

## EFICIÊNCIA DO SETOR SUCROENERGÉTICO COM BASE NA ANÁLISE DE JANELAS

Nevison Amorim Pereira\*

Marcelo Tavares\*\*

**RESUMO:** Considerando a lacuna dos trabalhos que apresentam a Análise Envolvória de Dados (DEA) relativos à questão temporal, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão no período de 2008 a 2012. Utilizou-se a DEA, com suporte na Análise de Janelas, orientada a produtos para quantificar a eficiência das regiões. Os *outputs* utilizados no modelo foram a quantidade de etanol e açúcar produzida em cada região e o *input* foi a quantidade de cana-de-açúcar processada. Os resultados mostram que existe uma tendência de perda na eficiência com o passar do tempo, sendo acentuada a partir do ano de 2010. Todavia, a média geral de eficiência (98%) do setor é alta e o desvio padrão baixo, o que demonstra o nível de estabilidade do setor. Concluiu-se também que o principal problema de ineficiência das regiões refere-se à escala de produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de janelas; DEA; Eficiência; Setor sucroenergético.

## EFFICIENCY OF THE SUGAR-ALCOHOL SEGMENT BASED ON THE WINDOW ANALYSIS

**ABSTRACT:** Since there are gaps within the Data Envelopment Analysis (DEA) with regard to time, current study evaluates the efficiency of the Northeastern, tradition and expansion Center-South regions between 2008 and 2012. DEA, oriented towards products to quantify the regions' efficiency, and Windows Analysis have been employed. The outputs used in the model were quantity of ethanol and sugar produced in each region, whilst the input comprised the amount of processed sugarcane. Results show a trend for loss efficiency over time, especially as from 2010. General average of efficiency (98%) of the segment is high, with low standard deviation. It demonstrates the stability level of the segment. The main issue with regard to lack of efficiency in the regions is due to production scale.

\* Doutor em Ciências Contábeis, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil. E-mail: nevisonpm@yahoo.com.br

\*\* Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da FACC - Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

**KEY WORDS:** Window analysis; DEA; Efficiency; Sugar-alcohol segment.

## INTRODUÇÃO

O agronegócio tem um grande destaque na economia nacional em virtude de sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) decorrente das exportações dos produtos agrícolas, da geração de emprego e de renda. Santos *et al.* (2016) enfatizam a necessidade de um melhor planejamento no agronegócio em virtude das incertezas climatológicas, de mercado e de tecnologia.

No agronegócio brasileiro, a indústria canaveira tem papel importante pela produção de açúcar e das fontes energéticas alternativas. O Brasil é tido como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, situação decorrente principalmente do aumento da demanda pelo etanol, em virtude dos veículos *flexfuel*, da bioeletricidade e do consumo mundial de açúcar (SANTOS *et al.*, 2016).

A plantação de cana está concentrada principalmente nas regiões: Nordeste (Estados de Pernambuco e Alagoas); Sudeste (São Paulo, Minas Gérias e Rio de Janeiro) e Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul e Goiás). Dos Estados brasileiros, o principal produtor é São Paulo (MARQUES, 2009). O crescimento da produção pode ser decorrente da expansão da cultura, do aumento da produtividade ou de ambos. Assim, faz-se necessário o aperfeiçoamento constante das operações com vista ao aumento da produtividade (BRUNOZI JUNIOR *et al.*, 2012).

Dalchiavon *et al.* (2014) consideram que o conhecimento da produtividade pode ser obtido pelos componentes tecnológicos e de produção e que existe variabilidade em tais componentes em função de fatores como número de plantas por área e espaçamento entre as linhas. Nesse ponto, ressalta-se a importância da aferição da eficiência. Helfand e Levine (2004) definem a eficiência como sendo relativa, visto que é mensurada comparando o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido conforme os recursos utilizados e a tecnologia disponível.

Os escores de eficiência podem ser separados em duas partes: eficiência técnica “pura” e eficiência de escala. Assim, as fontes de ineficiência podem ser decorrentes da ineficiência nos processos gerenciais (técnica) ou da ineficiência da escala de produção, ou, até mesmo, de ambas (HAAS, 2003). A Análise Envoltória

de Dados (DEA) é um método que permite calcular a eficiência de um conjunto de unidades, designadas como *Decision Making Units* (DMU), sendo que os principais atributos são a versatilidade e a capacidade de ser adaptada a diferentes situações (MARIANO; SOBREIRO; REBELATTO, 2015).

Alguns estudos têm utilizado a DEA para verificar a eficiência das empresas, concessionárias, setores e regiões em diferentes anos, combinando-os na mesma análise, o que pressupõe inapropriadamente, segundo Mariano, Sobreiro e Rebelatto (2015), que a tecnologia não muda com o tempo. Segundo esses autores, este tipo de análise constitui uma das lacunas na aplicação da DEA.

Além disso, questões como políticas públicas para o setor, crises econômicas e novas tecnologias podem influenciar na eficiência com o decorrer dos anos. Este estudo vem suprir essa lacuna ao utilizar um dos métodos estruturados de análise temporal que é a Análise de Janela. Outro método refere-se à utilização do índice *Malmquist*<sup>3</sup> que permite verificar as mudanças na tecnologia.

Neste contexto, o trabalho é motivado pela seguinte questão: a eficiência do setor sucroenergético tem modificado com o passar do tempo? Para responder a essa questão, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão no período de 2008 a 2012.

O trabalho justifica-se devido à importância do setor sucroenergético para a economia nacional, em decorrência da geração de empregos e renda, e do potencial para estimular o desenvolvimento econômico de determinada região. Merecem destaque ainda as inovações tecnológicas que são dinâmicas e torna-se importante verificar a eficiência em razão dessas mudanças. Outra justificativa refere-se ao processo de tomada de decisão visto os riscos e incertezas do setor. Portanto, identificar os tipos de ineficiências das indústrias pode contribuir no sentido de fornecer informações que possam ser úteis durante o processo de tomada de decisão.

---

<sup>3</sup> Mede a mudança da eficiência em diferentes períodos, em termos da produtividade total dos fatores e decompõe-se em eficiente técnica e mudança de tecnologia (CAVES; CHRISTENSEN; DIEWERT, 1982).

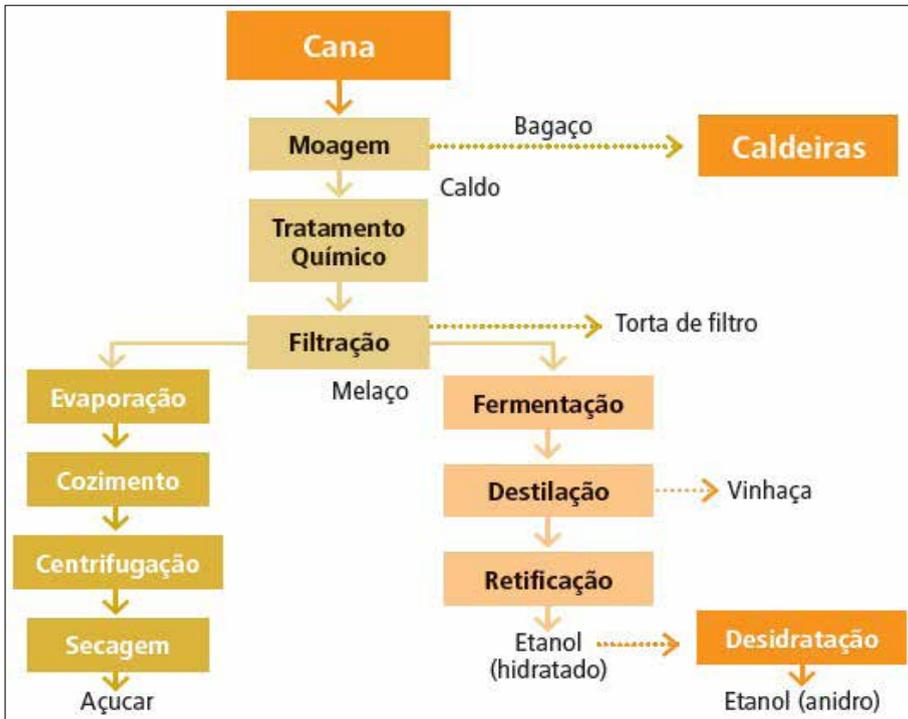
## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 SETOR SUCROENERGÉTICO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil remonta aos tempos coloniais tendo passado por várias mudanças. Em meados da década de 70 o governo lançou o Programa Brasileiro do Alcool como forma alternativa à crise do petróleo no mercado internacional e, como consequência, a produção de cana aumentou. Porém, na década de 80, o preço do petróleo baixou no ambiente externo, o governo diminuiu o interesse no programa e a produção apresentou estagnação (DIAS *et al.*, 2015).

A partir dos anos 90 o governo começou a desregular o setor. Como consequência, as fábricas de produção de açúcar foram anexadas às destilarias autônomas consolidando o processo integrado de produção de açúcar e etanol. Mais recentemente, o setor passou por adaptações para atender as expectativas futuras de energia renovável (etanol), por questões legais relativas à queima da cana e por empréstimos subsidiados do governo (DIAS *et al.*, 2015). Desta forma, ocorreu uma grande expansão da cultura entre o período de 2000 a 2009 para os Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Como essa expansão ocorreu sobre o bioma Cerrado, Filoso *et al.* (2015) sinalizam os impactos ambientais desse crescimento na produção de etanol. O uso da água teve melhor utilização, no entanto, a contaminação do solo e da água pioraram, bem como a gestão de resíduos sólidos e líquidos.

Em relação ao potencial de melhoria da eficiência nos processos, Dias *et al.* (2015) destacam a redução no consumo de energia e água, a diminuição das perdas de açúcares no processo produtivo (presente nas fases de fermentação, desidratação e destilação). Os autores ainda apresentam um modelo integrado para as indústrias que pode aumentar o montante de etanol e energia produzida, além de reduzir a emissão de gás carbônico. Em geral, o processo de produção envolve um conjunto de insumos usados na transformação de algum produto. O processo produtivo de etanol e açúcar é representado conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Processo de produção de açúcar e etanol.

Fonte: Seabra (2008).

O processo apresenta vários subsistemas que podem ser otimizados segundo Morandin *et al.* (2011). Como exemplos de melhorias no processo produtivo, Salgado Júnior, Carlucci e Novi (2014) citam o sistema de limpeza de cana a seco, alternativa ao sistema de lavagem com água, e o tratamento realizado nas etapas de fermentação e destilação. Portanto, a identificação dos pontos de ineficiências faz-se necessário.

Embora o setor seja criticado por questões ambientais e práticas laborais, Martinelli *et al.* (2011) encontraram evidências de uma relação positiva entre o valor adicionado da produção de cana-de-açúcar e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em 644 municípios do Estado de São Paulo. Ainda identificaram expansão nas oportunidades de emprego, nos serviços públicos e na infraestrutura das cidades, resultando em desenvolvimento rural.

Na mesma direção, Moraes, Bacchi e Caldarelli (2016) construíram um modelo teórico para avaliar os efeitos do setor sobre o produto *per capita* dos municípios na região Centro-Sul do Brasil. Os resultados indicaram que os efeitos da implantação da indústria são maiores nos municípios sede e persistem por pelo menos dez anos após o início das operações. Os impactos positivos no produto interno bruto municipal se estendem aos municípios vizinhos.

Por fim, ressalta-se que o governo tem atuação direta sobre o setor devido às diferenças de alíquotas no Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) entre os Estados brasileiros, bem como controla a quantidade de etanol adicionada à gasolina e regula o preço dos combustíveis em alguns momentos (MARTINELLI *et al.*, 2011).

## 2.2 EFICIÊNCIA E ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Para Farrell (1957) a eficiência se refere ao grau de sucesso de uma empresa no esforço de gerar determinada quantidade de produto a partir de determinada quantidade de insumos; enquanto isso, Pachiell (2009) define eficiência como a razão entre a produção observada e a produção potencial máxima alcançável de acordo com os recursos disponíveis.

Normalmente a eficiência é determinada por diversos fatores, logo, a eficiência relativa é definida como a razão entre o total ponderado das saídas pelo total ponderado das entradas e consiste na eficiência de uma *Decision Making Unit* (DMU), quando comparada com outra DMU dentro de determinado grupo (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002).

Uma técnica utilizada com sucesso para medir a *performance* relativa das DMUs quanto a eficiência é a DEA, que avalia a eficiência relativa de um conjunto de DMUs no que se refere ao seu desempenho operacional, evidenciando o quanto uma unidade é mais eficiente que outra. Essa abordagem tem a vantagem de poder converter múltiplas entradas (inputs) em múltiplas saídas (outputs) e apresenta o indicador de eficiência entre 0 e 1, ou seja, de 0% a 100%, sendo o valor 1 considerado efetivamente eficiente (ALMEIDA; MACEDO, 2010).

Lemos *et al.* (2016) destacam que a DEA define o posicionamento competitivo relativo das DMUs, contrapondo suas eficiências e ineficiências técnicas e de escala. Ainda permite determinar a eficiência das unidades produtivas onde não seja predominante somente o aspecto financeiro.

A DEA apresenta dois modelos básicos, sendo que ambos os modelos apresentam orientação tanto para insumos quanto para produto. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propuseram um modelo que assume retornos constantes de escala (CCR ou CRS - *constant returns to scale*), permitindo uma avaliação objetiva da eficiência global.

A fórmula do modelo CCR orientado a produto, conforme Kassai (2002, p. 75), é:

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

Sujeito a

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

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

(01)

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1,..., m; i = 1,..., n; j = 1,..., N.

A orientação para *outputs* procura maximizar a saída, mantendo o mesmo nível de *inputs*. Posteriormente, Banker, Charnes e Cooper (1984) consideraram conjuntos alternativos de premissas e propuseram um retorno variável de escala do modelo (BCC ou VRS - *variable returns to scale*), distinguindo entre ineficiências de técnicas e de escalas. A formulação matemática do modelo de retorno variável de escala (BCC) orientado a produto é apresentada a seguir (KASSAI, 2002, p. 76).

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar} && \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \\ & \text{Sujeito a} && \\ & && \sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ji} - v_k \leq 0 \\ & && \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \\ & && u_r, v_i \geq 0 \end{aligned} \tag{02}$$

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1, ..., m; i = 1, ..., n; j = 1, ..., N.

O modelo BCC admite que a produtividade varie em função da escala de produção, ou seja, i) há retornos crescentes de escala se acréscimos nos insumos implicam em um aumento mais que proporcional na quantidade de produtos obtidos; ii) existe retornos constantes de escala quando acréscimos no consumo de recursos resultam em aumentos proporcionais na quantidade de produtos finais; iii) há retornos decrescentes de escala quando acréscimos no consumo de recursos acarretam aumentos menos que proporcionais na geração de produtos (AZEVEDO *et al.*, 2012).

Dyson *et al.* (2001) dizem que um dos pressupostos básicos da DEA é a homogeneidade das DMUs, pois referem-se a atividades similares e utilizam recursos semelhantes que estão disponíveis para todas as unidades. Assim, as usinas podem ser consideradas DMUs que produzem diferentes quantidades de etanol e açúcar decorrente do processamento de diferentes quantidades de cana-de-açúcar.

Por ser uma abordagem não paramétrica, a DEA não apresenta restrições quanto ao tipo de distribuição dos dados, o que é uma das vantagens da aplicação

do modelo, mas, algumas limitações e problemas podem ser verificadas em Coelli *et al.* (1995).

Salgado Júnior, Carlucci e Novi (2014) afirmam que o estudo da eficiência operacional em usinas de cana-de-açúcar pode contribuir para uma melhoria dos resultados do setor. A seguir são apresentados alguns trabalhos utilizando DEA na cultura da cana-de-açúcar.

Chaitip, Chaiboonsri e Inluang (2014) utilizaram uma análise de dados em painel com DEA para verificar a eficiência técnica das fazendas nas principais regiões produtoras da Tailândia. Os dados referiram-se as safras de cinco anos no período de 2008 a 2012. Os resultados indicaram que a eficiência técnica é influenciada pela área plantada e pela quantidade de chuvas. Além disso, a análise de eficiência de escala mostrou que 2008 e 2011 podem ser adotados como parâmetro para recomendação de políticas.

Pachiel (2009) analisou a eficiência de dezesseis usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo na safra 2006/2007. O autor considerou como insumos os estoques, os salários e o imobilizado, e como produto, a receita de vendas. Concluiu-se que seis usinas se revelaram eficientes tecnicamente, enquanto as restantes foram ineficientes.

A eficiência econômica da produção de cana-de-açúcar dos produtores independentes do Estado do Paraná foi verificada por Melo (2010). Foram definidas quatro variáveis como *inputs* (área plantada com cana-de-açúcar em hectares, custo anual com operações mecanizadas, custo anual com operações manuais, custo anual com insumos) e um *output*, o valor anual líquido da produção. Os resultados asseveraram que, das 59 unidades pesquisadas, apenas 13,56% apresentaram eficiência máxima.

Fagundes e Costa (2012) desenvolveram trabalho visando analisar a competitividade e a eficiência da atividade de produção da cana-de-açúcar nos Estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná. Evidenciou-se que o Estado de Mato Grosso do Sul é um dos mais competitivos e eficientes, equiparando-se a São Paulo. Os Estados de Minas Gerais e Paraná apresentaram custo de produção maior e receitas menores.

Brunozi Júnior *et al.* (2012) procuraram determinar o grau de eficiência técnica e produtiva das usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Os autores analisaram 17 usinas e utilizaram três *inputs* (estoques, imobilizado e salários) e um *output* (faturamento bruto). Os resultados evidenciam que quatro empresas foram eficientes, mas duas apresentaram problemas de escala; quanto às ineficientes, quatro têm problemas de escala, operando abaixo da escala ótima de produção e sete são ineficientes tecnicamente.

Xavier (2014) mensurou a eficiência econômica da produção do setor sucroenergético do Brasil, com dados de sessenta e sete agroindústrias na safra 2012/2013. Considerou como *inputs* a área cultivada de cada agroindústria e a quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) adquirida de fornecedores e pelo *output*, o equivalente a total de ATR na forma de açúcar e etanol. Os resultados indicaram potencial de melhoria de eficiência econômica de 90% sobre os níveis de eficiência médios das usinas brasileiras. A eficiência técnica foi estimada em 72%, enquanto a eficiência alocativa foi de 74% e as usinas da região Centro-Sul são mais eficientes que as usinas do Nordeste, no entanto, não se observam diferenças entre as regiões Tradicional e Expansão.

Oliveira *et al.* (2014) buscaram analisar a eficiência de dezessete fazendas no Nordeste de Minas Gerais. Os *inputs* utilizados foram matéria-prima, aluguel do terreno e recursos humanos. O *output* considerado foi a receita da cana. Das fazendas analisadas, sete foram consideradas eficientes e, em todos os fatores de produção utilizados como *input*, é possível implementar reduções em seus gastos.

Em relação ao Estado de São Paulo, Salgado Júnior, Carlucci e Novi (2014) sugerem que há maior concentração de usinas classificadas como eficientes e de tamanho grande, visto que as empresas de maior porte tendem a investir em mais tecnologia, que proporciona maior eficiência. Para tanto, avaliaram 355 usinas em diferentes Estados brasileiros com base no modelo CCR, tendo como *input* a quantidade de cana moída e *outputs* a quantidade de etanol e açúcar produzido. Concluíram que a variável tamanho e a variável localização exercem influência na eficiência operacional das usinas.

Lemos *et al.* (2016) desenvolveram estudo com objetivo de verificar as localizações que obtiveram maiores índices de eficiência e explicar o comportamento

da variação da eficiência operacional nas usinas sucroalcooleiras. Como resultado obtiveram os Estados de São Paulo e Goiás com maior eficiência operacional e a safra 2012/2013 como a mais eficiente.

Outra constatação observada acerca da DEA é relatada por Pereira e Tavares (2017) que avaliaram a eficiência das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão, no que diz respeito aos custos de produção da cana-de-açúcar nas safras 2007/2008 a 2011/2012. Os resultados mostram que a região Centro-Sul tradicional é a mais eficiente tecnicamente e que o maior problema das regiões é a escala de produção.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se caracterizou como descritivo em relação ao objetivo. Quanto aos procedimentos técnicos, empregou-se a pesquisa bibliográfica e a documental. Em relação à abordagem, a pesquisa se classificou como quantitativa.

De acordo com Marques (2009) a plantação de cana-de-açúcar, no Brasil, é feita principalmente nas regiões Centro-Sul tradicional (São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro); Nordeste (Estados de Pernambuco e Alagoas); e Centro-Sul expansão (Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista). Por esse motivo, essas três regiões foram selecionadas para o estudo, considerando a disponibilidade e acessibilidade dos dados.

Os dados foram extraídos da base eletrônica do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo (CEPEA - ESALQ/USP) referente às safras 2007/2008 a 2011/2012. Considerando que as safras da cultura da cana-de-açúcar iniciam em um ano ( $x$ ) e terminam no próximo ( $x + 1$ ), adotou-se, para simplificação, como terminologia da safra o último ano ( $x + 1$ ). A utilização dos relatórios do CEPEA ocorreu porque o órgão é referência no estudo da produção da cultura. O período das safras considerado é semelhante ao período utilizado por Chaitip, Chaiboonsri e Inluang (2014).

Para análise da eficiência, foi utilizado o *software* MaxDEABasic 6 e cada região produtora de cana-de-açúcar e a sua respectiva safra foram consideradas como sendo uma DMU (Quadro 1).

Contudo, em virtude da disponibilidade de dados, a quantidade de DMUs não é alta e, segundo Senra *et al.* (2007), nesse caso, o uso de um grande número de variáveis não tem sentido no uso dos modelos básicos (CCR e BCC) DEA.

É aconselhável que haja uma relação de causalidade entre *inputs* e *output*, porque, à medida que o número de variáveis aumenta, cresce também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo, devido a uma avaliação muito benevolente (GOMES *et al.*, 2012).

Não há uma regra geral para determinar a quantidade de variáveis. Existem algumas recomendações de que o número de DMUs deva ser pelo menos o dobro ou o triplo das variáveis (ATHAIDE; AGUIAR; NAGANO, 2003).

#### Quadro 1. Classificação das DMUs

DMU	REGIÃO - SAFRA	ESTADOS
DMU 1	Expansão - 2008	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista
DMU 2	Expansão - 2009	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista
DMU 3	Expansão - 2010	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista
DMU 4	Expansão - 2011	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista
DMU 5	Expansão - 2012	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o Oeste paulista
DMU 6	Tradicional 2008	São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 7	Tradicional 2009	São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 7	Tradicional 2010	São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 9	Tradicional 2011	São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 10	Tradicional 2012	São Paulo - exceto Oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 11	Nordeste 2008	Pernambuco e Alagoas
DMU 12	Nordeste 2009	Pernambuco e Alagoas
DMU 13	Nordeste 2010	Pernambuco e Alagoas
DMU 14	Nordeste 2011	Pernambuco e Alagoas
DMU 15	Nordeste 2012	Pernambuco e Alagoas

Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Dyson *et al.* (2001), para determinar a quantidade de variáveis, o número de DMUs ( $n$ ) deve estar relacionado com o número de insumos ( $m$ ) e de produto ( $s$ ), podendo ser representado por no mínimo  $n = 2m_x s$ , onde  $m_x s$  é o produto do número de *inputs* e do número de *outputs*. A relação do número de DMUs (Região/Safra), insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) é satisfeita, pois se têm  $n = 15$ ,  $m = 1$  e  $s = 2$ .

No Quadro 2 estão relacionadas as variáveis que compõem o modelo DEA desta pesquisa, conforme a classificação e a definição. Foram utilizadas três variáveis, classificando-se uma como *input*, e as demais como *outputs*. A justificativa para escolha das variáveis de *outputs* refere-se ao volume dos dois principais produtos derivados da cultura da cana-de-açúcar, enquanto a variável de *input* se dá em razão da matéria-prima disponível para produção dos produtos.

Considerando que a produtividade é influenciada por fatores gerenciais (eficiência técnica) quanto pelo tamanho da produção (eficiência escala) foram utilizados os dois modelos para identificar essas diferenças. Inicialmente foram assumidos os retornos constantes de escala do modelo CCR. Posteriormente, essa medida de eficiência foi decomposta em uma medida de pura eficiência e uma eficiência de escala através dos retornos variáveis (BCC). Assim, a medida de eficiência de escala é igual à razão do modelo CCR pelo BCC.

**Quadro 2.** Classificação das variáveis

Variáveis	Unidade	Classificação	Definição
Produção Açúcar	(t)	<i>Output</i>	Valor total, em toneladas de açúcar, produzido por região em cada safra.
Produção Etanol	(m <sup>3</sup> )	<i>Output</i>	Valor total, em metros cúbicos de etanol anidro e hidratado, produzido por região em cada safra.
Quantidade cana	(t)	<i>Input</i>	Valor total, em toneladas de cana-de-açúcar, produzido por região em cada safra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Melo (2010), os modelos seguem duas orientações: orientação a *inputs*, quando se deseja minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; e, orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar os produtos, sem alterar os recursos utilizados.

Neste estudo a orientação é para *outputs* visto que se procura maximizar a produção de açúcar e etanol conforme a quantidade de cana-de-açúcar disponível. Apesar de poder haver a necessidade de melhoria da tecnologia de forma a aumentar a produção o que, muitas vezes, não é possível devido aos altos custos necessários para investimento, ainda assim, a orientação é pertinente uma vez que a não utilização da cana produzida incorre em maiores custos.

Segundo Golany e Roll (1989) a técnica DEA pode ser utilizada para verificar mudanças de graus de eficiência ao longo do tempo. Destaca-se que o fator tempo é sempre um ponto importante quando se utiliza os dados em painel, visto que a tecnologia se altera no decorrer dos anos. A tecnologia é aqui entendida como o grau de conhecimento sobre a transformação dos *inputs* em *outputs*, que pode se dar tanto pela utilização de novo equipamento quanto por uma nova maneira de realizar o processo produtivo.

Para minimizar o feito tempo na DEA, Camioto, Mariano e Rebelatto (2014) sugerem a utilização da Análise de Janelas. Destacam também que a Análise de Janelas é importante para contornar o baixo número de DMUs que deve ser pelo menos três vezes o somatório dos *inputs* e *outputs*.

Condição essa que é atendida nesta análise, visto que o número de DMUs é quinze e o número da soma de *inputs* e *outputs* é três. Ainda de acordo com Camioto, Mariano e Rebelatto (2014) a Análise de Janelas compreende a separação dos anos em diferentes grupos (janelas). Para tanto, é necessário determinar o número de janelas e o tamanho de cada uma.

Os autores anteriores recomendam como fórmula a seguinte expressão:

$$\text{Tamanho Janela (p)} = (k + 1) / 2$$

$$\text{Número de Janelas} = k - p + 1$$

Onde: k = número de períodos

Nesse estudo, o número de períodos (k = 5) refere-se às safras 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012. Portanto, o tamanho da janela é 3 e o número de janelas também, conforme a seguir: janela 1 (dados de 2008 a 2010), janela 2 (dados de 2009 a

2011) e janela 3 (dados de 2010 a 2012). Portanto, à medida que se acrescenta um ano o primeiro ano é excluído da análise.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Análise de Janelas foi realizada para avaliar a eficiência do setor sucroenergético de 2008 a 2012 considerando a produção de etanol e açúcar produzido a partir da quantidade disponível de cana.

Quando se analisa os resultados do setor sucroenergético nota-se que existe uma tendência de perda na eficiência de janela para janela (Tabela 1). Destaca-se que o ano de 2010 representa um divisor, onde os anos anteriores apresentam-se eficientes e, a partir desse ano, ocorre uma piora na eficiência das usinas.

**Tabela 1.** Análise de janela do setor sucroenergético

Ano	Janelas (%)		
	1	2	3
2008	100,00		
2009	100,00	100,00	
2010	98,00	97,00	99,00
2011		100,00	98,00
2012			97,00
Média janela	99,33	99,00	98,00
Média geral	98,00		
Desvio padrão	0,69		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Curiosamente, a exceção a esse fato é o ano de 2011, na janela 2, onde o setor apresentou melhorias, mas posteriormente, decaiu novamente. Esses resultados estão parcialmente de acordo com Chaitip, Chaiboonsri e Inluang (2014) que identificaram os anos de 2008 e 2011 como os melhores na escala de produção. Ressalta-se que para Alves (2009) questões macroeconômicas (crise mundial 2008) e de mercado, como a manutenção, pelo governo, do preço da gasolina abaixo do preço de mercado internacional podem afetar a eficiência.

Porém, a média das janelas é alta e indicam que as DMUs (regiões em cada safra) apresentam-se homogêneas (eficiência elevada, entre 99,33 e 98,00). Além disso, a média geral de desempenho do setor no período de 2008 a 2012 também é elevada (98,00). Já o desvio padrão é baixo (0,69) indicando o nível de estabilidade do setor, ou seja, o setor não tem grande variação de eficiência (Tabela 1).

Quando analisadas as regiões individualmente, nota-se que a região Nordeste obteve a melhor média geral e a perda de eficiência ocorreu a partir do ano de 2011 (Tabela 2). A região Tradicional apresentou as janelas 1 e 2 com eficiência máxima e o ano de 2012 com uma forte queda. A região Expansão não obteve desempenho satisfatório em nenhuma das janelas e a safra de 2010 que foi a que mais afetou a *performance* regional e o setor de maneira geral.

**Tabela 2.** Análise de janela por regiões

Ano	Expansão - Janelas (%)			Tradicional - Janelas (%)			Nordeste - Janelas (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2008	100,00			100,00			100,00		
2009	100,00	100,00		100,00	100,00		100,00	100,00	
2010	92,00	92,00	92,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2011		100,00	100,00		100,00	100,00		97,00	97,00
2012			98,00			86,00			100,00
Média janela	97,33	97,33	94,00	100,00	100,00	95,33	100,00	99,00	99,00
Média geral	96,22			98,44			99,66		
Desvio padrão	1,92			2,70			0,58		

Fonte: Elaborado pelos autores.

É relevante verificar se a diminuição de eficiência está relacionada ao efeito da escala de produção ou ao grau de eficiência técnica. Segundo Kassai (2002), o modelo CCR permite uma avaliação da eficiência global, e o modelo BCC distingue entre a eficiência técnica “pura” e a eficiência de escala conforme Tabela 3. Com

base nos retornos constantes à escala, observou-se que o nível médio de ineficiência foi de 0,05 (1-0,95), resultado diferente ao encontrado por Brunozi Junior *et al.* (2012) que, ao analisarem 17 usinas beneficiadoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, encontraram ineficiência de 0,375 para retornos constantes de escala. A ineficiência também pode ser decorrente da incorreta escala de produção porque a eficiência técnica total (retornos constantes) é composta pela pura eficiência técnica (retornos variáveis) e pela eficiência de escala.

**Tabela 3.** Eficiência técnica e de escala das regiões produtoras

DMU	Eficiência Técnica - Modelo CCR	Eficiência Técnica - Modelo BCC	Eficiência Escala
DMU 1 (Expansão 2008)	1,00	1,00	1,00
DMU 2 (Expansão 2009)	1,00	1,00	1,00
DMU 3 (Expansão 2010)	0,92	0,92	1,00
DMU 4 (Expansão 2011)	0,99	1,00	0,99
DMU 5 (Expansão 2012)	0,90	0,90	1,00
DMU 6 (Tradicional 2008)	1,00	1,00	1,00
DMU 7 (Tradicional 2009)	0,98	1,00	0,98
DMU 8 (Tradicional 2010)	0,90	1,00	0,90
DMU 9 (Tradicional 2011)	0,91	1,00	0,91
DMU 10 (Tradicional 2012)	0,78	0,86	0,90
DMU 11 (Nordeste 2008)	1,00	1,00	1,00
DMU 12 (Nordeste 2009)	0,96	1,00	0,96
DMU 13 (Nordeste 2010)	0,97	1,00	0,97
DMU 14 (Nordeste 2011)	0,96	0,97	0,98
DMU 15 (Nordeste 2012)	1,00	1,00	1,00
Média	0,95	0,97	0,97

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme Azevedo *et al.* (2012), a ineficiência de escala pode ser devido a DMU estar operando abaixo da escala ótima (retorno crescente) ou acima da escala ótima (retorno decrescente). Pode-se verificar que as DMUs (DMU4, DMU7, DMU8, DMU9, DMU12, DMU13) apresentam problemas de escala. Foi possível observar também que cinco DMUs (DMU1, DMU2, DMU6, DMU11, DMU15) são eficientes

tecnicamente e em escala, ou seja, estão otimizando o uso de recursos e atuam em escala ótima (Tabela 3). As médias de eficiência de escala e de pura eficiência são, em ambos os casos, de 0,97 (Tabela 3), ou seja, as regiões ineficientes deveriam em média, aumentar a produção de etanol e açúcar em 3% para operarem em escala ótima de produção. As DMUs 3 e 5 (Tabela 5) apresentam eficiência de escala, mas têm ineficiência técnica de 0,08 e 0,10 respectivamente, ou seja, necessitam melhorar os processos de produção. Por sua vez, as DMUs 10 e 14 foram ineficientes tanto em escala e técnica.

A partir da Tabela 3, foi possível descrever o principal problema enfrentado pelas regiões produtoras, podendo ser de escala, técnica ou ambas. Caso seja ineficiente só em escala, o problema é a escala de produção. Sendo ineficiente apenas tecnicamente, o problema são os fatores gerenciais, mas, se for ineficiente tanto em escala quanto em técnica, os problemas incorrem em mau gerenciamento e escala inadequada.

Do total de DMUs analisadas, cinco não apresentaram problemas, seis apresentaram problemas de escala, duas problemas de eficiência técnica e as duas restantes, problema de escala e eficiência. Em síntese, percebe-se que o maior problema das regiões produtoras de cana-de-açúcar é a incorreta escala de produção, contradizendo os resultados de Pachiel (2009) e Brunozi Júnior *et al.* (2012) que constataram como principal problema o uso inadequado de insumos pelas usinas. Todavia, está em conformidade com Pereira e Tavares (2017) ao avaliar a eficiência das regiões com base nos custos de produção da cana-de-açúcar.

Ao analisar 16 usinas no Estado de São Paulo, Pachiel (2009) constatou que 50% delas apresentavam problemas de eficiência, 25% problemas de escala, e 25% não tinham problemas nem de escala e nem de eficiência. Das 17 usinas avaliadas por Brunozi Júnior *et al.* (2012), 11 foram consideradas ineficientes e, dessas, apenas duas apresentaram problemas de escala, enquanto as demais apresentaram problema de eficiência técnica.

Para as DMUs que apresentam os problemas de escala pode-se aplicar outros modelos radiais, como DRS (*decrease returns to scale*) ou IRS (*increase returns to scale*), para identificar em qual nível de escala de produção se encontram (crescentes ou decrescentes), já que podem expandir a produção a custos decrescentes até que

---

se tornem 100% eficientes ou diminuïrem a produção para atuarem na escala de produção constante.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se avaliar a eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no perïodo de 2008 a 2012. As regiões Centro-Sul tradicional, Centro-Sul expansão e Nordeste, que representam as DMUs, foram agrupadas por safra com base na quantidade de cana disponïvel e, por meio da técnica DEA orientado a produtos, foram identificados os ïndices de eficiências das regiões.

A partir dos resultados obtidos pela Análise de Janelas, permitiu-se responder  questão apresentada no inïcio deste estudo, onde se constatou que a eficiência do setor apresenta tendência de redução, sendo que a partir do ano de 2010 essa tendência  acentuada, em virtude da região Expansão. Além disso, foi verificado qual o tipo de ineficiência está associado às regiões. Os resultados indicaram que 33% das safras não apresentaram problemas de eficiência técnica e nem de escala, ou seja, operaram com retornos constantes de escala. Contudo, 40% das safras apresentaram problemas com a escala de produção. Assim, o maior problema relaciona-se com a escala incorreta de produção, confirmando o estudo de Pereira e Tavares (2017). As safras 2010 e 2012 da região Expansão apresentaram problemas de eficiência técnica. Duas safras (Tradicional 2012 e Nordeste 2011) tiveram problemas com eficiência técnica e de escala.

Os resultados referentes à eficiência de escala e a eficiência técnica contrapõem-se aos de Pachiell (2009), Brunozi Júnior *et al.* (2012) que encontraram como principal problema das usinas a eficiência técnica, e ao de Lemos *et al.* (2016), que identificaram a safra 2012/2013 como a mais eficiente.

Em relação aos limites do estudo, um ponto a ser considerado é o espaço temporal adotado na pesquisa, já que as janelas referem-se apenas a cinco anos. Sugere-se para pesquisas futuras a utilização dos modelos DRS (*decrease returns to scale*) ou IRS (*increase returns to scale*) para que se possa definir o tipo de problema de escala (crescente ou decrescente) que as regiões enfrentam.

## REFERÊNCIAS

ADLER, N.; FRIEDMAN, L.; SINUANY-STERN, Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 140, p. 249-265, 2002.

ALMEIDA, K.; MACEDO, M. A. da S. Análise do desempenho contábil-financeiro no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no setor agroindustrial nos anos de 2006 e 2007. **Pensar Contábil**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 48, p. 5-21, maio/ago. 2010.

ALVES, C. L. B. Liberalização Comercial: aspectos teóricos e estratégias recomendadas. **Revista de Economia & Relações Internacionais**, São Paulo, v. 7, n. 14, p. 5-19, jan. 2009.

ATHAIDE, A. H.; AGUIAR, E. M.; NAGANO, M. S. Avaliação do desempenho financeiro de empresas do transporte rodoviário de cargas pelo método DEA. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17., 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ANPET, 2003, v. 2, p. 1500-1511.

AZEVEDO, G. H. I. de; ROBOREDO, M. C.; AIZEMBER, L.; SILVEIRA, J. Q. da; MELLO, J. C. C. B. S. de. Uso de análise envoltória de dados para mensurar eficiência temporal de rodovias federais concessionadas. **Journal of Transport Literature**, Manaus, v. 6, n. 1, p. 37-56, jan. 2012.

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

BRUNOZI JÚNIOR, A. C.; ABRANTES, L. A.; GOMES, A. P.; GONÇALVES, R. M. L. Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. **Revista Ambiente Contábil**, Natal, v. 4, n. 2, p. 74-92, jul./dez. 2012.

CAMIOTO, F. de; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. do N. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, v. 37, p. 50-60, 2014.

CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. **Econometrica**, v. 50, n. 6, p. 1393-1414, 1982.

CHAITIP, P.; CHAIBOONSRI, C.; INLUANG, F. The production of Thailand's sugarcane: using panel Data Envelopment Analysis (panel DEA) based Decision on Bootstrapping Method. **Procedia Economics and Finance**, Amsterdam, v. 14, p. 120-127, 2014.

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

COELLI, T. J. Recent developments in frontier modeling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, Parkville, v. 39. n. 3. p. 219-245. Dec. 1995.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. de P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; PANOSSO, A. R. Produtividade da cana-de-açúcar: variabilidade linear e espacial entre componentes tecnológicos e da produção. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 390-400, 2014.

DIAS, M. O. de S.; MACIEL FILHO, R.; MANTELATTO, P. E.; CAVALETT, O.; ROSSELL, C. E. V.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, Amsterdam, v. 15, p. 35-51, 2015.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001.

FAGUNDES, M. B. B.; COSTA, C. L. Análise da competitividade da cana-de-açúcar nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 441-462, 2012.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FILOSO, S.; CARMO, J. B. do; MARDEGAN, S. F.; LINS, S. R. M.; GOMES, T. F.; MARTINELLI, L. A. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable Sustainable Energy Review**, v. 52, p. 1847-1856, 2015.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **OMEGA International Journal of Management Science**, London, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOMES, E.; MELLO, J.; NETO, L.; MEZA, L. Gestão de auto-estradas - Análise de eficiência das auto-estradas federais brasileiras com portagens. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, v. 11, n. 2-3, p. 55-62, julho, 2012.

HAAS, D. J. Productive efficiency of english football teams - a data envelopment analysis approach. **Managerial and Decision Economics**, Chichester, v. 24, p. 403-410, 2003.

HELFAND, S. M.; LEVINE, E. S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural economics**, Amsterdam, v. 31, p. 241-249, 2004.

KASSAI, S. **Utilização da análise por envoltória de dados na análise das demonstrações contábeis**. 2002. 350f. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LEMOS, S. V.; SALGADO JUNIOR, A. P.; DUARTE, A.; ANTUNES, F. de A.; ESTEVES, R. L. Análise comparativa entre produtividade agrícola e industrial do setor sucroenergético brasileiro nos últimos 10 anos. **Revista Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 12, n. 4, p. 154-174, 2016.

MARIANO, E. B.; SOBREIRO, V. A.; REBELATTO, D. A. do N. Human development and data envelopment analysis: A structured literature review. **OMEGA The International Journal of Management Science**, v. 54, p. 33-49, 2015.

MARQUES, P. V. (coord.). **Custos de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA.

- MARTINELLI, L. A.; GARRETT, R.; FERRAZ, S.; NAYLOR, R. Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: evidence from the state of Sao Paulo. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 104, p. 419-428, 2011.
- MELO, C. O. de. **Eficiência econômica da produção de cana-de-açúcar de produtores independentes do Estado do Paraná**. 2010. 92f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- MORAES, M. A. F. D.; BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000-2008): effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass Bioenergy**, v. 91, p. 116-125, 2016.
- MORANDIN, M.; TOFFOLO, A.; LAZZARETTO, A.; MARÉCHAL, F.; ENSINAS, A. V.; NEBRA, S. A. Synthesis and parameter optimization of a combined sugar and ethanol production process integrated with a CHP system. **Energy**, Kidlington, v. 36, p. 3675-3690, 2011.
- OLIVEIRA, T. B. A.; BORNIA, A. C.; SILVEIRA, S. de F. R.; DRUMOND, A. M.; OLIVEIRA, M. W. Análise de custos e eficiência de fazendas produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 10, n. 1, p. 228-252, jan./mar. 2014.
- PACHIEL, M. G. **Eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo**. 2009. 67f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 13, edição especial, p. 37-70, abr., 2017.
- SALGADO JUNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; NOVI, J. C. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) na avaliação da eficiência operacional relativa entre usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 826-843, 2014.

SANTOS, D. F. L.; MENDES, C. C.; FARINELLI, J. B. de M.; FARINELLI, R. Viabilidade econômica e financeira na produção de cana-de-açúcar em pequenas propriedades rurais. *Custos e @gronegócio on line*, v. 12, n. 4, p. 222-254, out./dez. 2016.

SEABRA, J. E. A. **Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações.** 2008. 274f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SENRA, L. F. A. de C.; NANJI, L. C.; MELLO, J. C. C. B. S. de; MEZA, I. A. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, maio-ago., 2007.

XAVIER, C. E. O. **Análise de eficiência do setor sucroenergético brasileiro.** 2014. 163f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.

*Recebido em: 13/11/2017*

*Aceito em: 06/03/2019*