobit foram obtidos a partir do Censo Agropecuário 2017 divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). O Quadro 1 apresenta a descrição destas variáveis explicativas utilizadas na regressão Tobit. A variável dependente será a eficiência calculada para a produção de cana-de-açúcar na primeira etapa da análise.

Quadro 1. Descrição das variáveis utilizadas no modelo Tobit

Variável	Descrição
Agricultura familiar	Participação de agricultores familiares na produção (IBGE, 2017).
Assistência técnica	Porcentagem das propriedades de cana-de-açúcar que recebem assistência técnica (IBGE, 2017).
Crédito rural	Porcentagem das propriedades de cana-de-açúcar que tem acesso a crédito rural (IBGE, 2017)
Escolaridade	Média da escolaridade dos chefes de família nas lavouras temporárias de cada município (IBGE, 2017).
Idade	Média da idade dos chefes de família nas lavouras temporárias de cada município (IBGE, 2017)
Mulheres	Porcentagem de chefes de família do sexo feminino em propriedades de cana-de-açúcar de cada município (IBGE, 2017)
Receita	Porcentagem de estabelecimentos rurais que possuem como atividade principal a venda de produtos agrícolas (IBGE, 2017).
Usina	Variável binária: Se há usina de etanol no município (1) e se não há usina de etanol no município (0) (ANP, 2020).

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para o cálculo dos modelos utilizou-se o *software* R. O pacote “*deaR*” foi utilizado para calcular as análises de eficiências e o pacote “*VGAM*” foi utilizado para calcular o modelo Tobit da análise de segundo estágio.

Todos os dados empregados no modelo foram expressos em termos relativos de escala, fazendo-se uma razão entre o valor total da variável para o município e o número de estabelecimentos rurais existente no município. Os dados obtidos a partir deste procedimento, podem ser interpretados como propriedades “padrão”, ou seja, uma propriedade que contém as características médias para cada uma das localidades consideradas. Este procedimento foi necessário para controlar possíveis vieses relativos à escala de produção de cada município, bem como, ajudar a identificar a existência de outliers. Como os modelos DEA são sensíveis à *outliers*, utilizou-se um fator de correção, para moderar valores discrepantes da base de dados de cada estado. O procedimento de correção baseou-se em Souza et al. (2020) que separou os valores *outliers* da análise. Nesse caso, haverá um estreitamento dos valores discrepantes aos valores da amostra representado pela expressão (6).

$$f = \frac{\text{valor bruto da variável no município } i}{\text{desvio padrão da variável do estado}} \quad (6)$$

Este fator de correção é adicionado a cada município, fazendo com que alguns municípios tenham efeitos redutores e outros expansores. Todas as variáveis foram posteriormente analisadas por meio de gráficos *boxplot* para identificar o efeito da correção.

Adicionalmente, para atenuar possíveis erros de medição, foi adotado o método *bootstrap* para recalculas as eficiências (SIMAR; WILSON, 1998). Segundo Lemos *et al.* (2019), esse método consiste na repetição da amostragem dos dados, inferindo-se

estatisticamente sobre a distribuição da amostra, já que os modelos do tipo DEA não computam os intervalos de confiança das variáveis estimadas. Assim, somente as variáveis com estatísticas significativas calculadas através do método de *bootstrap* serão analisadas. Adicionalmente, as variáveis utilizadas no modelo DEA só foram consideradas caso tivessem valores positivos e diferentes de zero.

Além disso, seguindo as orientações propostas por Hirschauer e Musshoff (2014) foi necessário inserir uma variável endógena ao modelo para que a medida seja compatível já que o valor calculado pelo DEA é não-métrico. Hirschauer e Musshoff (2014) apontam que é possível usar os recíprocos dos valores DEA não métricos os quais fornecem uma medida métrica na forma de um índice que reflete os insumos usados pela DMU em consideração. Finalmente, as variáveis dependentes foram normalizadas antes de serem inseridas no modelo e submetidas ao teste Shapiro-Wilk.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme já discutido, foram selecionados para a análise os estados com maior produção de cana-de-açúcar e que possuíam informação disponível para análise, são estes: São Paulo, Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso. De acordo com dados da Conab (2021), esses quatro estados produziram em conjunto cerca de 81% na safra 2018/2019 e 83% da produção brasileira de cana-de-açúcar nas safras de 2019/2020 e 2020/2021.

4.1 São Paulo

Após a os ajustes realizados na base de dados, a amostra final para o estado de São Paulo é composta de dados provenientes de 240 municípios, o que contempla 37,4% do total de municípios do estado. Na Tabela 1 pode-se visualizar as estatísticas descritivas das variáveis que compõem a base de dados referente aos municípios do estado de São Paulo que compõem o modelo.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das eficiências calculadas para o estado de São Paulo – municípios selecionados – 2017

Estatística	Eficiência (entre 0 e 1)
Valor mínimo	0,08
Valor máximo	0,86
Valor médio	0,55
Desvio Padrão	0,17

Fonte: Resultados da pesquisa.

A maior parte das DMUs analisadas está na faixa de eficiência entre 0,5 e 0,6. De acordo com a tabela 1, o desvio padrão, por sua vez, foi de 0,17. Pereira e Tavares (2017) encontraram resultados que apontam para um nível de eficiência na produção de cana-de-açúcar de 0,7 nos anos de 2007 a 2012, utilizando dados de 15 DMUs, de São Paulo e outras regiões brasileiras, valor consideravelmente superior ao encontrado neste estudo. A quantidade de DMUs utilizada nos cálculos do modelo dos autores, o fato de utilizar dados em nível de propriedade rural ao invés de municípios, além da diferença na distribuição geográfica dos dados, são os motivos mais prováveis para a diferença nos resultados obtidos. Não foram encontradas DMUs com índice de eficiência igual a um.⁸ A Figura 1 apresenta a distribuição

⁸ Isto ocorreu devido ao uso da técnica de *bootstrap*. No cálculo do *bootstrap* as eficiências foram recalculadas duas mil vezes com a omissão de diferentes DMUs em cada um destes cálculos e só seria possível que um município obtivesse eficiência 1 caso apresentasse eficiência máxima em todas as simulações realizadas.

espacial das eficiências para o estado de São Paulo calculadas com base nos dados para o ano de 2017.⁹

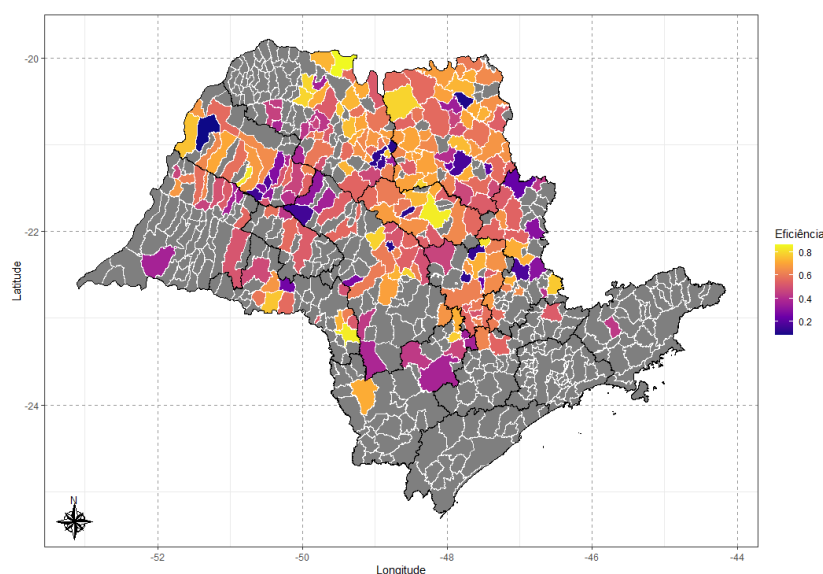


Figura 1. Distribuição espacial das eficiências da produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo – municípios selecionados – 2017

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por meio da Figura 1 verifica-se uma concentração de eficiências mais altas nas mesorregiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Araçatuba.¹⁰ A mesorregião de São José do Rio Preto apresentou uma concentração de eficiências próximas a 1, enquanto a mesorregião de Araçatuba parece ter eficiências mais próximas a zero. A Tabela 2 mostra a frequência dentro de cada faixa de classificação das eficiências para as mesorregiões do estado de São Paulo.

Tabela 2. Classificação das eficiências calculadas para as mesorregiões do estado de São Paulo em 2017 – número de municípios e participação percentual

Mesorregiões	Baixa ($< 0,5$)	Regular ($\geq 0,5$ e $< 0,8$)	Alta ($\geq 0,8$ e < 1)	Eficiente ($= 1$)
Araçatuba	9 (38%)	14 (58%)	1 (4%)	0 (0%)
Araraquara	1 (7%)	13 (87%)	1 (7%)	0 (0%)
Assis	1 (8%)	10 (83%)	1 (8%)	0 (0%)
Bauru	7 (30%)	15 (65%)	1 (4%)	0 (0%)
Campinas	6 (32%)	13 (68%)	0 (0%)	0 (0%)
Itapetininga	5 (63%)	3 (38%)	0 (0%)	0 (0%)
Macro Metropolitana Paulista	0 (0%)	2 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
Marília	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)
Piracicaba	4 (22%)	13 (72%)	1 (6%)	0 (0%)
Presidente Prudente	5 (38%)	8 (62%)	0 (0%)	0 (0%)
Ribeirão Preto	8 (15%)	45 (82%)	2 (4%)	0 (0%)
São José do Rio Preto	12 (26%)	31 (67%)	3 (7%)	0 (0%)

⁹ Os municípios que aparecem em cinza no mapa não foram considerados na análise devido à indisponibilidade de dados.

Vale do Paraíba Paulista	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
---------------------------------	----------	--------	--------	--------

Fonte: Resultados da pesquisa.

As mesorregiões de São José do Rio Preto, Araçatuba, Ribeirão Preto e Bauru possuem o maior número de DMUs com nível de eficiência inferior a 0,5. Já as regiões de Vale do Paraíba Paulista e Itapetininga são as que apresentam a maior proporção de municípios na faixa de eficiência baixa. As regiões de Ribeirão Preto e São José do Rio Preto possuem a maior quantidade de DMUs no nível de eficiência regular, isto é, acima de 0,5 e menores do que 0,8. Excluindo-se a região Macro Metropolitana Paulista, as regiões de Araraquara, Assis e Ribeirão Preto são as que apresentam a maior proporção de municípios na faixa regular de eficiência em comparação com as demais. A região de São José do Rio Preto é a que possui a maior quantidade de municípios com eficiência alta, ou seja, maior que 0,8 e menor que 1. Nenhuma região apresentou uma participação maior do que 8% dos municípios nesta faixa de eficiência.

As estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo Tobit são apresentadas na Tabela 3. O estado de São Paulo possui 15 mesorregiões, dentre as quais 13 mesorregiões tinham municípios pertencentes à base de dados.

Tabela 3. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na regressão para o estado de São Paulo – municípios selecionados – 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	D.P.
Agricultura familiar (%)	0,00	100,00	34,31	20,43
Assistência técnica (%)	13,50	100,00	69,80	20,09
Crédito rural (%)	0,00	90,00	60,57	10,04
Escolaridade (anos)	6,87	14,31	10,84	1,46
Idade (anos)	40,60	54,82	48,72	2,11
Mulheres (%)	0,00	45,45	8,74	8,08
Receita (%)	15,38	100,00	88,38	12,07
Usina	0,00	4,00	0,45	0,70

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir da Tabela 3 é possível observar que as variáveis “agricultura familiar” e “assistência técnica” são as que possuem maior desvio padrão e que as variáveis “mulheres” e “usina” apresentam os maiores valores para o desvio padrão em relação à média. Os menores valores de desvio padrão em relação à média são das variáveis “idade” e “escolaridade”, sendo que para a segunda o número máximo de anos de estudo médio para os municípios analisados é de 10,84 anos, que é equivalente a um nível educacional médio de ensino superior incompleto. Além disso, a proporção de mulheres como principais responsáveis por estabelecimentos rurais é menor que 50% em todos os municípios analisados, sendo que a proporção média é de pouco mais de 8% de mulheres apontadas como principais responsáveis pela produção canavieira na propriedade rural. Também é importante observar que a média de estabelecimentos rurais que possuem receita proveniente da venda de cana-de-açúcar é próxima a 90%, enquanto que a proporção média de estabelecimentos de agricultura familiar é de, apenas, 34%.

A amostra contempla 85 municípios que possuem pelo menos uma usina de etanol de cana-de-açúcar, o que representa 35,42% do total de municípios da amostra, que são representados no modelo por meio da variável “usina”. No total, 18 municípios contêm mais de 1 usina em seu território. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para o modelo Tobit do estado de São Paulo.

Tabela 4. Variáveis que afetam as eficiências do modelo – resultados do modelo Tobit para o estado de São Paulo

Variável	Estimador	Probabilidade
Intercepto 1	-1,04923	<2e-16***
Intercepto 2	-2,53139	<2e-16***
Assistência técnica	-0,00062	0,0055**
Crédito rural	0,00109	0,0128*
Escolaridade	-0,00128	0,6816
Idade	-0,00055	0,7951
Mulheres	0,00010	0,8459
Receita	-0,00015	0,6715
Usina	0,02401	8,78e-5***

*** nível de significância menor do que 1%, ** nível de significância menor que 5%, * nível de significância menor que 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

As variáveis “usina” e “crédito” apresentaram influência positiva na eficiência, ou seja, quanto mais usinas um município tiver e quanto mais crédito rural tiver sido usado pelos produtores rurais do município, em média, tem-se uma eficiência maior. A importância do crédito rural nas propriedades agrícolas é apontada por Medeiros et al. (2017). Por meio de um modelo de correção de erros (VEC), os resultados dos autores apontam que no curto prazo existe uma influência do crédito no aumento da quantidade de máquinas e no uso de fertilizantes e no longo prazo influência no aumento da área plantada.

Neste estudo, a variável assistência técnica apresentou influência negativa sobre a eficiência. Rodrigues et al. (2018), divergentemente, encontraram que a assistência técnica influencia positivamente no incremento da eficiência em São Paulo. No entanto, os autores utilizaram em seu modelo de fronteira estocástica a assistência técnica privada nos municípios, diferentemente desta análise que utilizou assistência técnica agregada podendo ser essa a explicação da diferença dos resultados. É importante ressaltar que a variável eficiência está altamente correlacionada ao tamanho da área plantada, o que por sua vez pode refletir na ineligibilidade de produtores com áreas maiores em receberem os serviços de assistência técnica.

Rodrigues et al. (2018) encontraram resultados indicando que a presença de usinas de etanol e açúcar influenciavam negativamente a eficiência. Os próprios autores apontaram que o resultado obtido era contraintuitivo. Neste estudo a presença de usinas no município afetou positivamente as eficiências, o que estaria de acordo com o esperado para a relação entre a variável e a eficiência.

4.2 Minas Gerais

Após a retirada dos municípios com falta de informações e os ajustes realizados na base de dados, a amostra final para o estado de Minas Gerais é composta por dados provenientes de 129 municípios, os quais possuem uma representação de 15,1% do total de municípios do estado. O resultado da eficiência técnica da cana-de-açúcar em Minas Gerais é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Estatísticas descritivas das eficiências calculadas para o estado de Minas Gerais (2017)

Estatística	Eficiência (entre 0 e 1)
Valor mínimo	0,04
Valor máximo	0,92

Valor médio	0,39
Desvio Padrão	0,23

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme pode ser observado por meio da Tabela 5, a média das eficiências é de 0,39, enquanto o menor valor calculado para a eficiência foi de 0,04 e o maior valor foi de 0,92. A Figura 2 apresenta o mapa com a distribuição espacial das eficiências calculadas para os municípios do estado de Minas Gerais com dados para o ano de 2017.

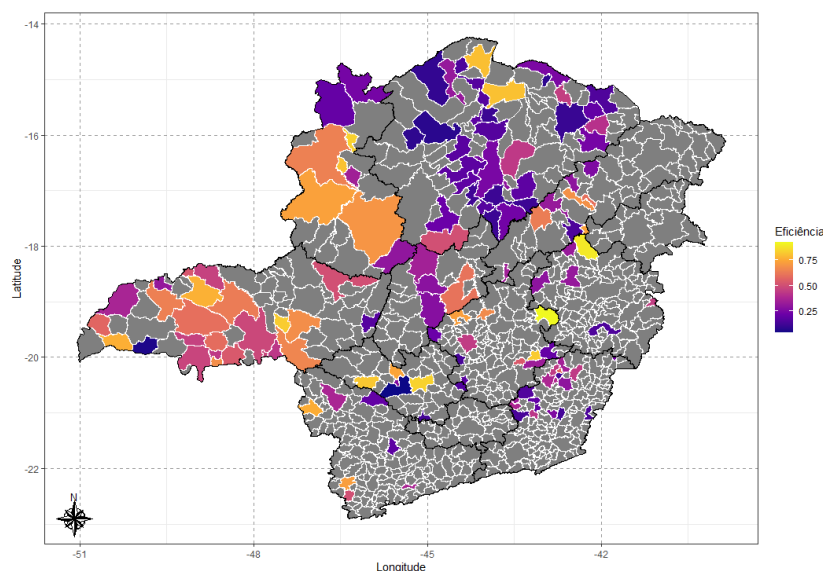


Figura 2. Distribuição espacial das eficiências da produção de cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais – municípios selecionados – 2017

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por meio da Figura 2 observa-se que é possível que haja uma concentração das eficiências mais elevadas nas mesorregiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Noroeste de Minas. É também interessante notar que as regiões que parecem ter uma influência positiva com relação a eficiência são limítrofes ao estado de São Paulo e próximas a mesorregião de São José do Rio Preto e Ribeirão Preto. A Tabela 6 apresenta a classificação das eficiências para as mesorregiões do estado de Minas Gerais. O estado de Minas Gerais possui 12 mesorregiões, dentre as quais 10 tinham municípios contidos na amostra.

Tabela 6. Classificação das eficiências calculadas com respeito a cada mesorregião do estado de Minas Gerais em 2017 – número de municípios e participação percentual

Mesorregiões	Baixa ($< 0,5$)	Regular ($\geq 0,5$ e $< 0,8$)	Alta ($\geq 0,8$ e < 1)	Eficiente ($= 1$)
Metropolitana de Belo Horizonte	6 (55%)	3 (27%)	2 (18%)	0 (0%)
Central Mineira	3 (75%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)
Jequitinhonha	6 (60%)	4 (40%)	0 (0%)	0 (0%)
Noroeste de Minas	4 (44%)	3 (33%)	2 (22%)	0 (0%)
Norte de Minas	26 (90%)	2 (7%)	1 (3%)	0 (0%)
Oeste de Minas	4 (57%)	1 (14%)	2 (29%)	0 (0%)
Sul/Sudoeste de Minas	4 (57%)	3 (43%)	0 (0%)	0 (0%)
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	11 (44%)	13 (52%)	1 (4%)	0 (0%)

Vale do Rio Doce	5 (83%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)
Zona da Mata	18 (95%)	1 (5%)	0 (0%)	0 (0%)

Fonte: Resultados da pesquisa.

As mesorregiões de Belo Horizonte, Noroeste de Minas e Oeste de Minas são as que possuem maior quantidade de municípios altamente eficientes. As mesorregiões do Norte de Minas e da Zona da Mata possuem as maiores quantidades de municípios com eficiência baixa, enquanto Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba, Sul/Sudoeste de Minas e Jequitinhonha possuem as maiores proporções de usinas na faixa regular de eficiência técnica. As estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo Tobit são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Estatística descritiva das variáveis utilizadas na regressão de Minas Gerais – municípios selecionados – 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	D.P.
Agricultura familiar (%)	0,00	100,00	63,32	28,02
Assistência técnica (%)	0,38	94,10	33,52	22,91
Crédito rural (%)	7,80	85,71	42,87	12,36
Escolaridade (anos)	7,57	25,48	14,16	2,88
Idade (anos)	45,74	55,51	48,85	1,68
Mulheres (%)	0,00	36,36	10,11	9,02
Receita (%)	7,52	98,75	47,04	24,84
Usina	0,00	4,00	0,22	0,57

Fonte: Resultados da pesquisa.

A variável “usina” é a única que possui desvio padrão maior que a média, sendo que dentre os municípios de Minas Gerais analisados somente cinco apresentaram mais que 1 usina no seu território e somente 16,3% dos municípios da amostra possuíam ao menos 1 usina. A proporção de agricultores familiares é maior do que em São Paulo, sendo que a média é de 63%. A proporção de mulheres responsáveis pelos estabelecimentos rurais é em média de, apenas, 10%. Quanto ao uso de crédito rural, a maior proporção é de 85,71% no município de Maria da Fé. A proporção de estabelecimentos em cada município que possuem renda proveniente da venda de cana-de-açúcar é menor do que a do estado de São Paulo, sendo em média de 47% em Minas Gerais.

As variáveis cujas estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 8 foram utilizadas para calcular o modelo Tobit. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos no cálculo do modelo Tobit para Minas Gerais.

Tabela 8. Resultados do modelo Tobit para o estado de Minas Gerais – municípios selecionados – 2017

Variável	Estimador	Probabilidade
Intercepto 1	-0,36982	0,0195*
Intercepto 2	-2,38974	<2e-16***
Assistência técnica	0,00091	0,2598
Crédito rural	0,00035	0,6359
Idade	0,01129	0,0511
Mulheres	-0,00073	0,5318
Receita	0,0011	0,0128**
Usina	-0,00035	0,9828

*** nível de significância menor do que 1%, ** nível de significância menor que 5%, * nível de significância de 5% e “” nível de significância de 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A variável receita apresentou influência positiva e significativa com relação a determinação da eficiência, ou seja, os municípios cujos estabelecimentos rurais apresentaram maior eficiência tem grande proporção de proprietários rurais que a principal fonte de renda é proveniente da cana-de-açúcar. Este resultado pode ser explicado pelo fato de Minas Gerais ser um importante polo na produção de cachaça de alambique, sendo responsável por 50% da fabricação total dessa bebida (PAIVA; BRITO, 2018). Portanto, para fabricação deste tipo de produto, a cana-de-açúcar precisa ter boa qualidade (SILVA et al., 2021b). Por conseguinte, esta oportunidade de mercado pode afetar o preço e o interesse dos agricultores venderem a cana-de-açúcar para as usinas.

4.3 Goiás

Após retirar-se da amostra os municípios com informações faltantes e realizar o ajuste aos *outliers*, a amostra final para o estado de Goiás é composta por informações provenientes de 42 municípios, que representa uma proporção de 17,1% do número total de municípios do estado.

A partir dos dados coletados foram calculadas as eficiências. A Tabela 9 apresenta as estatísticas descritivas das eficiências calculadas pelo modelo DEA-CCR orientado aos insumos para o estado de Goiás.

Tabela 9. Estatísticas descritivas das eficiências calculadas para o estado de Goiás (2017)

Estatística	Eficiência (entre 0 e 1)
Valor mínimo	0,07
Valor máximo	0,85
Valor médio	0,46
Desvio Padrão	0,22

Fonte: Resultados da pesquisa.

A média das eficiências é menor que 0,5, mostrando a predominância de DMUs com baixas eficiências em Goiás. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das eficiências calculadas para os municípios do estado de Goiás para o ano de 2017.

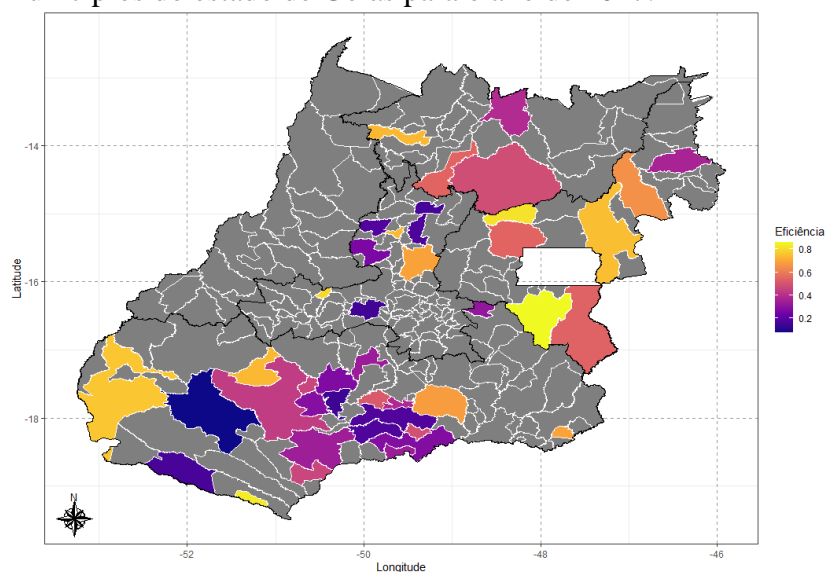


Figura 3. Distribuição espacial das eficiências da produção de cana-de-açúcar no estado de Goiás – municípios selecionados – 2017

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por meio da Figura 3 é possível aventar a hipótese de uma concentração de DMUs mais eficientes na mesorregião do Leste Goiano. A Tabela 10 apresenta a classificação das eficiências para cada mesorregião do estado de Goiás. O estado de Goiás possui 5 mesorregiões sendo que 4 delas contaram com ao menos 1 município na amostra analisada.

Tabela 10. Classificação das eficiências calculadas para cada mesorregião do estado de Goiás em 2017 – número de municípios e participação percentual

Mesorregiões	Baixa ($< 0,5$)	Regular ($\geq 0,5$ e $< 0,8$)	Alta ($\geq 0,8$ e < 1)	Eficiente ($= 1$)
Centro Goiano	4 (57%)	3 (43%)	0 (0%)	0 (0%)
Leste Goiano	1 (14%)	4 (57%)	2 (29%)	0 (0%)
Norte Goiano	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)
Sul Goiano	17 (74%)	6 (26%)	0 (0%)	0 (0%)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota-se que a mesorregião do Sul Goiano é a que possui maior quantidade e percentual de municípios com eficiência baixa, apesar de apresentar a maior quantidade bruta de municípios com eficiência regular, e o Leste Goiano é a que possui a maior quantidade e percentual de municípios com eficiência nas faixas regular e alta. As estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo Tobit são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Estatística descritiva das variáveis utilizadas na regressão do estado de Goiás – municípios selecionados – 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	D.P.
Agricultura familiar (%)	0,00	100,00	44,05	37,73
Assistência técnica (%)	3,85	100,00	49,02	33,95
Crédito rural (%)	0,00	58,73	28,36	16,74
Escolaridade (anos)	9,21	17,13	11,78	1,72
Idade (anos)	46,34	51,22	49,21	1,09
Mulheres (%)	0,00	62,50	6,72	11,84
Receita (%)	18,75	100,00	73,58	25,43
Usina	0,00	2,00	0,50	0,67

Fonte: Resultados da pesquisa.

No estado de Goiás, quatro municípios possuem mais do que uma usina instalada, sendo que a proporção de municípios que possuem ao menos uma usina é de 40,47%. A média da quantidade de usinas é a maior dentre os estados analisados. A proporção média de mulheres responsáveis por estabelecimentos rurais é a menor dentre os estados avaliados, sendo de apenas 6,7%. A proporção da receita proveniente da venda de cana-de-açúcar nos municípios é superior a 70%, apenas menor que a de São Paulo. A proporção de estabelecimentos nos municípios que usufruem de crédito rural é a menor dentre os estados analisados, sendo de 28,4%. A partir dos dados apresentados na Tabela 11 foi feita uma regressão para estabelecer os determinantes das eficiências por meio de um modelo Tobit. A Tabela 12 mostra os resultados obtidos para o modelo Tobit em Goiás.

Tabela 12. Resultados do modelo Tobit para o estado de Goiás – municípios selecionados – 2017

Variável	Estimador	Probabilidade
----------	-----------	---------------

Intercepto 1	3,0944	0,03251*
Intercepto 2	-0,71093	<2e-16***
Agricultura familiar	0,006291	0,00923**
Crédito rural	-0,005314	0,24532
Escolaridade	-0,02679	0,58414
Idade	-0,03335	0,60597
Mulheres	0,00903	0,19997
Usina	-0,02679	0,7908

*** nível de significância menor do que 1%, ** nível de significância de 1%, * nível de significância de 5% e " nível de significância de 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados do modelo Tobit mostram que a variável “agricultura familiar” afetou significativamente e positivamente a eficiência dos municípios do estado de Goiás.

Oliveira et al. (2017) destacam que a Emater em Goiás é um dos órgãos públicos de extensão que contribuem diretamente para a redução da desigualdade regional dos agricultores familiares goianos, portanto, a concentração de agricultores familiares produzindo cana-de-açúcar pode promover a ação pública de extensão rural. É também importante destacar que a variável assistência técnica se mostrou fortemente correlacionada com a variável agricultura familiar, desse modo sugere-se que a assistência técnica também seja um fator relevante para a produção canavieira em Goiás.

4.4 Mato Grosso

Após a retirada dos municípios com falta de informações e das adequações feitas na base de dados, a amostra final para o estado de Mato Grosso é composta de dados provenientes de 18 municípios, sendo que a amostra corresponde a 18,1% do total de municípios existentes no estado de Mato Grosso.

A Tabela 13 apresenta as estatísticas descritivas das eficiências técnicas calculadas pelo modelo DEA-CCR orientado aos insumos para os municípios do estado de Mato Grosso.

Tabela 13. Estatísticas descritivas das eficiências calculadas para o estado de Mato Grosso (2017)

Estatística	Eficiência (entre 0 e 1)
Valor mínimo	0,17
Valor máximo	0,92
Valor médio	0,57
Desvio Padrão	0,23

Fonte: Resultados da pesquisa.

Embora não existam municípios com eficiências entre 0,6 e 0,7 que pertenceriam a faixa regular de eficiência, a média das eficiências técnicas dos municípios é de 0,57, que está dentro desta faixa de eficiência. A Figura 4 apresenta as eficiências calculadas separadas por mesorregião para a amostra de municípios pertencentes ao estado de Mato Grosso com dados do Censo Agropecuário 2017.

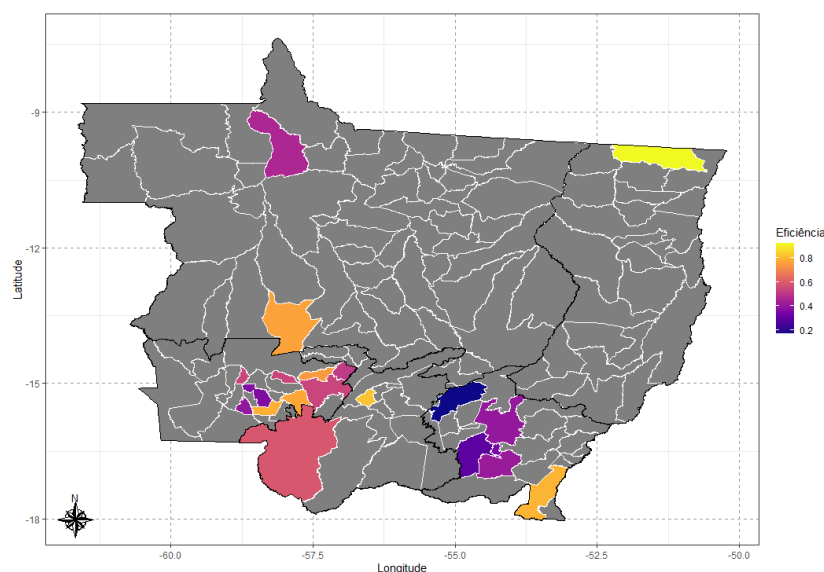


Figura 4. Distribuição espacial das eficiências da produção de cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso – municípios selecionados – 2017
 Fonte: Resultados da pesquisa.

Por meio da Figura 4 é possível observar que a mesorregião do Sudoeste Mato-Grossense parece ter uma concentração de municípios com eficiência abaixo de 0,5. A Tabela 14 apresenta a classificação das eficiências para cada mesorregião do estado de Mato Grosso. Cabe ressaltar que, o estado de Mato Grosso possui cinco mesorregiões sendo que todas as mesorregiões contaram com ao menos um município na amostra analisada.

Tabela 14. Classificação das eficiências calculadas para cada mesorregião do estado de Mato Grosso em 2017 – número de municípios e participação percentual

Mesorregiões	Baixa ($< 0,5$)	Regular ($\geq 0,5$ e $< 0,8$)	Alta ($\geq 0,8$ e < 1)	Eficiente ($= 1$)
Centro-Sul Mato-Grossense	0 (0%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)
Nordeste Mato-Grossense	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)
Norte Mato-Grossense	1 (50%)	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)
Sudoeste Mato-Grossense	2 (29%)	5 (71%)	0 (0%)	0 (0%)
Sudeste Mato-Grossense	5 (83%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Dentre as mesorregiões, o Sudoeste Mato-Grossense é o único que não possui municípios com eficiência alta. As estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo Tobit são apresentadas na Tabela 15. Além das variáveis descritas na Tabela 15, também foram incluídas as variáveis binárias para representar as mesorregiões do estado.

Tabela 15. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na regressão de Mato Grosso – municípios selecionados – 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	D.P.
Agricultura familiar (%)	0,00	100,00	66,45	41,33
Assistência técnica (%)	1,70	84,03	22,81	21,14
Crédito rural (%)	0,00	100,00	55,29	27,92
Escolaridade (anos)	4,47	6,84	5,40	0,63
Idade (anos)	45,90	59,22	49,94	3,17

Mulheres (%)	0,00	40,00	15,08	13,60
Receita (%)	19,23	100,00	67,06	25,55
Usina	0,00	1,00	0,22	0,48

Fonte: Resultados da pesquisa.

A variável “Usina” apresentou a maior variação relativa dentre todas as variáveis sendo duas vezes maior que a média. Na amostra do estudo existe uma proporção de 22% de municípios com uma usina. A média da proporção de agricultores familiares é a maior dentre os estados analisados (66,5%), enquanto a média da proporção de estabelecimentos que utilizam crédito rural é a menor (22,8%). O desvio-padrão da variável “idade” é o maior dentre todos os estados analisados (3,17 anos). A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos para os fatores que determinam a eficiência técnica, calculado por meio do modelo Tobit, para o estado do Mato Grosso.

Tabela 16. Resultados do modelo Tobit para o estado de Mato Grosso – municípios selecionados – 2017

Variável	Estimador	Probabilidade
Intercepto 1	2,04551	0,00738*
Intercepto 2	-2,05832	<2e-16***
Agricultura familiar	-0,00304	0,15885
Assistência técnica	-0,00135	0,50749
Crédito rural	0,00031	0,85993
Escolaridade	-0,09031	0,30892
Idade	0,03019	0,03081*
Mulheres	-0,00725	0,01710
Receita	-0,00649	0,00197**
Usina	-0,01251	0,94175

*** nível de significância menor do que 1%, ** nível de significância de 1%, * nível de significância de 5% e " nível de significância de 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ao contrário dos resultados obtidos para os outros estados, a receita apresentou impacto negativo e significativo a 5% na determinação da eficiência dos municípios que possuem estabelecimentos rurais produtores de cana. Assim, quanto maior a receita proveniente da cana-de-açúcar de um produtor espera-se que, em média, haja um decréscimo na eficiência do estabelecimento rural administrado por ele.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi calcular a eficiência técnica através de um modelo DEA-CCR com orientação aos insumos a partir da produção de cana-de-açúcar para uma amostra de municípios dos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso no ano de 2017. Complementarmente, foram analisadas, através de um modelo Tobit, as variáveis socioeconômicas que influenciam as eficiências da produção de cana-de-açúcar em cada um destes estados.

Foi verificado que todos os estados apresentaram diferentes resultados de eficiência que variavam para as diferentes mesorregiões que o compõem, devido às disparidades nas características de produção e socioeconômicas. Observou-se também uma concentração de DMUs nas mesorregiões de Ribeirão Preto e São José do Rio Preto em São Paulo e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba em Minas Gerais.

As variáveis socioeconômicas inseridas no modelo Tobit apresentaram diferentes influências para cada estado. O Mato Grosso foi o único estado que teve como determinante a idade dos produtores rurais. Para o estado de São Paulo o incremento da eficiência foi relacionado positivamente com o crédito rural e negativamente com a assistência técnica. Em Minas Gerais os produtores de cana-de-açúcar com maior nível de eficiência são os que possuem maior renda proveniente da venda de cana-de-açúcar, enquanto no estado de Goiás a agricultura familiar possui índices de eficiência mais altos que a média.

Existe uma série de limitações nos resultados deste estudo, a principal delas é quanto à disponibilidade limitada de dados. Adicionalmente, o conjunto de dados utilizado neste estudo não considerou informações edafoclimáticas, que como foi visto na revisão da literatura, são importantes fatores determinantes da eficiência. Também não foi possível avaliar a eficiência das usinas na produção conjunta de açúcar e álcool devido à indisponibilidade de dados para tal análise.

Para futuros estudos sugere-se que outras variáveis como preço da cana-de-açúcar e do etanol, quantidade de tratores, bem como outras informações relacionadas às DMUs produtoras de cana-de-açúcar sejam utilizadas na estimação do modelo DEA. Além disso, acredita-se que com o uso de informações primárias, tanto com respeito às propriedades rurais quanto, principalmente, às usinas, poder-se-ia obter resultados mais específicos e precisos. Além disso, a adição de variáveis que quantificassem os impactos ambientais poderia ser importante para avaliar a eficiência ambiental na produção de etanol e cana-de-açúcar brasileira. Por fim, sugere-se, ainda como possibilidade para trabalhos futuros, comparar os resultados obtidos por meio de DEA com outros métodos para o cálculo de eficiência técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBETSA, F. L.; MWANGI, S. C.; NDIRANGU, S. N. Technical efficiency and its determinants in sugarcane production among smallholder sugarcane farmers in Malava sub-county, Kenya. **African Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 3, p. 351–360, 2020.
- ANP. **Painel dinâmico de produtores de etanol**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/etanol/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol>>. Acesso em: 24 set. 2020.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, set. 1984.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. **Empirical Economics**, v. 20, p. 325–332, 1995.
- CARDOSO, T. F. et al. A regional approach to determine economic, environmental and social impacts of different sugarcane production systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 9–20, jan. 2019.
- 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.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Boston, MA: Springer US, 1998.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. In: SPRINGER (Ed.). **Handbook on Data Envelopment Analysis**. Boston, MA: [s.n.]. p. 1–39.
- FARRAR, D. E.; GLAUBER, R. R. Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited. **The Review of Economics and Statistics**, v. 49, n. 1, p. 92–107, 1967.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency <http://www.jstor.org/stab>.

- Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.
- IBGE. **Censo Agropecuário - Resultados Definitivos**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- JAISWAL, D. et al. Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 11, p. 788–792, 2017.
- LEMOS, S. V. et al. Agroindustrial best practices that contribute to technical efficiency in Brazilian sugar and ethanol production mills. **Energy**, v. 177, p. 397–411, 2019.
- MARDANI, A. et al. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, n. May, p. 1298–1322, 2017.
- MARIN, F. R. et al. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1449–1455, 2008.
- MARTINELLI, L. A. et al. Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: Evidence from the state of São Paulo. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 5, p. 419–428, jun. 2011.
- MEDEIROS, A. P. et al. Análise do impacto do crédito rural na produção agrícola brasileira no período 2006 - 2014. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, 2017.
- MILANEZ, A. Y. et al. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **Biocombustíveis**, p. 277–302, 2015.
- O'DONNELL, C. J. **Productivity and Efficiency Analysis**. [s.l.] Springer Singapore, 2018.
- OLIVEIRA, G. R.; ARAÚJO, F. M.; QUEIROZ, C. C. A importância da assistência técnica e extensão rural (ATER) e do crédito rural para a agricultura familiar em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 528–551, 2017.
- OLIVEIRA, T. B. A. et al. Analyzing the costs and efficiency in the sugarcane farms using data envelopment analysis. **Custos e Agronegócio**, v. 10, n. 1, p. 228–252, 2014.
- PAIVA, A. L.; BRITO, M. J. A Configuração das Lógicas Institucionais do Campo da Cachaça de Alambique em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 4, p. 701–718, 2018.
- PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Efficiency of major producing regions of sugar cane through Data Envelopment Analysis (DEA). **Custos e Agronegócio**, v. 13, n. Special Edition, p. 37–70, 2017.
- RODRIGUES, G. S. DE S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 2020.
- RODRIGUES, M. A. et al. Eficiência técnica na produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: **Contribuição da FAPESP ao desenvolvimento da agricultura do estado de São Paulo**. [s.l.: s.n.]. p. 414.
- SCHARLEMANN, J. P. W.; LAURANCE, W. F. How Green Are Biofuels? **Science**, v. 319, p. 43–45, 2008.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591, dez. 1965.
- SILVA, D. L. G. et al. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. 1–17, 2021a.
- SILVA, N. C. et al. Avaliação das Boas Práticas de Fabricação na fabricação de cachaça de alambique de três regiões de Minas Gerais e do Sul Fluminense. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42441–42456, 2021b.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. **Management Science**, v. 44, n. 1, p. 49–61, jan. 1998.
- SIQUEIRA, P. H. DE L.; REIS, B. DOS S. Determinantes da competitividade na

agroindústria processadora de cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p. 202–215, 2006.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 8, p. 781–813, ago. 2008.

SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; ALVES, E. R. A. Função de produção com base nos microdados do Censo Agropecuário de 2017. **Revista de Política Agrícola**, n. 4, p. 18, 2020.

TOBIN, J. Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. **Econometrica**, v. 26, n. 1, p. 24, jan. 1958.

TORQUATO, S. A.; MARTINS, R.; RAMOS, S. DE F. Cana-de-açúcar no estado de São Paulo: Eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 5, p. 92–99, 2009.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação benchmarking-dea: O caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 51–67, 2006.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. 5° ed. Michigan: [s.n.].