

Eficiência na produção das principais matérias-primas vegetais exploradas para o biodiesel no Brasil

Efficiency in the production of the main vegetables raw materials explored for biodiesel in Brazil

Simão Pereira da Silva¹, Alexandre Sylvio Vieira da Costa Vieira²

RESUMO: O Brasil, para cumprir seus compromissos sobre mudança climática (Paris/2015 e COP/2021), estabeleceu metas anuais de descarbonização para o setor de combustíveis. Este estudo analisa a eficiência na produção das principais oleaginosas classificadas como óleos fixos ou triglicéridos, exploradas pela indústria do biodiesel. A técnica de análise da eficiência foi a Análise Envolvória de Dados. O *output* foi a produtividade, os *inputs* foram os custos fixos e variáveis, coletados de julho a setembro/2021 nas plataformas digitais oficiais. Selecionou-se a soja, o milho e o algodão que integram a base de produção do biodiesel desde 2011 (de 49 municípios produtores). De 23 produtores de soja, 13 têm eficiência máxima e 10 necessitam de ajustes para se tornarem eficientes. Entre os eficientes na produção da soja, o custo médio do kg/ha da soja produzida é de R\$ 1,09, entre os ineficientes é R\$ 1,25 (14,67% majorado). Dentre os 19 produtores de milho, 6 têm eficiência máxima e 13 precisam de ajustes para se tornarem eficientes. Entre os eficientes na produção do milho, o custo médio do kg/ha do milho é R\$ 0,54, entre os ineficientes é R\$ 0,66 (22,25% majorado). Dos 7 produtores de algodão em plumas, 6 têm eficiência máxima e 01 é ineficiente; entre os eficientes na produção do algodão, o custo médio do kg/ha de algodão é R\$ 6,54 e no ineficiente é R\$ 7,90 (20% superior). Com ajustes principalmente no insumo SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos), 24 ou 49% de 49 municípios produtores podem alcançar a eficiência máxima.

Palavras-chave: Análise Envolvória de Dados. Bioenergia. Eficiência Energética. Oleaginosas.

ABSTRACT: The Brazil, to accomplish your appointments about climate changes (Paris Agreement/2015 and COP26/2021), established annual goals of decarbonization to the fuels department. This study analyze the efficiency of the oilseeds production classified as fixed oils or triglycerides, demanded by the biodiesel industry. The efficiencies' analyze of the technique was a Data Envelopment Analysis. The output was the production volume, the inputs were the fixed variables and costs, collected from July to September/2021 on official digital platforms. Were selected the soy, the corn and the cotton that have been part of the biodiesel production base since 2011 (from 49 producing counties). Of 23 soy producers, 13 have maximum efficiency and 10 needs adjustments to become efficiencies. Among the efficiencies the produced soy kg/ha medium cost is R\$ 1,09, among the inefficiencies is R\$ 1,25 (14,67% increased). Among the 19 corn producers, 6 has the maximum efficiency and 13 needs adjustments to become efficiencies. Among the efficiencies the corn kg/ha medium cost is R\$ 0,54, among the inefficiencies is R\$ 0,66 (22,25% increased). Of the 7 cotton producers, 6 has the maximum efficiency and 1 is inefficient, between the efficiencies the cotton kg/ha medium cost is R\$ 6,54, and in the inefficient is R\$ 7,90 (20% over). With the adjustments mostly in SSFP input the seeds/seedlings, fertilizers and pesticides 24 or 49% of 49 producers counties can reach the maximum efficiency.

Keywords: Bioenergy. Data Envelopment Analysis. Energy Efficiency. Oilseeds.

Autor correspondente: Simão Pereira da Silva
E-mail: professorsimao@ufvjm.edu.br

Recebido em: 19/12/2021
Aceito em: 19/01/2023

¹ Doutorando em Biocombustíveis pelo PPGBIC UFVJM/UFU Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri / Universidade Federal de Uberlândia. Brasil.

² Pós-Doutorado em Geociências, Doutorado e Mestrado em Fitotecnia, Engenheiro Agrônomo. Docente Permanente do PPGBIC/UFVJM-UFU (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri / Universidade Federal de Uberlândia. Brasil.



INTRODUÇÃO

Devido às consequências ambientais para o aquecimento global decorrente do consumo dos combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural e à possibilidade de esgotamento dessas fontes energéticas, a busca por fontes renováveis capazes de substituir essas fontes tradicionais é um dos principais desafios enfrentados neste início de século. Dentre as fontes renováveis aptas a esse desafio, destaca-se o biodiesel de origem vegetal, animal ou microbiana.

Nesse contexto, surgiu em 2005 o PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (Santos, 2012), cujo objetivo foi a implementação sustentável da produção e uso do biodiesel, tendo como matéria-prima principal as oleaginosas com ampla aptidão agrícola no Brasil (Brasil, 2016). Somando-se ao PNPB, surgiu em 2017 o RENOABIO (Política Nacional de Biocombustíveis), que postula cumprir os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris de 2015, tendo como meta principal a descarbonização no setor de combustíveis visando aumentar a participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030 com redução de 10% da sua IC (Intensidade de Carbono), atualmente em 14% (EPE, 2022).

Buscando o alcance desse marco regulatório, uma das alternativas é o biodiesel (biocombustível de origem renovável), cuja utilização contribui no desenvolvimento econômico de maneira sustentável e no alcance das metas de descarbonização. Apesar dos importantes avanços da produção nacional do biodiesel, cerca de 6,4 milhões de M³ em 2020 (EPE, 2021), há questões relativas à produção das suas matérias-primas vegetais que despertam inquietações: diferentes cultivos, diversificação e regionalização dos insumos, forma de produção, áreas de plantio, a variedade e as condições para o cultivo impactam de maneiras diferentes a produção. Assim, surgem questões relacionadas à eficiência da produção, que condicionam a quantidade das fontes vegetais renováveis. Diante disso, esta pesquisa orientou-se pela identificação dos insumos de produção e da produtividade (primeira safra 2021) das principais matérias-primas vegetais (MPV) exploradas na geração do biodiesel no Brasil, com o objetivo de analisar a eficiência na produção dessas matérias-primas vegetais por meio da Análise Envoltória de Dados.

2 A PRODUÇÃO DO BODIESEL NO BRASIL

O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação, pelo qual os triglicerídeos presentes nos óleos vegetais e gordura animal reagem com álcool, metanol ou etanol, gerando o éster e a glicerina. É comercializado para utilização em motores de ignição por compressão - ciclo Diesel - após purificação (Anp, 2021). Segundo *American Society for Testing Materials (ASTM)*, o biodiesel é um combustível líquido sintético originado de matéria-prima renovável e constituído pela mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeias longas, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais (Garcilasso, 2014). Também pode ser produzido dos óleos e gorduras residuais e do óleo proveniente de algas e fungos (Tapanes, 2013).

O biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono. A planta que serve de MP, durante o crescimento, absorve o CO₂ e o libera quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. Nesse ciclo fechado, o biodiesel reduz em até 78% as emissões líquidas de CO₂, em 20% as emissões de enxofre, em 9,8% o anídrido carbônico, em 35% os hidrocarbonetos não queimados, em 55% os não-particulados (causadores de problemas respiratórios) e em 100% os compostos sulfurados e aromáticos (precursores do câncer e da chuva ácida) (Biodieselbr, 2015).

Atualmente as MP mais utilizadas na produção do biodiesel são a soja, a gordura animal, a palma, o girassol, a canola, o algodão, o milho, a amêndoa, a andiroba, o babaçu, a cevada, o amendoim, o pequi, o arroz, o trigo, o sorgo e a linhaça (Bacenetti *et al.*, 2017; ANP, 2021). Em 2019, foram consumidos 5,9 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, o que representou um aumento de 11,3% em relação a 2018, e 6,4 bilhões de litros em 2020, acréscimo de 10% em relação a 2019 (Epe, 2021). O percentual atual de adição obrigatória do biodiesel à mistura com o diesel fóssil é de 10%, com possibilidade de aumento para 15% até 2023 (CNPE, 2018; 2021). Essas adições, além de contribuir para a queda nas importações, permitem a redução significativa da emissão de poluentes, especialmente de Co (Cobalto), HC (hidrocarbonetos) e materiais particulados. Ademais, reduz as emissões de enxofre por não tê-lo em sua composição, diferentemente do diesel de petróleo (Teixeira, 2010; Ecycle, 2012 *apud* Garcilasso, 2014).

O Brasil está entre os três maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com 49 usinas produtoras concentradas nas Regiões Centro-Oeste e Sul do país, atrás de Indonésia e EUA (17%, 14,4%, 13,7% da produção mundial, respectivamente). A capacidade instalada dessas 49 usinas correspondeu a 10,4 bilhões de litros, mas a produção em 2020 alcançou 62% dessa capacidade (EPE, 2021). Com o crescimento da produção e o aumento da

adição do biodiesel ao diesel fóssil, reduziu-se a importação líquida de diesel. Contudo há potencial para aumento da participação do biodiesel devido à amplitude da biomassa disponível, às pesquisas em andamento e à capacidade ociosa (38%) nas usinas produtoras.

Do biodiesel consumido em 2019, 3,7 bilhões de litros foram produzidos a partir do óleo de soja, o que equivale a um crescimento de 8% entre janeiro e dezembro de 2019 (ANP, 2021). As MP mais utilizadas na produção do biodiesel, de 2011 a 2020, foram o óleo de soja, a gordura animal (em queda 2019/2020), o óleo de algodão (em ascensão 2019/ 2020) e outros materiais graxos, entre os quais se destaca o óleo de milho (ANP, 2021).

O uso da biomassa brasileira contribuiu de forma incisiva na redução das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). As emissões evitadas pelo uso do biodiesel, em comparação ao equivalente fóssil (diesel), somaram 16,5 MtCO₂³ em 2019 e 18,1 MtCO₂ em 2020, um aumento de 9,69% de 2019/2020 (EPE, 2021). Para o aumento da produção e adição de maiores teores de biodiesel ao diesel fóssil, é preciso a diversificação das matérias-primas em cultivos com maior rendimento da produtividade por área, pela escala de produção e na apropriação máxima dos custos, o que pode propiciar a queda no preço final do produto e favorecer sua competitividade. Para tanto, outras culturas além da soja e da gordura animal devem ser objetos de pesquisa e desenvolvimento agrícola (EPE, 2017).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental, com abordagem quantitativa (Hair Jr. *et al.*, 2015) e finalidade descritiva (Vergara, 2016), com o objetivo de estimar a eficiência técnica da produção das três MP vegetais: a soja, o milho e o algodão. A coleta dos dados sobre os custos de produção e a produtividade dessas três MPV ocorreu de julho a setembro de 2021 nas plataformas eletrônicas dos seguintes órgãos: MME (Ministério das Minas e Energia), CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), e foram corrigidos monetariamente até novembro de 2021 com base no IPP - Índice de Preços ao Produtor - do Ministério da Economia (2021) e no painel de indicadores do IBGE (2022).

³ Milhões de toneladas é a medida padrão utilizada para quantificar as emissões de CO₂.

Este estudo foi organizado em três etapas. Na primeira, identificaram-se as principais MP vegetais classificadas na categoria de óleos fixos ou triglicéridicos (Tapanes *et al.*, 2013) exploradas na produção do biodiesel que estão na base de produção do biodiesel desde 2011: a soja, o algodão e o milho (ANP, 2021). Na segunda etapa, os dados foram organizados considerando a natureza dos custos (fixos ou variáveis) de cada uma dessas MP vegetais por cidade, por unidade da federação, por volume produzido e categorizada a estrutura dos 34 elementos de custos de produção possíveis para quatro grupos de custos: dois subgrupos de custos fixos (CF) e dois subgrupos de custos variáveis (CV). Na terceira etapa, foi calculada a eficiência na produção das três MPV pela Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) (Farrel, 1957; Ferreira; Gomes, 2009), com o uso do *software* DEAP (*Data Envelopment Analysis Program*) versão 2.1 (*The University of Queensland*, 2020), tendo os CF e os CV (insumos) como *inputs* e a produtividade (kg/ha) como *outputs*.

3.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

É uma técnica não paramétrica, que utiliza a programação linear matemática para analisar a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (DMU's) (Farrel, 1957; Scheel, 2001), considerando que, se uma DMU é capaz de produzir uma determinada “saída” Y (*output*) utilizando X entradas (*inputs*), as outras unidades também poderiam fazer o mesmo, caso elas estivessem atuando eficientemente, com base nas melhores práticas. Pela comparação entre as unidades (DMU's), a DEA fornece dados quantitativos para o cálculo da eficiência entre elas e sobre possíveis direções para melhorar o desempenho das unidades ineficientes (Ferreira; Gomes, 2009). As DMU's podem ser entendidas como uma firma, município, entidade ou outra unidade produtora. Neste estudo, são os municípios.

A eficiência de uma DMU é uma medida relativa, determinada em relação ao melhor nível de eficiência verificado na prática. Assim, a fronteira de eficiência é construída a partir de insumos e produtos de cada unidade de análise observada, e não com base em valores estimados. Trata-se da competência de uma unidade produtora alcançar o máximo de produtos/resultados, dada certa quantidade de insumos (Coelli *et al.*, 2005), que é avaliada pela comparação entre a produtividade observada e a produtividade máxima que poderia ser alcançada. A eficiência é um conceito relativo que compara o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (Soares de Mello *et al.*, 2005).

Há três formas de tornar uma unidade ineficiente em eficiente: 1) fixando os produtos e reduzindo os insumos; 2) fixando os insumos e tentar maximizar os resultados; e 3) reduzir os insumos e maximizar os resultados. Em síntese, a produtividade total pode ser calculada pela equação 1:

$$\text{Produtividade Total:} = \frac{y_1 u_1 + y_2 u_2}{x_1 v_1 + x_2 v_2} \quad (1)$$

Onde: y são as saídas (produtos);

x são as entradas (insumos);

u_1 e u_2 são os pesos (discricionários) atribuídos às saídas;

v_1 e v_2 são os pesos (discricionários) atribuídos às entradas.

Se todas as entradas e saídas forem incluídas na análise, todas as unidades produtivas terão produtividade total igual à unidade. Torna-se necessário selecionar as variáveis que vão entrar no cálculo conforme sua utilidade, que pode ser definida por meio de pesos que representem preços de mercado, gerando um índice econômico de produtividade (Soares de Melo, 2005). Os modelos da Análise Envoltória de Dados (DEA) podem ser orientados de duas formas: a *input* (insumos) ou a *output* (produtos). Os modelos orientados a *input* (insumos) visam obter um menor uso de *inputs* dados os níveis de *outputs*, ou seja, quando a eficiência é atingida por uma redução equiproporcional de entradas, mantidas as saídas constantes. Já os modelos orientados a *outputs* buscam obter o máximo nível de *outputs* mantendo os *inputs* fixos, quando se deseja maximizar os resultados sem diminuir os recursos.

Do ponto de vista dos modelos matemáticos utilizados nos cálculos, há os modelos CCR e BCC. O modelo CCR trabalha com retornos constantes à escala, ou seja, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*). Ele foi proposto originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, e é também conhecido como CRS - *Constant Returns to Scale*. Já o modelo BCC, proposto por Banker, Charnes e Cooper, em 1984, considera retornos variáveis à escala, por isso também é conhecido como VRS - *Variable Returns to Scale*. Este substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. Esses modelos podem ser desenhados sob duas formas de maximizar a eficiência: reduzindo o consumo de insumos, mantendo o nível de produção, ou seja, orientado ao insumo, ou aumentando a produção dados os níveis de insumos, ou seja, orientado ao produto (Ferreira; Gomes, 2009).

Pelo modelo adotado, é possível identificar, para cada unidade ineficiente, os seus *benchmarks*⁴ (que são DMU's de referência), conforme a projeção das unidades ineficientes na fronteira de eficiência. Nesta pesquisa, adotou-se o modelo BCC/VRS (retornos variáveis à escala), produto orientado (voltado para a saída) que é mais apropriado para maximizar os resultados, dados os recursos disponíveis.

Procura-se expandir radialmente o vetor de produtos, tanto quanto possível, para as unidades sob análise. O limite é a fronteira de eficiência estimada para o conjunto de pontos observados (esses pontos são determinados pelas outras unidades produtivas). Esse problema deve ser resolvido para cada unidade, gerando sua taxa de eficiência relativa.

A Análise Envoltória de Dados considera simultaneamente vários insumos e produtos, não requer suposição básica sobre os insumos e os produtos, não necessita estipular a fórmula funcional, gera um único *score* de desempenho em relação a outras unidades do conjunto, permite diferenciar entre unidades eficientes e ineficientes, define os recursos e o nível de ineficiência para cada unidade e pode capturar deficiências específicas não detectadas por outras técnicas (Ferreira; Gomes, 2009; Farrel, 1957).

O modelo de programação linear utilizado foi o constante na Equação 2, conforme Ferreira e Gomes (2009):

$$\begin{array}{l}
 \text{max } \phi \\
 \text{Sujeito a:} \\
 -\phi Y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 x_i - X\lambda \geq 0 \\
 N'_1\lambda = 1 \\
 \lambda \geq 0
 \end{array} \tag{2}$$

em que ϕ é um escalar cujo valor está entre um e infinito, sendo que a eficiência técnica (θ) da DMU é obtida pela razão $1/\phi$; λ é um vetor, cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima; y_i são os produtos; e x_i são os insumos.

3.3 AMOSTRA, VARIÁVEIS E COLETA DE DADOS

A amostra do presente estudo foi constituída de três matérias-primas vegetais de diferentes municípios e unidades da federação, produções não necessariamente simultâneas.

⁴ Referência das melhores práticas entre os concorrentes que pode ser adaptada e transformada em oportunidades para o próprio negócio.

Para estimação da eficiência, as variáveis do modelo foram definidas com base nos dados da CONAB (2021). Foram considerados como *inputs* os 34 insumos possíveis aplicados na produção das MP selecionadas, classificados em custos fixos (CF) ou custos variáveis (CV).

Custos Variáveis: Grupo 1 - Máquinas, Juros e Serviços: Operação com animal, Operação com avião, Operação com máquinas próprias, Aluguel de máquinas e animais, Mão de obra e administrador rural, (Receita), outros, Transporte externo, Despesas administrativas, Despesas de armazenagem, Beneficiamento, Seguro da produção e do crédito, Assistência técnica, Impostos e taxas (CESSR) e Juros de financiamento. Grupo 2 - Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos.

Custos Fixos: Grupo 1 - Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais: Depreciação de benfeitorias e instalações, de máquinas, implementos e conjuntos de irrigação, e o cultivo ou sua exaustão; Manutenção de instalações, Encargos sociais, Seguro do capital, e arrendamento. Grupo 2 - Renda de Fatores: Sobre o capital fixo e sobre o cultivo e Terra própria. Como *outputs* foram considerados os volumes produzidos de soja, do milho e do algodão em quilogramas por hectare (medida padrão adotada nos estudos acadêmicos e no mercado) da primeira safra de 2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos 23 municípios pesquisados, foram produzidos 75.220 kg/ha (Tabela 1).

Tabela 1. Custos fixos e variáveis da produção da soja por município (1ª safra 2021)

Municípios	Prod. (kg/ha)	Custo Variável		CVT	%	Custo Fixo		CFT	%	CT
		MJS	SMFA			MDE	RF			
Assis (SP)	3000	903,41	1.659,89	2.563,30	75	715,54	139,13	854,67	25	3.417,97
P. Afonso (TO)	3100	722,72	1.729,47	2.452,19	82	290,83	253,03	543,86	18	2.996,05
Ijuí (RS)	3100	623,82	1.556,45	2.180,27	79	387,36	192,34	579,7	21	2.759,97
C. Alta (RS)	2700	822,83	1.887,55	2.710,38	83	382,60	171,07	553,67	17	3.264,05
S. L. Gonzaga (RS)	2200	881,75	1.166,16	2.047,91	79	458,34	86,86	545,2	21	2.593,11
B. Vista (RR)	3000	633,52	2.574,09	3.207,61	83	610,53	52,16	662,69	17	3.870,30
F. Beltrão (PR)	3300	1.612,28	1.660,82	3.273,10	83	425,26	215,43	640,69	17	3.913,79
Guarapuava (PR)	3500	1.076,83	2.409,01	3.485,84	67	1.267,67	228,82	1.496,49	33	4.982,33
P. Grossa (PR)	3800	1.358,78	1.686,61	3.045,39	79	539,09	267,66	806,75	21	3.852,14
Londrina (PR)	3600	1.395,27	2.845,16	4.240,43	71	1.520,42	229,12	1.749,54	29	5.989,97
C. Mourão (PR)	3650	972,21	2.165,78	3.137,99	81	398,87	334,95	733,82	19	3.871,81
Uruaçu (PI)	2700	565,95	1.675,00	2.240,95	79	484,9	120,04	604,94	21	2.845,89
Sorriso (MT)	3120	677,48	2.501,83	3.179,31	91	269,1	36,01	305,11	9	3.484,42
P. Leste (MT)	3240	602,55	2.693,83	3.296,38	76	955,34	76,64	1.031,98	24	4.328,36

C. N. Parecis(MT)	3480	919,58	2.481,26	3.400,84	78	887,42	87,36	974,78	22	4.375,62
Dourados (MS)	3900	1.198,98	1.680,30	2.879,28	81	508,05	173,74	681,79	19	3.561,07
C. do Sul (MS)	3100	470,35	1.515,60	1.985,95	67	352,62	626,96	979,58	33	2.965,53
Unai (MG)	3300	983,82	2.277,11	3.260,93	79	753,19	102,27	855,46	21	4.116,39
Barreiras (BA)	3660	761,24	2.214,94	2.976,18	76	731,96	192,43	924,39	24	3.900,57
Brasília (DF)	3900	1.187,78	2.880,32	4.068,10	77	1.073,75	149,08	1.222,83	23	5.290,93
Rio Verde (GO)	3600	688,83	2.015,05	2.703,88	87	273,51	122,43	395,94	13	3.099,82
Cristalina (GO)	3150	1.012,48	2.154,66	3.167,14	86	364,77	138,83	503,60	14	3.670,74
Balsas (MA)	3120	940,76	2.291,81	3.232,57	72	1.093,61	144,96	1.238,57	28	4.471,14
Total	75.220	21.013	47.722	68.735	78	14.744	4.141	18.886	22	87.621

Fonte: CONAB (2021).

Devido à importância da soja para a economia nacional, conhecer a estrutura dos seus custos pode contribuir para a formulação de estratégias para a obtenção de resultados vantajosos e para a formulação de políticas públicas inerentes (Carneiro *et al.*, 2015).

Os municípios do Paraná apresentam o maior volume produzido por hectare (17.850 kg/ha), seguidos dos municípios do Mato Grosso (9.840 kg/ha) e dos municípios do Rio Grande do Sul (8.000 kg/ha). Os menores volumes produzidos estão em Uruçuí (PI) (2.700 kg/ha), em Assis (SP) (3.000 kg/ha) e em Boa Vista (RR) (3.000 kg/ha). A produção da soja varia de 2.700 kg/ha produzidos em Uruçuí (PI) e em Cruz Alta (RS), até 3.900 kg/ha em Brasília (DF) e em Dourados (MS) (Tabela 1).

Os custos variáveis da soja representam, em média, 78% dos custos totais. Esse CV oscila de 67% em Guarapuava (PR) e em Caxias do Sul (RS) a 91% em Sorriso (MT), do qual ganham relevo os custos com SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos) cujos valores se sobrepõem em até 3,7 vezes os custos variáveis com MJS (máquinas, juros e serviços), como é o caso do município de Sorriso (MT).

Os altos valores investidos em máquinas, equipamentos e implementos agrícolas, além do elevado custo da terra, revelam melhor correspondência quando utilizados em produção grande o suficiente para diluir esses custos fixos pela produção (Carneiro *et al.*, 2015).

Quanto ao desempenho dos custos fixos (CF) e dos custos variáveis (CV) de produção do milho (Tabela 2), nos 19 municípios pesquisados foram produzidos 109.450 quilogramas de milho por hectare. Os municípios do Paraná apresentam o maior volume produzido por hectare (30.200 kg/ha), seguidos dos municípios do Mato Grosso (25.200 kg/ha) e dos municípios de Minas Gerais (13.200 kg/ha). Os menores volumes produzidos estão em Vilhena (RO) (4.500 kg/ha), Assis (SP) (4.500 kg/ha) e em Balsas (MA) (4.250 kg/ha). A produção do milho varia de 2.700 kg/ha em Balsas (MA) até os 7.200 kg/ha em Caldas (MG) e em Sorriso (MT).

O aumento da produção de milho está relacionado ao aumento da produtividade, mesmo considerando o aumento na área cultivada (Artuzo *et al.*, 2018).

Os custos variáveis representam, em média, 80% dos custos totais (2% a mais que os CV da soja). Desses CV se destacam também os custos com SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos) numa projeção inferior à proporção das SMFA da soja, porém chegam a ser o dobro dos custos com MJS (máquinas, juros e serviços) e, nos custos fixos, prevalecem os custos com MDE (manutenção, depreciações e encargos).

Tabela 2. Custos fixos e variáveis da produção do milho por município (1ª safra 2021)

Municípios	Prod (kg/ha)	Custo Variável		CVT	%	Custo Fixo		CFT	%	CT - Custo Total
		MJS	SMFA			MDE	RF			
Pedro Afonso (TO)	5.400	680,14	1.312,96	1.993,10	89	151,14	92,36	243,50	11	2.236,60
Assis (SP)	4.500	1.069,35	1.557,68	2.627,03	73	840,74	147,1	987,86	27	3.614,89
Vilhena (RO)	4.500	399,53	1.387,43	1.786,96	89	98,52	113,00	211,52	11	1.998,48
F. Beltrão (PR)	6.600	1.101,01	2.672,94	3.773,95	82	634,36	217,3	851,64	18	4.625,59
A. Chateaubriand (PR)	6.000	1.099,49	2.188,30	3.287,79	81	405,37	341,1	746,46	19	4.034,25
Ubiratã (PR)	5.400	1.432,88	1.999,17	3.432,05	85	384,43	232,1	616,53	15	4.048,58
C. Mourão (PR)	6.500	1.192,70	2.496,73	3.689,43	83	439,63	339,65	779,28	17	4.468,71
Londrina (PR)	5.700	1.248,69	2.310,61	3.559,30	71	1210,52	216,80	1427,32	29	4.986,62
Rio Verde (GO)	6000	1.030,00	2.211,00	3.241,00	88	298,24	124,39	422,63	12	3.663,63
Cristalina (GO)	4800	667,33	1.153,68	1.821,01	78	401,17	100,3	501,44	22	2.322,45
Balsas (MA)	4250	692,28	1.394,50	2.086,78	79	406,31	135,7	541,97	21	2.628,75
Unai (MG)	6000	976,45	1.668,04	2.644,49	79	624,38	89,39	713,77	21	3.358,26
Caldas (MG)	7200	1.880,88	2.368,83	4.249,71	70	1.782,83	77,43	1860,26	30	6.109,97
C. Verde (MT)	6000	906,22	1.994,20	2.900,42	85	396,23	108,9	505,17	15	3.405,59
Sorriso (MT)	7200	1.149,90	1.746,34	2.896,24	87	378,53	37,45	415,98	13	3.312,22
C. N. Parecis (MT)	6000	918,56	1.863,40	2.781,96	76	778,62	94,27	872,89	24	3.654,85
P. Leste (MT)	6000	817,83	1.853,27	2.671,10	86	315,45	113,5	428,93	14	3.100,03
C. do Sul (MS)	6000	647,66	2.220,40	2.868,06	92	85,22	165,9	251,15	8	3.119,21
Dourados (MS)	5400	1.098,24	1.349,10	2.447,34	73	806,28	103,40	909,68	27	3.357,02
Total	109.450	19.009	35.748	54.757	80	10.438	2.850	13.287	20	68.045,

Fonte: CONAB (2021)

O CV do milho oscila de 73% em Dourados (MS) a 92% em Caxias do Sul (RS), do qual ganham relevo os custos variáveis com SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos) cujos valores se sobrepõem em até duas vezes os custos variáveis com MJS.

Pela Tabela 3, analisam-se os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) do algodão em plumas por município. Nos sete municípios pesquisados, foram produzidos 11.755 quilogramas de algodão por hectare. Os quatro municípios do Mato Grosso somados apresentam maior volume produzido (6.445 kg/ha), seguidos por um município em cada um dos seguintes Estados: Goiás (1.890 kg/ha), Mato Grosso do Sul (1.800 kg/ha) e Bahia (1.620 kg/ha).

A produção do algodão varia pouco na amostra encontrada, de 1.500 kg/ha produzidos em Sorriso MS (o único ineficiente) a 1.890 kg/ha em Cristalina (GO) (*benchmark* para Sorriso). Os CV oscilam pouco, de 86% em Barreiras (BA) e Rondonópolis (MT) a 93% em Campo Novo do Parecis (MT), representando em média 88% dos custos totais (8% a mais que os CV do milho e 10% a mais que os custos da soja). Desses CV, os custos com SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos) possuem uma projeção superior à proporção das SMFA da soja e do milho. Nesse caso, as SMFA chegam a ser até quatro vezes mais do que os custos com SMJ (máquinas, juros e serviços) e, nos custos fixos, prevalecem os custos com MDE (manutenção, depreciações e encargos) em até dez vezes mais que os custos fixos RF (renda de fatores), como em Chapadão do Sul (MS).

Tabela 3. Custos fixos e variáveis da produção do algodão por município (1ª safra 2021)

Municípios	Prod (kg/ha)	Custo Variável		CVT	%	Custo Fixo		CFT	%	CT
		MJS	SMFA			MDE	RF			
Barreiras (BA)	1.620	2.226,74	6.991,81	9.218,55	86	1.170,44	317,28	1.487,72	14	10.706,27
C. do Sul (MS)	1.800	2.162,31	8.211,60	10.373,91	82	2.045,04	170,63	2.215,67	18	12.589,58
C. Verde (MT)	1.500	2.662,77	7.038,50	9.701,27	90	908,39	139,01	1.047,40	10	10.748,67
C. N. Parecis (MT)	1.845	3.326,10	10.409,06	13.735,16	93	1.002,35	101,05	1.103,40	7	14.838,56
Rondonópolis (MT)	1.600	2.351,79	4.624,08	6.975,87	86	593,08	511,17	1.104,25	14	8.080,12
Sorriso (MT)	1.500	3.049,67	7.781,59	10.831,26	91	879,76	152,97	1.032,73	9	11.863,99
Cristalina (GO)	1.890	3.039,76	6.161,20	9.200,96	90	869,82	140,54	1.010,36	10	10.211,32
Total	11.755	18.819	51.217	70.036	88	7.468	1.532	9.001	11	79.038,51

Fonte: CONAB (2021)

Na produção do algodão, os altos investimentos em máquinas, serviços, sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos revelam ainda melhor correspondência aos grandes volumes produzidos. O óleo de algodão tem se mantido entre as principais MP que compõem a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil desde 2008, como o terceiro insumo mais utilizado (Abiove, 2016; ANP, 2021).

De acordo com o Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos 2021/2022 - houve um aumento de 10,2% na área plantada de algodão (1.510,9 mil ha), aumento na produtividade de 3,1% (1.772 kg/ha) e na produção de 13,7% (2,678 milhões t) (Conab, 2021a).

Nas três MP produzidas, embora haja componentes de custos fixos equivalentes, os valores dos custos variáveis oscilam entre as regiões, principalmente quando se trata de SMFA. Nos Estados que produzem as três MP (MT, MS e GO) ou duas (PR, BA, MG, MA, TO e SP), simultaneamente, há maior aproveitamento dos custos fixos devido à escalabilidade da produção que reduz o custo fixo unitário. Contudo esses dados não refletem a eficiência dos sistemas produtivos.

4.1 A EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DA SOJA, DO MILHO E DO ALGODÃO

Para identificar a eficiência técnica dos municípios produtores de soja, milho e algodão, foi utilizada a orientação-produto, em virtude de fundamentar-se na maximização do resultado, dados os recursos disponíveis, sob o modelo de retornos variáveis à escala. Os resultados de eficiência dos produtores de soja podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4. A Eficiência Técnica dos Municípios Produtores de soja (1ª safra 2021)

VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produção Média (kg/ha)	Scores de Eficiência	Produção	%	1 = MJS	2 = SMFA	3 = MDE	4 = RF
Assis (SP)	3000	0.899	3.335	11,1	0,00	0,00	307,64	0,00
Pedro Afonso (TO)	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Ijuí (RS)	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Cruz Alta (RS)	2700	0.739	3.655	35,4	0,00	0,00	36,43	2,75
São L. Gonzaga (RS)	2200	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Boa Vista (RR)	3000	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Francisco Beltrão (PR)	3300	0.939	3.515	6,54	737,1 1	0,00	0,00	0,00
Guarapuava (PR)	3500	0.912	3.836	9,60	0,00	0,00	423,59	62,14
Ponta Grossa (PR)	3800	0.974	3.900	2,63	159,8 0	6,31	31,04	93,92
Londrina (PR)	3600	0.923	3.900	8,33	196,2 9	1.164,86	1.012,37	55,38
Campo Mourão (PR)	3650	0.971	3.760	3,02	10,70	329,65	0,00	185,09
Uruçuí (PI)	2700	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Sorriso (MT)	3120	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
P. do Leste (MT)	3240	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
C. N. do Parecis (MT)	3480	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Dourados (MS)	3900	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Chapadão do Sul (MS)	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00

Unai (MG)	3300	0.933	3.536	7,17	27,00	0,00	53,31	0,00
Barreiras (BA)	3660	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Brasília (DF)	3900	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Verde (GO)	3600	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Cristalina (GO)	3150	0.852	3.699	17,4	154,9	221,64	0,00	0,00
Balsas (MA)	3120	0.832	3.751	20,2	0,00	0,00	465,85	0,00

Fonte: CONAB (2021); dados da pesquisa (2021)

Pelos resultados, os municípios que obtiveram eficiência relativa igual a 1,00 totalizaram 13,56% da amostra. Esses municípios identificados como eficientes servem de *benchmark* para os demais. Portanto, análises das suas estruturas de custos MJS, SMFA, MDE e RE podem gerar informações necessárias à melhoria do desempenho dos outros municípios. As cidades consideradas como referências são Pedro Afonso (TO), Ijuí (RS), São Luiz Gonzaga (RS), Boa Vista (RR), Uruçuí (PI), Sorriso (MT), Primavera do Leste (MT), Campo Novo do Parecis (MT), Dourados (MS), Chapadão do Sul (MS), Barreiras (BA), Brasília (DF) e Campo Verde (GO).

Os municípios que obtiveram *scores* de eficiência entre 0,91 a 0,99, relativamente eficientes, somaram aproximadamente 26% da amostra, sendo 6 municípios: Francisco Beltrão, Guarapuava, Ponta Grossa, Londrina e Campo Mourão (todos do PR) e Unai (em MG). Embora o PR seja o maior produtor em volume, nenhum dos seus municípios, aqui analisados, alcançou eficiência máxima. Com *scores* de eficiência abaixo de 0,90 estão quatro municípios (18% da amostra), são eles: Assis (SP), Cristalina (GO), Balsas (MA) e Cruz Alta (RS).

Para Ferreira e Gomes (2009), uma vantagem da análise de eficiência é comparar as unidades produtivas entre si, na busca daquelas que sejam mais e daquelas que sejam menos eficientes e, principalmente, aprender com as mais eficientes.

Os municípios de Ponta Grossa e Londrina são os que requerem eliminação das folgas nos quatro subgrupos dos custos fixos e variáveis para alcançar eficiência. Os demais ineficientes requerem reduções em pelo menos um grupo dos seus custos. Os insumos variáveis MJS (Máquinas, Juros e Serviços) e SMFA (Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) são os que mais comprometeram a eficiência.

Em se tratando do volume produzido para alcançar a eficiência, os municípios do Paraná precisam aumentar de 3,02% sua produção (Campos Mourão) a 9,60% (Guarapuava). Entretanto outros municípios, como Assis (SP) e Balsas (MA), precisam aumentar em 11,19% e 20,26%. O município que incorre em maior necessidade de ajuste no volume a ser produzido

é Cruz Alta (RS), devendo aumentar em mais de 35% sua produção para alcançar seu *benchmark*.

O alcance da eficiência produtiva pelos dez municípios ineficientes implica na redução dos custos/insumos variáveis e/ou em potencializar a escalabilidade dos custos fixos, conforme o custo projetado (Tabela 5) e aumento da produção (Tabela 4). Tal ação geraria uma redução de 23,59% do custo unitário de produção do kg/ha, correspondente a 3.771 kg/ha, ou seja, uma safra superior à de Rio Verde (GO), um dos eficientes. Entre os municípios eficientes, o custo unitário da produção (kg/ha) é de R\$ 1,09 e, entre os ineficientes, o custo unitário da produção (kg/ha) é de R\$ 1,25 (14,67% maior).

Tabela 5. Folgas nos custos que impedem o alcance da eficiência na produção da soja

(*)	Folga nos Insumos								Custo Atual	Custo Projetado	Custo por unidade		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 - MDE	%	4 - RF	%			Atual	Projetado	RS	%
1					307,1	9			3.417,97	3.110,81	1,13	0,93	0,21	18,15
2					36,43	1	2,7	08	3.264,05	3.224,87	1,20	0,88	0,33	27,03
3	737,11	18							3.913,79	3.176,68	1,18	0,90	0,28	23,82
4					423,5	8	62,1	1	4.982,33	4.496,59	1,42	1,17	0,25	17,66
5	160	4	6,31	02	31,04	08	93,9	2	3.852,14	3.561,07	1,01	0,91	0,10	9,93
6	196,29	3	1.164,86	19	1.012,	17	55,3	1	5.989,97	3.561,07	1,66	0,91	0,75	45,12
7	10,08	03	329,65	8			185,0		3.871,81	3.346,98	1,06	0,89	0,17	16,09
8	27,00	07			956,8	23			4.116,39	3.132,57	1,24	0,89	0,36	28,99
9	154,97	4	221,64	6					3.670,74	3.294,12	1,16	0,89	0,27	23,59
10					465,8	11			4.471,14	4.005,29	1,43	1,07	0,37	25,51
T									41.550,3	34.910,5	12,5	9,45	3,09	235,8
M									4.155,03	3.491,00	1,25	0,94	0,31	23,59

(*) 1 Assis (SP); 2 Cruz Alta (RS); 3 Francisco Beltrão (PR); 4 Guarapuava (PR); 5 Ponta Grossa (PR); 6 Londrina (PR); 7 Campos Mourão (PR); 8 Unai (MG); 9 Cristalina (GO); 10 Balsas (MA); T = total; M = média.

Fonte: CONAB (2021); dados da pesquisa (2021)

Na sequência, analisa-se a eficiência técnica dos municípios produtores de milho, que pode ser visualizada na Tabela 6. Os municípios que obtiveram eficiência relativa igual a 1,00 totalizaram seis, correspondendo a 31% da amostra. Esses municípios identificados como eficientes servem de *benchmark* para os demais. Análises do desempenho dos seus insumos podem gerar informações necessárias à melhoria do desempenho dos outros municípios. Os municípios considerados como referências são Pedro Afonso (TO), Vilhena (RO), Cristalina (GO), Sorriso (MT) e Chapadão do Sul (MS). Nota-se que a quantidade de *benchmark* é menos da metade do que no caso da soja e a quantidade de ineficientes é maior.

Os municípios que obtiveram *scores* de eficiência entre 0,91 a 0,99, relativamente eficientes, somaram aproximadamente 21% da amostra, sendo 4 municípios: Francisco Beltrão

(PR), Campo Novo do Parecis (MT), Primavera do Leste (MT) e Dourados (MS). Do Paraná, como maior produtor em volume, apenas um município é eficiente: Pedro Afonso (mas este município, ao longo de todo o artigo, vem sendo relacionado como sendo de Tocantins). Com *scores* de eficiência abaixo de 0,90 estão nove municípios (48% da amostra): Assis (SP), Assis Chateaubriand (PR), Ubitatã (PR), Campo Mourão (PR), Londrina (PR), Rio Verde (GO), Balsas (MA), Unaí (MG) e Campo Verde (MT).

Os municípios ineficientes do Paraná, além de Rio Verde (GO) e Assis (SP), são os que requerem ajustes nos quatro grupos de custos (CV + CF) para alcançar a eficiência. Os demais ineficientes requerem ajustes em pelo menos um dos seus insumos. Os insumos variáveis MJS (Máquinas, juros e serviços) e SMFA, e os insumos fixos MDE são os que mais comprometeram a eficiência. Diferentemente da soja, na produção do milho há o dobro de municípios ineficientes e custos tanto variáveis como fixos que impediram a eficiência.

Para buscar os níveis de eficiência dos municípios de referência (*benchmark*), os municípios ineficientes devem buscar a produção projetada (Tabela 6).

Tabela 6. A Eficiência técnica dos municípios produtores de milho (1ª safra 2021)

VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Ajustes nos insumos (R\$)			
Municípios	Produção Média (kg/ha)	Scores de Eficiência	Produção	%	1 = MJS	2 = SMFA	3 = MDE	4 = RF
P. Afonso (TO)	5.400	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Assis (SP)	4.500	0.699	6.436	43,02	73.06	0,000	455.00	89.67
Vilhena (RO)	4.500	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
F. Beltrão (PR)	6.600	0.932	7.083	7,32	0,00	880.453	284.38	167.32
A. Chateaubriand (PR)	6.000	0.848	7.079	17,99	0,00	394.378	56.28	290.74
Ubitatã (PR)	5.400	0.750	7.200	33,33	282.98	252.830	5.90	194.65
C. Mourão (PR)	6.500	0.903	7.200	10,77	42.80	750.390	61.10	302.20
Londrina (PR)	5.700	0.792	7.200	26,32	98.79	564.270	831.99	179.35
Rio Verde (GO)	6000	0.873	6.871	14,53	17.58	334.892	0,00	51.77
Cristalina (GO)	4800	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Balsas (MA)	4250	0.773	5.500	29,43	0,00	0,000	253.06	39.48
Unaí (MG)	6000	0.909	6.598	9,98	0,00	0,000	334.18	25.58
Caldas (MG)	7200	1.000			0,00	0,000	0,000	0,000
C. Verde (MT)	6000	0.907	6.617	10,30	0,00	17.853	160.01	9.15
Sorriso (MT)	7200	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
C. N. Parecis (MT)	6000	0.913	6.568	9,48	0,00	0,000	529.76	5.18
P. do Leste (MT)	6000	0.960	6.246	4,12	0,00	0,000	119.79	6.45
C. do Sul (MS)	6000	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Dourados (MS)	5400	0.966	5.591	3,54	271.79	0,000	412.57	23.84

Fonte: CONAB (2021); dados da pesquisa (2021)

Há municípios, como Dourados (MS), que precisam aumentar em 3,54% sua produção; e municípios, como Assis (SP), que precisam aumentar em 43,02% sua produção. Existem ainda municípios em situações intermediárias, como os do Estado do Paraná, que oscilam a necessidade de aumentar sua produção em 7,32%, como Francisco Beltrão, e Ubitatã, que precisa aumentar sua produção em 33,33%. O município de Balsas (MA) também possui um percentual alto de quase 30% de aumento na produção para se tornar eficiente. Para tanto, é preciso ajustar a estrutura de custos conforme apresentado na Tabela 7.

O alcance da eficiência produtiva pelos treze municípios ineficientes implica em ajustar os custos/insumos e/ou potencializar a escalabilidade dos custos fixos (principalmente em manutenções). Tal ação geraria uma redução de 29,20% (maior que a redução da soja) do custo unitário de produção do kg/ha mediante aumento da produção (Tabela 6), correspondente a 11.845 kg/ha, ou seja, duas safras de um município eficiente como Chapadão do Sul (MS). Entre os municípios eficientes, o custo médio do kg/ha é R\$ 0,54 e, entre os municípios ineficientes, o custo médio do kg/ha é R\$ 0,66 (22,22% superior).

Tabela 7. Folgas nos custos que impedem o alcance da eficiência na produção do milho

*	Folgas nos Insumos								Custo Atual	Custo Projetado	Produção por unidade		Dif. Unid.		
	M	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 - MDE	%	4 - RF			%	Atual	Projetada	R\$	%
1		73,6	2			455,	13	89,67	2	3.615,	2.297,15	0,80	0,36	0,45	55,57
2				880,4	19	284,3	6	167,3	4	4.625,6	3.293,43	0,70	0,46	0,24	33,66
3				394,3	10	56,28	1	290,7	7	4.034,3	3.292,85	0,67	0,47	0,21	30,82
4		283,	7	252,8	6	5,90	02	194,6	5	4.048,6	3.312,22	0,75	0,46	0,29	38,64
5		42,8	1	750,3	17	61,10	1	302,2	7	4.468,7	3.322,12	0,69	0,46	0,23	32,89
6		98,8	2	564,2	11	831,9	17	179,3	4	4.986,6	3.322,12	0,87	0,46	0,41	47,26
7		17,6	05	334,8	9			51,77	1	3.663,6	3.259,39	0,61	0,47	0,14	22,32
8						253,1	10	39,48	2	2.615,	2.336,21	0,62	0,42	0,19	30,98
9						334,2	10	25,58	08	3.358,2	2.998,49	0,56	0,45	0,11	18,81
10				17,8	05	160,	5	9,15	03	3.405,6	3.218,57	0,57	0,49	0,08	14,3121
11						529,7	14	5,18	02	3.654,8	3.119,90	0,61	0,47	0,13	22,03
12						119,8	4	6,45	02	3.100,1	2.973,79	0,52	0,48	0,04	7,86
13		272,	8			412,	12	23,84	07	3.357,	2.648,81	0,62	0,47	0,15	24,40
T										48.933,	36.746,25	9,59	5,93	2,66	279,55
M										3.764,1	2.826,63	0,66	0,45	0,20	29,20

(*) 1 Assis (SP), 2 Francisco Beltrão (PR), 3 Assis Chateaubriand (PR), 4 Ubitatã (PR), 5 Campo Mourão (PR), 6 Londrina, 7 Rio Verde (GO), 8 Balsas (MA), 9 Unai (MG), 10 Campo Verde (MT), 11 Campo Novo do Parecis (MT), 12 Primavera do Leste (MT), 13 Dourados (MS), T = total, M = média.

Fonte: CONAB (2021); dados da pesquisa (2021)

Na sequência, analisa-se a eficiência técnica dos municípios produtores de algodão. Considerando o baixo número de municípios da amostra (sete), seis municípios obtiveram

eficiência máxima, à exceção do município de Sorriso (MT), que apresenta folgas em seus quatro grupos de custos (fixos e variáveis), sobretudo em SMFA (Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos). Seu *score* de eficiência não alcança 80% do seu *benchmark* (Cristalina (GO), maior produtor em volume: 1.890 kg/ha) no movimento radial da curva da fronteira de produção. Preservadas as proporções, na produção do algodão os níveis de eficiência superam os níveis de eficiência das amostras da soja e do milho.

Para alcançar seu nível de eficiência, o único município ineficiente (Sorriso (MT)) deve alcançar um incremento de 26% na sua produção atual, de 1.500 kg/ha para 1890 kg/ha e promover alterações basicamente nos custos/insumos (SMAF). É preciso reduzir seu custo total de produção de R\$ 11.863,99 para R\$ 10.211,32, distribuindo essa redução em todos os insumos: máquinas, juros e serviços reduzir em 0,08%; sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos reduzir em 13,6%; manutenções, depreciações e encargos reduzir em 0,08%; e, em renda de fatores, em 0,18%. Tal ação geraria uma redução de 13,90% no custo unitário médio de produção do kg/ha mediante aumento na sua produção em 26%. Entre os municípios eficientes, o custo unitário médio do kg/ha é R\$ 6,54 e o custo unitário médio do algodão em Sorriso (MT) é R\$ 7,90 (20,79% superior).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o objetivo do trabalho foi analisar a eficiência na produção das principais MP vegetais que estão na base de produção do biodiesel, pode-se destacar, a partir dos resultados, que 13 municípios alcançaram eficiência máxima na produção da soja, 06 na produção do milho e 06 na produção do algodão em plumas, sendo que de forma simultânea apenas um município alcançou a eficiência máxima na produção das três MPV: Chapadão do Sul (MS); e três alcançaram eficiência máxima simultaneamente em duas MPV (soja e milho): Pedro Afonso (TO), Sorriso (MT) e Chapadão do Sul (MS), dos quais Pedro Afonso (TO) é o município que possui o menor custo por kg/ha de milho produzido (R\$ 0,41) e o quinto menor custo por kg/ha de soja produzida (R\$ 0,97).

Embora o complexo agroindustrial da soja seja historicamente organizado e um dos mais modernos do mundo, há espaço para aperfeiçoamentos em quase metade da amostra analisada (10/23). Entre os municípios com eficiência técnica, o custo médio da soja por quilo/hectare produzido foi de R\$ 1,09, e entre os municípios ineficientes, foi de R\$ 1,25 (14,67% superior). Ou seja, os municípios ineficientes têm um custo médio unitário de produção majorado em 15%.

Embora a estrutura de produção do milho tenha se modernizado e alcançado crescimento nos últimos anos, também apresenta espaços para melhorias na maioria dos municípios analisados (13/19). Entre os municípios eficientes, o custo médio do milho por kg/ha produzido é R\$ 0,54, e entre os municípios ineficientes, é R\$ 0,66 (majorado em aproximadamente 23%). No caso do algodão em plumas, embora a amostra observada seja relativamente pequena, no município ineficiente o custo unitário médio do kg/ha é 20% superior ao dos municípios eficientes.

Dos 49 municípios observados, 24 deles, ou seja 49%, não possuem eficiência máxima na produção de pelo menos uma MPV, devido, principalmente, ao impacto dos custos variáveis com sementes/mudas, agrotóxicos e fertilizantes (SMFA). A eficiência na produção reduz o custo final da MP, pode diminuir os preços finais de mercado e provocar impactos positivos na cadeia produtiva do biodiesel, tornando-a mais competitiva.

Os valores apurados mostram o milho com um custo de produção mais vantajoso. Tanto nos municípios eficientes quanto nos ineficientes, o custo médio de produção do kg/ha do milho é 50% menor que o da soja e representa 0,08% do custo médio unitário do algodão em plumas (R\$ 6,73).

As três matérias-primas são produzidas simultaneamente em municípios do MT, de GO e do MS, duas são produzidas simultaneamente em municípios do PR, MG, BA, MA, TO e de SP, e as unidades da federação que produzem apenas uma das matérias-primas são RS, DF, RR, RO e PI, sendo o PR líder na produção da soja e do milho, e o MT o maior produtor de algodão. Contudo os maiores volumes produzidos não garantem necessariamente a eficiência técnica, devido aos distintos níveis de eficiência apurados.

A produção do biodiesel está vinculada à oferta e disponibilidade de matéria-prima, à viabilidade econômica na produção, dentre outros fatores. Este estudo visa contribuir com apontamentos sobre a eficiência na produção da soja, do milho e do algodão, no que tange às decisões de políticas públicas e de investimentos privados em lavouras mais eficientes e na correção daquelas menos eficientes, com potencial para atender ao mercado do biodiesel. Porém os resultados podem sofrer alterações devido às condições de produção dessas MPV, como problemas climáticos ou fitossanitários de cada município.

As variações encontradas provocam a necessidade de aplicação da análise de eficiência da produção das outras MPV que estão na base de produção do biodiesel, no custo de produção do óleo extraído e em outros fatores das produções casadas ou solteiras.

REFERÊNCIAS

ABIOVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS.

Produção de biodiesel por matéria-prima. 2016. Disponível em:

<http://www.abiove.org.br/site/busca.php?tag=biodiesel>. Acesso em: 25 abr. 2021.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020.** Rio de Janeiro, 2021.

Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>. Acesso em: 16 set. 2021.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, Â. R. L.; SILVA, L. X. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Rev. Bras. Gest. Neg.** São Paulo, v. 20, n. 2, abr./jun. 2018. p. 273-294.

BACENETTI, J.; RESTUCCIA, A.; SCHILLACI, G.; FAILLA, S. Biodiesel production from unconventional oil seed crops (*Linum usitatissimum* L. and *Camelina sativa* L.) in Mediterranean conditions: environmental sustainability assessment. **Renew Energy**, v. 112, p. 444-456, 2017.

BIODIESELBR. **Motor Diesel.** 2015. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com>. Acesso em: 16 maio. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar: Balanço do Selo Combustível Social. **Relação das Empresas com Selo Combustível Social de 28/01/16.** Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.mda.gov.br>. Acesso em: 20 maio. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CARNEIRO, D. M.; DUARTE, S. L.; COSTA, S. A.. Determinantes dos custos da produção de soja no Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 22., Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 11 a 13 de novembro de 2015.

COELLI, T. J.; RAO, D. S.; PRASADA, J.; O'DONNELL, Christopher; BATTESE, George E. **An introduction to efficiency and productivity analysis.** 2ª ed. New York: Springer, 2005.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução nº 16 de 06/09/2021.**

Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 82º Leilão de Biodiesel. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em: 07 set. 2021.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução nº 16 de 29/10/2018.** Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br>. Acesso em: 12 set. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2020/2021** (a). Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 05 jul. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Norma Metodologia do Custo de Produção 30.302**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: ano 2021**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: ano 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 17 jul. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese 2022 ano base 2021**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 28 set. 2022.

FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, p. 255-290, 1957.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à Análise Envoltória de Dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Ed. UFV (Universidade Federal de Viçosa), 2009.

GARCILASSO, V. P. **Análises entre Processos e Matérias primas para a Produção do Biodiesel**. 2014. 373f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em: 12 set. 2021.

HAIR JR., J. F.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Painel de Indicadores 2022**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores>. Acesso em: 30 nov. 2022.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Índice de Preços ao Produtor, 2021**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SANTOS, J. A. L. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: sujeição da renda da terra camponesa ao capital no Território de Identidade de Irecê-BA**. 2012. 262f. Tese (Doutorado da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo). USP, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em: 12 jul. 2021.

SCHEEL, H. Undesirable outputs in efficiency valuations. **European Journal of Operational Research**, v. 132, p. 400-410, 2001.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de Análise de Envoltória de Dados. **Anais do XXXVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Gramado, 2005. Disponível em: <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0289.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

TAPANES, N. C.; ARANDA, D. A. G.; PEREZ, R. S.; CRUZ, Y. R. Biodiesel no Brasil: Matérias Primas e Tecnologias de Produção. **AS&T**, v. 1, n. 1, feb. 2013.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2016.