

Determinantes da eficiência técnica da indústria sucroenergética brasileira

Recebimento dos originais: 08/11/2018
Aceitação para publicação: 08/02/2020

Mateus Meaurio Fernandes

Mestre em Gestão do Agronegócio pela Escola de Administração e Negócios da Universidade

Federal de Mato Grosso do Sul – ESAN/UFMS

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Av. Zulmira Borba, Nº: 1933, Residencial Silvestre 1, casa: 58, Bairro: Nova
Lima; CEP: 79017043; Campo Grande, MS;

E-mail: mateusmeaurio10@gmail.com

Renato Luiz Sproesser

Doutor em Génie des Systèmes Industriels pelo Institut National Polytechnique de Lorraine; Instituição:
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul;

Endereço: Av. Senador Filinto Müller, 1555 - Unidade X, CEP:79070-900; Campo Grande,
MS;

E-mail: renato.sproesser@gmail.com

Matheus Wemerson Gomes Pereira

Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa - UFV;

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul;

Endereço: Av. Senador Filinto Müller, 1555 - Unidade X, CEP:79070-900; Campo Grande,
MS;

E-mail: matheuswgp@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo geral consiste em analisar os determinantes da eficiência técnica da indústria sucroenergética brasileira. Foram especificados três objetivos para auxiliarem no alcance do objetivo geral: a) determinar a eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros; b) mensurar os efeitos marginais dos determinantes sobre a eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras; c) avaliar os impactos das variáveis exógenas na eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras. Foram realizadas duas etapas com metodologias distintas, porém complementares, a primeira etapa foi a obtenção dos escores de eficiência das usinas sucroenergéticas para os estados brasileiros através da fase um do modelo Data Envelopment Analysis (DEA) concebido por sete inputs: a área estimada de colheita manual (ha); a área estimada de colheita mecânica (ha); horas de operação (min./ano); capacidade nominal de moagem de cana-de-açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de etanol (m3/dia); capacidade nominal de armazenamento de etanol (m3/dia) e um output, qual seja, a produção de Açúcares Totais Recuperáveis, ATR, (t/ano). O segundo estágio será o modelo Tobit com variáveis exógenas: temperatura, volume pluviométrico, qualidade das vias, e distância média geral até 20 km e características agrícolas, como determinantes da eficiência técnica das usinas sucroenergéticas. Os resultados mostram que o setor sucroenergético brasileiro eficiência

operacional alta, pois a média de eficiência foi maior que 89%. Constatou-se que a distância média e as características do solo apresentaram-se significativas.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Dados em painel. Variáveis exógenas.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é um produto que faz parte da história do Brasil. Mesmo com as adversidades enfrentadas pela economia brasileira no decorrer da sua história, as atividades atreladas à indústria açucareira subsistiu na maior parte dos casos, como sendo única fonte de renda dos produtores até o final do século passado (MILANEZ; NYKO, 2010). Levado em consideração tanto o lado social como o econômico, esse é um dos setores brasileiro que mais contribui para o desenvolvimento do país (GUPTA et al., 2011). Por isso, o Governo Federal, a fim de estimular esse mercado que se demonstra promissor, promoveu a criação de políticas públicas, tais como a criação do Proálcool e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) e, o Renova Bio (EPE, 2017).

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, detendo aproximadamente 27% da produção mundial, estando atrás dos Estados Unidos, responsável por cerca de 60% da produção total (REETZ, 2013). Dados da União da Indústria da cana-de-açúcar (UNICADATA, 2016) mostraram que a cana-de-açúcar representa aproximadamente 17% de toda a oferta de energia do país, devido à produção de etanol e cogeração de energia. De acordo com Centenaro (2012), a geração de empregos proporcionada pelas usinas é essencial para o desenvolvimento dos municípios em relação ao aumento de circulação de renda e estímulo a outras atividades locais, ou seja, traz externalidade positiva.

Não há uma diferenciação significativa em relação ao produto nem à marca em relação às indústrias desse setor, que exercem o papel de tomadoras de preços no mercado internacional e no mercado nacional. O fator custo acaba por se tornar o principal fator de competitividade, alocado principalmente no setor agrícola da cadeia produtiva (MILANEZ; NYKO, 2014).

Esses resultados são possíveis porque o país possui investimentos em tecnologia, diversas variedades, clima, solo e topografia favoráveis para a produção dessa cultura. Devido a novas variedades e formas de manejo, aumento da produtividade, foi possível ao país atingir o menor custo mundial de produção de açúcar e etanol (ADECOAGRO, 2011; SILVA, 2013).

Nota-se que o objetivo da agroindústria é ser rentável, para tanto, é necessário conhecer e possuir total controle das perdas, da eficiência e do custo de produção. Levando

em consideração esse aspecto, a qualidade da matéria-prima entregue às usinas é de extrema importância, visto que está diretamente ligada ao desempenho na extração, fermentação e destilação, processos fundamentais que possibilitam a obtenção de altos rendimentos e da qualidade do produto final (STUPIELLO, 1992).

Dessa forma, a concorrência se intensifica pela busca da matéria-prima de alta qualidade e com o menor custo possível, levado as empresas a aderirem à novas estratégias, como por exemplo a formação de clusters como forma de demarcação territorial, além de criarem barreiras a novos entrantes (MILANEZ; NYKO, 2014).

Segundo Shikida (2011), para aumentar a competitividade dos derivados da cana-de-açúcar pelas usinas, não é necessário levar em consideração apenas os fatores dos quais possuem controle, mas também aqueles fatores que as usinas não podem controlar diretamente, como é o caso da exploração de vantagens derivadas de recursos naturais. Apenas o aumento da produção e produtividade nas áreas agricultáveis brasileiras não é suficiente para justificar uma vantagem competitiva.

Existem diversos fatores que possivelmente interferem na qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima, e que consequentemente interferem na obtenção de seus derivados (LAVANHOLI, 2008). Variáveis climáticas, de logística (transporte de matéria prima), edáficas e de sanidade (doenças ou pragas) podem afetar as plantações de cana-de-açúcar (EGGLESTON et al. 2001; GODSHALL et al. 2000).

Para Zylbersztajn (2005) o aumento da produção ou melhorias na gestão das atividades do agronegócio estão relacionados com as atividades de distribuição e movimentação logística. Conforme proposto por Daskin (1985), logística é o “planejamento e operação de sistemas físicos, de gerenciamento e de informação necessários para permitir que insumos e produtos vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica”.

Se, por um lado, esse setor revela-se promissor, por outro, existem diversos desafios mais complexos, interligado à diversas variáveis que aumentam a intensidade dos eventos macro ambientais (BERGERON et al., 2001), demandando das organizações uma melhor adequação estrutural (VENKATRAMAN, 1988).

Nesse sentido, umas das características que mais têm se destacado nos últimos anos com a finalidade de elevar a competitividade das indústrias, são as fusões e aquisições (BESANKO et al., 2013). O governo brasileiro vê o processo de internacionalização do setor produtivo nacional como uma vantagem competitiva para o país, isso porque os principais beneficiários seriam os fabricantes de máquinas e equipamentos, empresas de engenharia e

consultoria, empreiteiras de serviços diversos e fornecedores de tecnologias de processos industriais e agrícolas (BNDES, 2011).

Entretanto Fuser (2008) alerta que a monocultura pode sofrer perdas de eficiência por causa de desvantagens ambientais e de sanidade, visto que há regiões que apresentam enormes riscos de proliferação de doenças e pragas, que podem colocar a perder grande parte da matéria prima. Ou seja, se os fatores exógenos forem favoráveis, a concentração de Açúcares Totais Recuperáveis será maior. E se os fatores endógenos e exógenos forem favoráveis, as usinas sucroenergéticas poderão extrair de forma mais eficiente tecnicamente os produtos derivados da cana-de-açúcar.

Surge, dessa forma, o problema de pesquisa ao qual busca-se responder: como tornar a indústria sucroenergética brasileira mais eficiente tecnicamente? Foi estabelecido como período de análise, os anos compreendidos de 2011 a 2015. O objetivo geral consiste em analisar os determinantes da eficiência técnica da indústria sucroenergética brasileira. Especificamente têm-se: a) determinar a eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros; b) mensurar os efeitos marginais dos determinantes sobre a eficiência técnica da indústria sucroenergética brasileira; c) avaliar os impactos das variáveis exógenas na eficiência técnica na indústria sucroenergética brasileira.

Assim, será feito o primeiro estágio do modelo Data Envelopment Analysis (DEA) com retornos variáveis de escala (BCC) com orientação ao produto para as usinas sucroenergéticas brasileiras concebido por sete inputs que são: área estimada de colheita manual (ha); área estimada de colheita mecânica (ha); horas de operação (min./ano); capacidade nominal de moagem de cana-de-açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de etanol (m³/dia); capacidade nominal de armazenamento de etanol (m³/dia); e um output: produção de Açúcares Totais Recuperáveis, ou ATR, (t/ano), afim de obter os scores de eficiência das mesmas e dar prosseguimento ao segundo estágio do modelo DEA, que consistirá em realizar uma regressão múltipla censurada (Tobit) em painel, com os scores de eficiência. Como a primeira fase utilizou em sua análise variáveis endógenas, o segundo estágio mensurará o efeito de variáveis exógenas: índice pluviométrico, temperatura, qualidade das estradas, distância média geral (até 20 km) e características do solo, como sendo os determinantes da eficiência técnica das usinas sucroenergéticas.

2. Referencial Teórico

O primeiro passo a ser tomado para determinar o desempenho de uma operação produtiva consiste em determinar as medidas de produtividade e eficiência. É importante salientar que existe uma diferença entre os dois conceitos, onde a primeira é uma razão entre duas quantidades e a eficiência é uma medida adimensional (COELLI et al., 1998).

Farrel (1957) foi um dos pioneiros a elucidar que, medidas com o intuito de avaliar a produtividade da empresa eram limitadas, uma vez que não conseguiam combinar medidas de vários insumos e construir um indicador único de medida de eficiência.

2.1. Eficiência

A eficiência é um conceito relativo e não absoluto. Isso quer dizer que se pode determinar que algo é eficiente, comparando com algo semelhante. Geralmente não é possível decidir se, por exemplo, uma empresa é eficiente em termos universais, sempre poderão existir alternativas para “como” operacionalizar de maneira mais eficiente (ROBALO, 1995).

Pinilla (2001) destaca três aspectos do entendimento de eficiência, relacionando-os a um tipo de decisão que precisa ser tomada pela firma: a) **Eficiência de Escala**: é quando a empresa alcança o nível de produção ótimo, isto é, maximiza o seu benefício total, fazendo com que a condição de benefício marginal se iguale ao custo marginal; b) **Eficiência Alocativa**: é quando a empresa escolhe as combinações de fatores de produção capazes de minimizar o custo total de produção. As quantidades dos fatores devem ser tais que os seus respectivos produtos marginais sejam iguais aos preços dos fatores; e c) **Eficiência Técnica**: é quando a empresa obtém o máximo possível de produto com a quantidade de fatores utilizada, ou é capaz de produzir a quantidade escolhida com o mínimo possível dos fatores de produção. Isto implica assumir que não há desperdício de recursos; esta condição, quando verificada, significa que a firma está trabalhando sobre a sua função de produção.

Eficiência técnica, de acordo com Ferreira e Gomes (2009), compara o que foi produzido por unidade de insumo utilizado, com o que poderia ter sido produzido. Sob esta perspectiva, essa comparação repousa na menor utilização possível dos recursos, para se obter a produção de um bem ou serviço. A melhor forma de utilização dos recursos é proveniente da tecnologia adotada ou ao processo de produção.

Segundo Varian (2010), ser eficiente tecnicamente implica assumir que não há desperdício de recursos, isso significa que a firma está trabalhando sobre a sua função de produção. Para tanto, na Figura 04, está relacionada eficiência e produtividade utilizando-se o gráfico da função de produção à curto prazo da teoria da produção da microeconomia, partindo do processo de produção de um único produto, através da utilização de um único insumo.

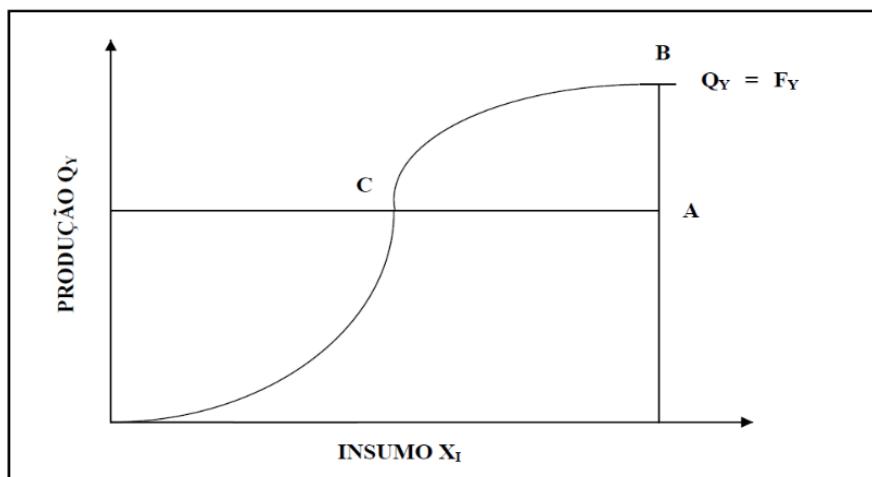


Figura 1: Função da produção: produtividade e eficiência técnica.

Fonte: Ferreira e Gomes (2009, p.25).

Então, os pontos C e B, na figura acima, são produtivos, uma vez que eles produzem o máximo de Q_Y . No entanto, fazendo um comparativo com a eficiência, o ponto C é o mais eficiente, basta observar que para produzir Q_Y no ponto B é necessário aumentar a quantidade X_I , representada por \overline{CA} , porém, o aumento da produção \overline{AB} é menor em relação à distância \overline{CA} , perfazendo uma produtividade marginal menor que 1 ($\frac{\overline{AB}}{\overline{CA}} < 1$) (FERREIRA E GOMES, 2009).

Outra informação relevante é que, uma atividade próxima ao ponto C, será mais eficiente que a atividade no ponto B, mas menos produtiva, por não se encontrar sobre a função de produção (onde a curva possui os Q_Y máximos). Sendo assim, a produção no ponto A é ineficiente e sua produtividade média é menor comparada aos pontos B ou C (FERREIRA E GOMES, 2009).

2.2. Determinantes da eficiência técnica

Em relação aos fatores climáticos, um estudo feito por Amorim et al. (2000) constatou que existe uma correlação linear positiva entre a umidade do ar no momento do corte com a porcentagem de solo e quantidade de bactérias na cana. Outro estudo realizado por Larrahondo, et al. (1998), verificou que altas quantidades de solo estão ligadas ao maior desgaste do maquinário agrícola e dos equipamentos da indústria.

Pereira et al. (2002) enfatizam que o rendimento máximo é determinado essencialmente pelas características genéticas e pelo grau de adaptação ao ambiente. O ambiente considerado ideal é onde a precipitação tenha uma boa distribuição durante o período de crescimento da planta, contudo, a cana necessita de um período mais seco antes da colheita, com maior luminosidade, constatado pelos autores, pela correlação entre os fatores ambientais e climáticos e a produção de açúcar (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

A cultura da cana-de-açúcar está sujeita à influência das mais variadas condições climáticas ao longo de seu desenvolvimento. Brunini (2010) ressalta que a temperatura do ar e a distribuição de chuvas são os fatores mais importantes para o sucesso da atividade produtiva comercial.

Devido a essas afirmações através das pesquisas já existentes, o clima é considerado o fator determinante principal das restrições impostas pelo ambiente físico, constituído pela interação dos componentes, clima, solo e planta que influenciam respectivamente a época de colheita, o número programado de cortes e a eleição de variedades (GEMENTE ET AL., 1986; Barbieri, 1993; Keating et al., 1999; Ometto, 1978, 1980).

Para a movimentação da matéria prima até as usinas, o transporte rodoviário é o mais apropriado. É importante analisar criteriosamente se a qualidade das rodovias fornece benefícios econômicos ao sistema logístico de transporte de cargas (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2008). De acordo com Valente *et. al.* (2011, p. 133), um dos fatores que influenciam nos custos de transporte é justamente o estado de conservação das vias.

A qualidade das vias de acesso às usinas são fatores relevantes no que se refere ao rendimento do processo industrial de recuperação do açúcar que depende da qualidade da matéria-prima entregue (VIANA, 2007). A cana-de-açúcar após colhida, mantém suas características físico-químicas inalteradas por pouco tempo, necessitando, ser processada imediatamente após a sua recepção na unidade industrial, para evitar quedas de rendimento na extração de sacarose (VIANA, 2007).

Essa dinâmica foi evidenciada por Ludvgsen (1999), afirmando que, uma das principais variáveis de escolha em utilizar-se ou não o transporte intermodal, reside no padrão de qualidade das rotas selecionadas. Hijar e Alexim (2006) através de seus estudos referentes aos terminais intermodais de grãos, afirmam que dentre os fatores de ineficiência das vias de acesso (congestionamentos, largura das rodovias de acesso, área de estacionamento, sinalização, filas) as condições de pavimentação das rodovias foram um dos principais fatores citados da ineficiência prejudicial ao terminal.

A literatura existente demonstra que existe uma influência significativa do tempo decorrido entre o corte da cana e o seu processamento (GENTRY; GASCHO, 1972; IRVINE, 1993; ARAUJO, 1996; EGGLESTON et al. 2001). Segundo esta linha de raciocínio, a deterioração da cana logo após a colheita, acarreta problemas, tais como: menor qualidade tecnológica da matéria-prima, menor eficiência de extração, com consequente queda no rendimento industrial (STURION ET AL. 1975).

A deterioração da cana de açúcar após a colheita é influenciada pela sua sanidade e condições ambientais (EGGLESTON ET AL, 2001). Segundo Mutton (2005), os reflexos da condição ambiental nas deteriorações que ocorrem no pós-colheita da cana de açúcar, devem ser levados em consideração também, podendo prejudicar ao desempenho na obtenção de açúcar e álcool.

3. Procedimentos Metodológicos

Serão realizadas duas etapas de cálculos. Em sua primeira etapa, será realizado o modelo DEA para as usinas sucroenergéticas brasileiras afim de obter os escores de eficiência das mesmas e assim dar prosseguimento ao segundo estágio do modelo.

A primeira etapa consiste em avaliar a eficiência operacional das usinas sucroenergéticas através da razão *output/inputs* e mensurar o nível de eficiência entre os mesmos, para o período referente às safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. O primeiro estágio será concebido por sete *inputs* que são: a área estimada de colheita manual (ha); a área estimada de colheita mecânica (ha); horas de operação (min./ano); capacidade nominal de moagem de cana-de-açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de açúcar (t/dia); capacidade nominal de produção de etanol (m3/dia); capacidade nominal de armazenamento de etanol (m3/dia) e um *output*, qual seja, a produção de ATR (t/ano).

A segunda etapa consistirá em realizar o modelo Tobit com os scores de eficiência determinados pelo primeiro estágio do modelo DEA. A variável dependente que suporta essa

verificação é composta dos próprios escores do primeiro estágio do DEA. Os níveis de eficiência serão mensurados admitindo retornos varáveis de escala, utilizando-se a orientação a *output*. A escolha desta abordagem reflete no fato de as características das usinas demandarem tais condições, uma vez que a abordagem orientada para insumos, reduzindo a utilização destes, não seria compatível com a disposição operacional de uma usina, no qual almeja a máxima utilização dos insumos em virtude dos altos investimentos fixos já realizados.

3.1. Análise envoltória de dados

Em termos matemáticos, o DEA calcula a eficiência através da razão entre uma soma ponderada de saídas (*outputs*) e uma soma ponderada de entradas (*inputs*). O peso para cada fator de ponderação (insumos e produtos) é obtido através da resolução de um problema de programação fracionária, em que cada unidade analisada maximiza sua eficiência (MELLO et al, 2003).

O DEA apresenta dois modelos distintos de modelagem não-paramétrica para medir a eficiência de uma DMU, são eles: o modelo CCR (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978) e o modelo BCC (BANRKER; CHARNES; COOPER, 1984). O primeiro modelo permite uma avaliação objetiva da eficiência global e estimativas das eficiências identificadas; enquanto o segundo modelo distingui as ineficiências técnicas e de escala, estimando a eficiência técnica pura, verificando se nas operações estão presentes ganhos de escalas constantes, crescentes ou decrescentes.

A orientação ao produto é o mais adequado para atender às finalidades deste trabalho, já que as usinas apresentam estruturas físicas diferenciadas, mas utilizam os mesmos fatores (insumos e produtos).

A formulação do modelo BCC com orientação ao produto (*output*), conforme Kassai (2002), é equivalente à formulação matemática supramencionada; com o termo v_k' representando a possibilidade de retornos de escala variáveis, podendo assumir valores negativos ou positivos. A formulação do modelo pode ser assim representada:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar} \\ & \sum_{r=1}^m u_r y_{rj} + v_k' \end{aligned}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^n u_y y_{rk} = 1$$

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

y = produtos; x = insumos; u , v = pesos

$r = 1, \dots, m$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, N$

Recobrando Belloni (2012), a possibilidade de retornos de escala variáveis do modelo BCC admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção; o modelo permite, porquanto, a utilização de DMU's de portes distintos.

A técnica de mensuração DEA, designa no seu primeiro estágio, a verificação dos escores da eficiência de um conjunto de DMU estudadas. O segundo estágio possui o propósito de determinar quais são os fatores que desempenham o papel de estabelecer esse nível de desempenho, uma vez que o primeiro estágio se limita a discutir a eficiência sob a ótica dos insumos e produtos da empresa.

Os scores da eficiência possuem valores que variam de 0 a 1. Tal perspectiva determina que os Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) não poderão ser utilizados uma vez que a variável não é livremente distribuída. O modelo *Tobit* é uma alternativa ao MQO quando a variável dependente for limitada pois, a estimação por mínimos quadrados ordinários do modelo de regressão censurada produz estimativas de parâmetros tendenciosas e inconsistentes, pois a censura introduz uma correlação entre o termo de erro da regressão e as covariáveis X (FERREIRA E BRAGA, 2007).

3.2. Regressão censurada (tobit) em painel

O modelo *Tobit*, originalmente formulado por James Tobit, é uma extensão do modelo econométrico Probit, e é conhecido por permitir análise de uma amostra onde só há informações para algumas observações (GUJARATI, 2006). Para Chilingerian (1995), o modelo Tobit sendo utilizado no segundo estágio do DEA, fornece estimativas esclarecedoras. Conforme Gujarati (2006), a estimação dos parâmetros do modelo Tobit se dá através do Método da Máxima Verossimilhança (MV), que segundo o autor, estima as observações conhecidas e desconhecidas de uma amostra censurada.

De acordo com Greene (2003), a formulação geral do modelo Tobit se expressa na equação abaixo:

$$y_i^* = X_i \beta + \varepsilon_i$$

Em que y_i^* é a variável dependente estimada, também conhecida como variável latente; X_i representa o vetor das variáveis explicativas; e β é o vetor dos parâmetros a ser estimado. Assume-se que ε_i seja normalmente distribuído, com média zero e variância constante, σ^2 ou seja, $(\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2))$.

A variável y_i que é efetivamente observada, ou seja, o score da eficiência observado no primeiro estágio do DEA, é definida da seguinte forma:

$$\begin{cases} y_i = y_i^* \text{ se } y_i^* < y_i^c \\ y_i = y_i^c \text{ se } y_i^* \geq y_i^c \end{cases}$$

Na equação acima, y_i^c representa o valor censurado, e como já mencionado, esse valor é 1. Para tanto, a variável obedece a seguinte formulação:

$$\begin{cases} y_i = y_i^* \text{ se } y_i^* < 1 \\ y_i = 1 \text{ se } y_i^* \geq 1 \end{cases}$$

De acordo com Vasconcelos e Alves (2000), estima-se o vetor de parâmetros β e o desvio padrão da regressão, através da seguinte função Log-verossimilhança:

$$L(\beta, \sigma) = \sum_{y=y_i^c} \log \left[1 - \Phi \left(\frac{y_i^c - X_i \beta}{\sigma} \right) \right] + \sum_{y_i < y_i^c} \log \left[\frac{1}{\sigma} \varphi - \Phi \left(\frac{y_i - X_i \beta}{\sigma} \right) \right]$$

Em que F e f representam, respectivamente, a função distribuição cumulativa e função densidade normal avaliadas em $\frac{\beta' x_i}{\sigma}$.

Sobre os efeitos marginais das variáveis explicativas no valor esperado y_i , a equação que permite essa inferência é dada por:

$$\frac{\partial E(y_i)}{\partial x_i} = \beta \Phi \left(\frac{\beta' x_i}{\sigma} \right)$$

Sendo conhecida a estimativa dos efeitos marginais das variáveis independentes sobre a variável dependente, é possível verificar o efeito dos fatores externos incluídos no modelo em relação ao desempenho da indústria sucroenergética. A técnica utilizada para a estimativa é a de dados em painel ou de dados longitudinais, que consiste num conjunto de dados combinados em dimensões tanto de série temporal como de corte transversal. Os modelos de painel permitem explorar, simultaneamente, variações ao longo do tempo e entre diferentes unidades ou grupos (BALGATI, 1995).

Segundo Balgati (1995), a disposição dos dados em painel permite o uso de um número mais elevado de observações, o que contribui para maior variabilidade dos dados, menor colinearidade entre as variáveis, elevação do número de graus de liberdade, maior eficiência do modelo estimado e é mais apropriado para o estudo de mudanças dinâmicas.

Duas especificações são comumente utilizadas para a estimação de dados em painel: efeitos fixos e efeitos aleatórios. Segundo Marques (2000), a primeira é mais apropriada para os casos em que se pretende prever o comportamento individual. A segunda é mais coincidente com o objetivo de se estudar toda a população, não um selecionado conjunto de indivíduos. Contudo, para painéis menores ($T < 8$) o estimador β se mostrou inconsistente, e indicam a estimação com efeitos aleatórios como solução.

3.3. Procedimentos de coleta de dados e amostra

A avaliação da eficiência operacional foi medida por meio da técnica matemática não paramétrica - DEA. O primeiro procedimento adotado para a seleção das variáveis utilizadas no modelo é a utilização de dados secundários para os dois estágios. No Quadro 1, consta o levantamento das variáveis que podem impactar na eficiência operacional da indústria.

Quadro 1: Variáveis do modelo DEA – eficiência operacional.

INPUT(S)	IMPACTOS PREVALECENTES
Área estimada de colheita manual (ha)	Expansão da produção; Produtividade agrícola.
Área estimada de colheita mecânica (ha)	Expansão da produção; Produtividade agrícola.
Horas de operação na operação de moagem (min./ano)	Expansão da produção; Eficiência operacional; Custos operacionais.
Capacidade nominal para moagem de cana-de-açúcar (t/dia)	Expansão da produção; Eficiência operacional; Custos operacionais.
Capacidade nominal para produção açúcar (t/dia)	Expansão da produção; Eficiência operacional; Custos operacionais.
Capacidade nominal para produção de etanol (m3/dia)	Expansão da produção; Eficiência operacional; Custos operacionais.
Capacidade de armazenagem de etanol (m3/dia)	Expansão da produção; Eficiência operacional; Custos operacionais.
OUTPUT	IMPACTOS PREVALECENTES
Açúcares Totais Recuperáveis – ATR (t/ano)	Fabricação dos produtos finais; Rendimento industrial; Lucratividade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo estágio também se baseou em dados secundários, a partir de revisão bibliográfica, e por meio da consulta a documentos. Essas variáveis estão detalhadas no Quadro 2 juntamente com o embasamento teórico e as hipóteses alternativas formuladas.

Cada variável independente teve um tratamento para aproximar os resultados da realidade. As variáveis Volume pluviométrico (PLUV) e Temperatura (TEMP), obtidas através dos “Boletins Agroclimatológico mensais” divulgados pelo INMET, tiveram o mesmo tratamento. Foi feita a média aritmética das duas variáveis (PLUV e TEMP) referentes aos 5 meses correspondentes ao período denominado “desenvolvimento lento”.

A limitação encontrada para a utilização das duas variáveis, refere-se ao fato de não possuir dados de temperatura e volume pluviométrico das áreas de plantio da cana. Dessa forma, foi utilizada a temperatura média e volume pluviométrico médio por Estado.

Quadro 2: Resumo das variáveis do modelo Tobit.

VARIÁVEL	DESCRIPÇÃO	EMBASAMENTO TEÓRICO	HIPÓTESES ALTERNATIVAS	FONTE
DEPENDENTE	EFI: Scores de eficiência técnica avaliados para as usinas sucroenergéticas brasileiras	-	“A eficiência das usinas sucroenergéticas são influenciadas por variáveis exógenas”	-
INDEPENDENTE	PLUV: volume pluviométrico	Barbieri e Villa Nova (1977); Barbieri, 1993; Keating et al., 1999; Ometto, 1978, 1980); Doorenbos e Kassam (1994); Machado et al. (2009); Prado (2007).	“Há relação de influência entre o volume pluviométrico e o desempenho das usinas sucroenergéticas”.	CPTEC/INPE /INMET
INDEPENDENTE	TEMP: temperatura	Barbieri e Villa Nova (1977); Barbieri, (1993); Keating et al., 1999; Ometto (1978, 1980); Brunini (2010)	“Há relação de influência entre a temperatura e o desempenho das usinas sucroenergéticas”.	CPTEC/INPE / INMET
INDEPENDENTE	DIST: distância média do canavial à usina	Mutton (2005)	“Há relação de influência entre a distância média do canavial à usina e o desempenho das usinas sucroenergéticas”.	CONAB
INDEPENDENTE	QUAL: Qualidade das vias de acesso às usinas.	Ludvigsen (1999); Hijar e Alexim (2006); Bartholomeu e Caixeta Filho (2008);	“A qualidade das vias influencia o desempenho das usinas sucroenergéticas”.	CNT
	CRCT: características do solo (<i>dummie</i>)	Barbieri e Villa Nova (1977); Barbieri, (1993);	“as características do solo influenciam o desempenho	

INDEPENDENTE	1: boas 0: ruim	Keating et al., 1999; Ometto (1978, 1980); Brunini (2010)	<i>das usinas sucroenergéticas”.</i>	IBGE
---------------------	--------------------	--	--	------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tratamento dado à variável “distância média de até 20km do canavial à usina” (DIST), foi utilizada como uma variável contínua que se refere à porcentagem de usinas que estão localizadas até 20km do canavial de onde recebem a matéria prima, como divulgado pela CONAB anualmente através dos relatórios de “Perfil do setor de açúcar e álcool no Brasil”.

A variável “Qualidade das vias de acesso às usinas” (QUAL), refere-se às condições da infraestrutura das vias rodoviárias que fornecem acesso às usinas. A Confederação Nacional do Transporte (CNT) publica, anualmente, pesquisa denominada “Pesquisa CNT de Rodovias”, tratando das condições da malha rodoviária brasileira. Utilizando-se a classificação “ótima”, “boa”, “regular”, “ruim” e “péssima”, o órgão avalia as vias rodoviárias do país no âmbito dos atributos: pavimento; sinalização; geometria; obtendo assim a classificação geral das rodovias. Será usada uma variável *contínua*, que será a porcentagem das vias classificadas em “ótima” ou “boa”. Tal divisão justifica-se nas próprias conclusões da Confederação Nacional de Transporte, afirmando que: “trechos ideais” são aqueles oriundos da classificação geral “ótimo” ou “bom”, e consequentemente, “trechos não ideais” são oriundos da classificação geral “regular”, “ruim” e “péssimo”.

A quinta e última variável independente é a “Características do solo” (CRCT). Essa variável levou em consideração o mapa de “Potencialidade Agrícolas” divulgado pelo IBGE em 2010, no qual classifica o território brasileiro através da fertilidade, características do solo, relevo e limitações. Foi utilizada a característica do solo como variável *dummie* em que, a classificação “Boa” representa o valor 1 e as regulares ou ruins, como 0. Devido à dificuldade em classificar a característica do solo referente ao Estado como um todo, visto que todos os estados possuíam áreas com classificações distintas, a solução encontrada foi utilizar o mapa da CONAB da “área de influência da cana-de-açúcar” para determinar as áreas de maior concentração da produção de cana e fazer a atribuição referente.

Segundo a Única (2017), as 30 maiores usinas sucroenergéticas brasileiras em capacidade de moagem de cana, representam 86% do total do Brasil. A amostra utilizada será composta pelo total de usinas de cada um dos 14 estados brasileiros com maior relevância em

produção de açúcar e álcool referente às safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015.

4. Resultados

O presente capítulo discute os resultados oriundos da pesquisa, os quais permitiram atender aos objetivos propostos. De início, abordar-se-á a avaliação da eficiência operacional relativa da indústria sucroenergética dos estados brasileiros.

4.1. Desempenho da indústria sucroenergética dos estados brasileiros

Por meio do acompanhamento do desempenho das safras agrícolas de cana-de-açúcar no país, foi possível determinar o desempenho da indústria sucroenergética dos estados brasileiros.

Os resultados permitem afirmar que a indústria sucroenergética brasileira, detém um padrão de eficiência alto, pois a média de eficiência da indústria brasileira foi de 89% na obtenção de ATR.

Considerando a eficiência operacional média dos estados, observa-se que seis estados, quais sejam, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, não atingiram a eficiência na safra 2011/2012, como mostra o Gráfico 1.

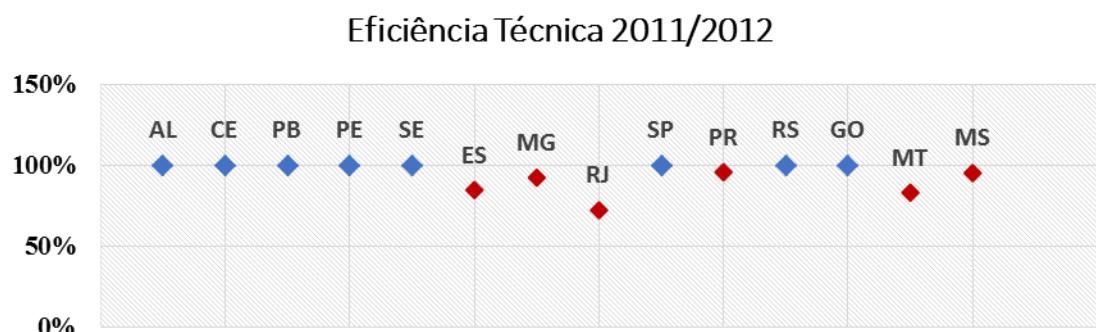


Gráfico 1: Eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros na safra 2011/2012.

Fonte: elaborado pelo autor.

O acesso às tecnologias independe da localização, já que usinas localizadas em diferentes estados do país conseguem adquirir equipamentos de alta tecnologia de diversos

fornecedores que muitas vezes são apresentadas nas diversas feiras do setor (CARLUCCI, *et al.* 2014).

Carlucci, *et al.* (2014) afirma que, apesar do acesso à tecnologia de processos ser independente da localização, acredita-se que estados como o de São Paulo possui algumas vantagens em relação aos outros estados brasileiros. Segundo Martinelli *et al.* (2011) existem alguns fatores que contribuem para que isso ocorra, como o fato de os centros urbanos servirem como mercados para produtos de açúcar e etanol produzidos na própria região, a infraestrutura instalada na região na última década e o rápido desenvolvimento da indústria da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

Visando a diminuição dos custos de produção, as novas usinas brasileiras fazem parcerias para a compra de insumos com outras usinas da região. Segundo o raciocínio de Carlucci, *et al.* (2014), as usinas que já estão instaladas possuem maiores motivações para investir em tecnologias que proporcionem condições para um processo produtivo mais eficiente.

No Gráfico 2 é possível perceber que os estados brasileiros considerados ineficientes durante as safras analisadas foram: Espírito Santo (23,5596%), Rio de Janeiro (11,5448%) e Paraná (31,4712%), com as maiores distâncias em relação à fronteira de eficiência na safra 2012/2013; Além desses três estados, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso também obtiveram eficiência abaixo de 65%. Suas eficiências foram respectivamente, 55,2181%, 61,8451% e 52,8419%, ficando abaixo da média de eficiência da indústria brasileira.

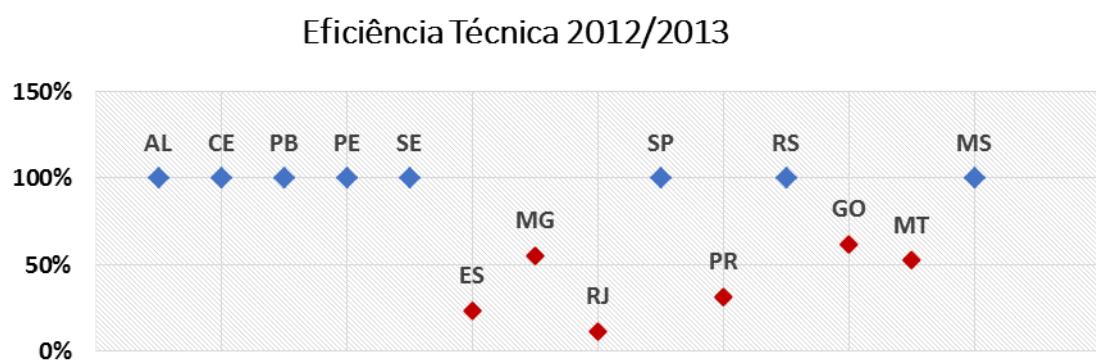


Gráfico 2: Eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros na safra 2012/2013.

Fonte: elaborado pelo autor.

Diversas usinas utilizam a moenda para a extração do caldo, embora essa tecnologia tenha menor capacidade de extração do difusor, acredita-se que a qualidade obtida a partir da

moenda é superior. No momento, o foco ainda é aumentar a quantidade de cana-de-açúcar processada (CARLUCCI, *et al.* 2014).

Na safra de 2013/2014, sete ficaram a baixo da eficiência máxima, mas desse montante, apenas três conseguiram obter eficiência menor que a média geral, que foi de 89%, são eles: Paraíba (84,3918%), Espírito Santo (76,7298%) e Rio de Janeiro (65,4178%). Os outros quatro estados que obtiveram eficiência acima da média foram: Sergipe (92,9555%), Minas Gerais (97,2961%), Paraná (96,5114%) e Goiás (93,4118%). Apesar de não conseguirem a eficiência máxima, essas unidades federativas obtiveram um elevado índice de eficiência, bem próximo de 100%, como está disposto no Gráfico 3.

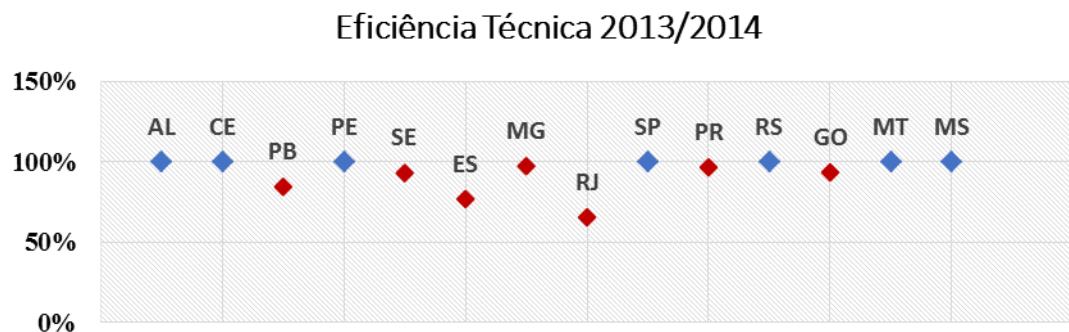


Gráfico 3: Eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros na safra 2013/2014.

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da literatura, foi possível verificar que, em virtude dos custos fixos elevados, inerentes às instalações de uma nova planta energética, frequentemente os gestores procuram utilizar a máxima capacidade produtiva instalada, pois um aumento do volume processado pela usina significa um ganho financeiro elevado.

Percebe-se que devido à alta competitividade e concorrência do setor sucroenergético, as usinas que ficam abaixo do nível de eficiência do setor, não conseguem se manter no mercado, principalmente pois precisam se adaptar às novas tecnologias para conseguirem competir com as usinas já instaladas anteriormente. Consequentemente, essas usinas precisam tomar decisões para diminuir os custos de produção, buscando novas parcerias e/ou fusões e aquisições. Isso explica o motivo dos estados ineficientes se recuperarem da análise de 2011/12 para 2014/2015, onde neste último ano somente os estados do ES, RJ e PR se mostraram abaixo da eficiência máxima, como está evidenciado no Gráfico 04.

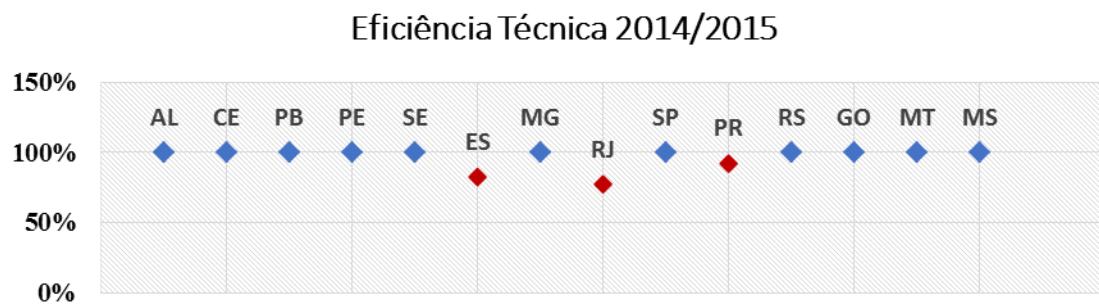


Gráfico 04: Eficiência técnica das usinas sucroenergéticas dos estados brasileiros na safra 2014/2015.

Fonte: elaborado pelo autor.

Isso significa dizer que os estados que se mostraram eficientes em todos os períodos de análise deste estudo (AL, CE, PE, SP e RS), possuem diversos fatores que podem ter favorecido para tal eficiência, como a existência de uma infraestrutura instalada, acesso e condições financeiras para a implantação de equipamentos de alta tecnologia, entre outros.

Conforme HELUANE *et al.* (2007), o modelo de processo e a forma da operação, estão relacionados com a seleção e utilização ótima dos recursos de uma usina de cana-de-açúcar ao longo do tempo, buscando maximizar a eficiência dos equipamentos da unidade produtiva.

Entretanto, para produzir uma maior quantidade de etanol são necessárias melhorias nos fatores tecnológicos, nos processos produtivos de produção e no manejo e cultivo, além do aumento da área plantada (DIAS *et al.* 2011). A conversão da cana-de-açúcar em açúcar ou em etanol é composta por uma série de processos físicos e químicos que acontecem em subsistemas básicos que podem ser otimizados (MORANDIN *et al.* 2011).

4.2. Fatores determinantes da eficiência técnicas dos estados brasileiros

Segundo Fried *et al.* (2002), a competência (ou incompetência) gerencial não é suficiente para explicar individualmente variações nos níveis de eficiência, dado que fatores ambientais, variáveis contextuais ou, até mesmo, ruídos estatísticos poderiam exercer alguma influência sobre o desempenho medido. O controle adequado desses impactos poderia indicar possíveis caminhos para os estados se tornarem mais eficiente (SOUZA *et al.* 2007). Os resultados associados ao modelo de regressão Tobit em painel podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Efeitos Marginais dos determinantes da eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras.

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	P-valor
TEMP	.0073653	.036998	0.842
PLUV	-.00267	.0016778	0.112
QUAL	.0070146	.0052675	0.183
DIST	.0121961	.0050779	0.016**
CRCT	-.5012439	.2952594	0.090**
2011	-.3128605	.1134007	0.006 *
2012	-.502607	.1091836	0.000*
2013	-.3050031	.1188996	0.010**
CONST	.9311048	1.001313	0.352
VARIÁVEL	EFEITOS MARGINAIS	ERRO PADRÃO	P-valor
TEMP	.002554	.01294	0.844
PLUV	-.0009259	.00063	0.144
QUAL	.0024324	.00197	0.217
DIST	.0042292	.00189	0.025**
CRCT	-.0984392	.04366	0.024**
2011	-.1392503	.06378	0.029**
2012	-.2472999	.07708	0.001*
2013	-.1330414	.06368	0.037**
Wald Chi2	32.89		
Prob. Wald Chi2	0.0001		
Número de observações	55		
% observações censuradas	60%		

Fonte: Resultados da pesquisa. (*) significativo a 5%; (**) significativo a 10%.

Os coeficientes estimados através do modelo apresentaram ajustamento satisfatório, demonstrando que as variáveis incluídas no estudo têm considerável poder de explicação para a eficiência, conforme verificado pelo teste x^2 , que se apresentou significativo a 1%.

Vários estudos realizados afirmam que uma combinação de fatores contribui para a maior eficiência operacional das usinas. Esses fatores são o solo fértil, o clima favorável, a infraestrutura relativamente boa (SMEETs *et al.* 2008; CESAR *et al.* 1987; MAULE, MAZZA, MARTHA-JUNIOR, 2001; NETAFIM'S AGRICULTURE DEPARTMENT, 2012). Segundo Carlucci, *et al.* (2014), foram encontrados indícios de que os fatores edafoclimáticos são relevantes, na medida em que as usinas, classificadas como eficientes pela técnica DEA, estão localizadas em regiões cujos ambientes de produção são favoráveis. De acordo com SMEETS *et al.* (2008), TORQUATO *et al.* (2009), e MARTINELLI *et al.* (2011), existem evidências de que o estado de São Paulo está localizado em uma região cujos fatores edafoclimáticos são os mais favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar.

Pode-se verificar que das cinco variáveis incluídas no modelo para análise da eficiência dos estados brasileiros, apenas duas apresentaram-se significativas, DIST e CRCT. Logo, não se pôde identificar a influência da TEMP, PLUV e QUAL em seu nível de eficiência, uma vez que essas variáveis não se apresentaram estatisticamente significativas.

Tal resultado pode ser explicado pela limitação encontrada para a utilização dos dados referentes as variáveis TEMP e PLUV, visto que não foi possível utilizar os dados das áreas de plantio de cana. Sendo utilizado, portanto, a temperatura média e volume pluviométrico médio por Estado.

Para QUAL, aceita-se a hipótese nula na qual afirma que a qualidade das estradas próximas às usinas não tem relação com o desempenho da indústria sucroenergética. Resultado similar também foi encontrado por Landivar (2012) em sua pesquisa dos determinantes da eficiência técnica dos terminais intermodais do Brasil. De acordo com o modelo, não importa se as vias são classificadas ótimo e bom, ou regular, ruim e péssimo; tal perspectiva não afeta o nível de desempenho da indústria sucroenergética. Da mesma forma, as variáveis TEMP e PLUV também aceitam a hipótese nula de que a temperatura média e o índice pluviométrico, não afetam o nível de desempenho dos estados.

Já para as variáveis DIST e CRCT, rejeitam-se as hipóteses nulas, afirmando que há relação significativa entre as mesmas e o desempenho da indústria sucroenergética. Deve-se notar, no entanto, que a variável DIST apresentou efeito marginal com sentido positivo. Quanto a isso, é importante ressaltar que a variável DIST, refere-se à porcentagem das usinas

dos seus respectivos estados, que estão localizadas até 20km da área de colheita. Pode-se afirmar através do efeito marginal obtido pelo modelo, que quanto maior for a porcentagem de usinas em um raio de até 20km de distância da área de colheita, maior será o aumento na eficiência. O aumento de 1% na frequência relativa das usinas localizadas até 20km de distância acarreta no aumento equivalente a 0.0042292 na eficiência dos estados.

através do modelo obtido pode-se notar que o efeito marginal da variável *dummy* CRCT, possui efeito negativo. Isso significa que as boas características do solo diminuem a eficiência das usinas nos estados em 0.0984392. Durante o período de análise, somente os estados de Sergipe e Rio Grande do Sul não foram considerados com boas características do solo.

Os resultados encontrados nesta pesquisa, para as variáveis DIST e CRCT, corroboram com os autores (Barbieri e Villa Nova, 1977; Barbieri, 1993; Keating *et al.*, 1999; Ometto, 1978; 1980; Brunini, 2010; Mutton, 2005) quando asseguram que as usinas com menor custo no transporte da cana, isso inclui perdas e danos da matéria prima, tendem a elevar o nível de eficiência da indústria.

Ao analisar os dois estágios propostos, foi possível determinar a eficiência técnica das usinas por estados brasileiros através das variáveis endógenas e mensurar os efeitos marginais das variáveis exógenas sobre a eficiência técnica. De acordo com os resultados alcançados por esta pesquisa, pode-se afirmar que além das variáveis endógenas adotadas no primeiro estágio, as variáveis exógenas podem interferir na eficiência técnica da indústria sucroenergéticas, portanto, é preciso conhecê-las, mesmo que não se possa controlá-las, e buscar se adaptar a elas visando elevar a eficiência técnica das usinas.

Justificando a não significância de algumas variáveis do segundo estágio, pode ter ocorrido um problema de o modelo não conseguir captar de forma precisa os efeitos das variações estocásticas dessas variáveis, devido principalmente ao tratamento que elas tiveram neste estudo. Para aumentar a significância e precisão do modelo, sugere-se o aumento dos anos observados e/ou das variáveis, bem como a utilização do modelo de fronteira estocástica.

5. Considerações Finais

É possível afirmar que o setor sucroenergético brasileiro possui um padrão de eficiência operacional alto, pois a média de eficiência da indústria brasileira foi maior que

89% na obtenção de ATR; isso significa dizer que as usinas localizadas nestas regiões conseguiram obter em média, resultados melhores do que as localizadas nos demais Estados.

Os Estados brasileiros considerados ineficientes durante todo o período analisado foram: Espírito Santo, Rio de Janeiro e Paraná, visto que se verifica as maiores distâncias em relação à fronteira de eficiência; os dados referentes à safra 2012/2013, mostram que o Espírito Santo obteve 23,5596% de eficiência, o Rio de Janeiro obteve 11,5448% e o Paraná 31,4712%.

As usinas que já estão instaladas no mercado por mais tempo, possuem maiores motivações para investir em tecnologias que proporcionem condições para um processo produtivo mais eficiente para as usinas. A literatura mostra que existem tecnologias que exercem grande influência na eficiência operacional das usinas em relação ao tratamento do caldo extraído da cana. Essas tecnologias além de proporcionar uma maior eficiência operacional na planta energética e tendem a ser mais frequentemente utilizadas em usinas que operam em maior escala, devido principalmente aos altos custos de investimentos necessários.

No segundo estágio do modelo DEA, verificou-se que das cinco variáveis incluídas no modelo para análise da eficiência dos estados brasileiros, apenas duas apresentaram-se significativas: DIST e CRCT. Logo, não se pode identificar a influência da TEMP, PLUV e QUAL em seu nível de eficiência, uma vez que essas variáveis não se apresentaram estatisticamente significativas.

Já para as variáveis DIST e CRCT, afirma-se que há relação significativa entre as mesmas e o desempenho das usinas sucroenergéticas. Constatou-se que o aumento de 1% das usinas localizadas até 20km de distância impacta em um aumento de 0.0042292 na eficiência dos estados. Já em relação a variável CRCT, evidenciou-se um efeito contrário ao esperado. Isso significa dizer que as boas características do solo diminuem a eficiência das usinas nos estados em 0.0984392. A localização das usinas é favorável também do ponto de vista da proximidade com o mercado consumidor e da facilidade de distribuição.

Os resultados sugerem, portanto, que, para otimizar a eficiência operacional em usinas de cana-de-açúcar, é necessário que sejam levadas em consideração fatores locais que possam influenciar favoravelmente usinas que sejam instaladas em locais com fatores exógenos favoráveis, principalmente em relação à localização, para a extração de uma cana-de-açúcar com maior teor de sacarose evitando perdas, e investimentos em equipamentos e tecnologias, para tratamento do caldo e tornando assim, a extração do produto mais eficiente, porém mais custosa, deixando portanto de obter ganhos produtivos importantes.

Ressalta-se também que a realização de estudos quantitativos como este, demandam análises qualitativas mais regionalizadas e em profundidade sobre as práticas de gestão de eficiência das usinas, de forma a consolidar a fronteira do conhecimento sobre este tema de estudo e possibilitar a criação de modelos e procedimentos que contribuam para que as empresas deste setor, que é de suma relevância para a economia do país, tornem-se mais eficientes.

Dessa forma, estes resultados podem dar suporte a formulações de políticas públicas voltadas à melhoria nas estratégias adotadas para as instalações das usinas em localidades com que possuam fatores exógenos favoráveis, bem como melhorias de infraestrutura. Isso faria com que as usinas elevassem sua eficiência sem que precisem aumentar os seus inputs, focando principalmente na distância média das usinas em relação aos plantios de cana-de-açúcar.

Sobre as limitações enfrentadas nessa pesquisa, está a disponibilidade de dados sobre as condições das rodovias de acesso às usinas. A pesquisa realizada pela CNT, trabalha com uma amostragem das extensões das estradas do país. Porém, devido a impossibilidade de classificação de todos os acessos às usinas dificultou a utilização desta variável.

No que se refere a sugestões de trabalhos futuros, seria interessante o aprimoramento na coleta e tratamento dos dados climáticos, buscando aproximar-los o máximo possível da realidade das usinas, o que se mostrou ser uma limitação deste trabalho. Para aumentar a significância e precisão do modelo, sugere-se o aumento dos anos observados e/ou das variáveis, bem como a utilização do modelo de fronteira estocástica.

6. Referências

ADECOAGRO SA. *Research Report*. 2011. Disponível em:<s3.amazonaws.com/zanran_storage/bidhitter.com/ContentPages/2496681015.pdf?pag=65>. Acesso em: 5 setembro. 2016.

_____. *Perspectivas do investimento 2015- 2018 e panoramas setoriais*. Rio de Janeiro: APE/DEPEQ/Comitê de Análise Setorial, 2014. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>>. Acesso em 18 ago 2016.

AMORIM, H. V. *Fermentação Alcoólica: Ciência & Tecnologia*. Piracicaba; Fermentec, 2005, 448 p: il.

AMORIM, H. V. *O que é qualidade de matéria-prima?* In: REUNIÃO AGRÍCOLA DA FERMENTEC, 8., 2003, São Pedro. *Resumos*. Piracicaba: Fermentec, 2003. p. 5-6.

AMORIM, H. V; OLIVEIRA, A. J; SILVA, L. F. L. F; BERNADINO, C. D; GODOY, A; ALVES, D. M. G. Impact of sugarcane quality on sugar and alcohol yields. *International Sugar Journal*, v.102, n.1214, p.86-88, 2000.

ASSUNÇÃO, J.; PIETRACCI, B.; SOUZA, P. *Fueling development: sugarcane expansion impacts in Brazil*. Climate Policy Initiative, Iniciativa para o Uso da Terra (INPUT), 2016. Disponível em: <climatepolicyinitiative.org/wpcontent/uploads/2016/07/Paper_Fueling_Development_Sugarcane_Expansion_Impacts_in_Brazil_Working_Paper_CPI.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

BALTAGI, B. H. *Econometric analysis of panel data*. London: John Wiley & Sons, 1995. 257p.

BANKER, R. D. *Maximum likelihood, consistency and DEA: a statistical foundation*. Management Science, v. 39, n. 10, p. 1265-1273, 1993.

BANKER, R.D.; CHARNES A.; COOPER, W.W. *Some models for estimation technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis*. Management Science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BARBIERI, V. *Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de açúcar (Saccharum spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa*. 1993. 142 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. *Climatologia e a cana-de-açúcar*. Araras: PLANALSUCAR – Coordenadoria Regional Sul – COSUL. Climatologia, 1977. 22 p.

BARROS, C. P.; GARCIA, M. T. M. *Performance Evaluation of Pension Funds Management Companies with Data Envelopment Analysis*. Risk Management and Insurance Review, Mount Vernon, v. 9, n. 2, 2006.

BEAUCLAIR, E.G.F. *Produtividade da cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo*. Piracicaba, 1994. 98p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BEAUCLAIR, E.G.F. *Relações entre algumas propriedades químicas do solo e a produtividade da cana-de-açúcar (Saccharum spp.), através de regressão linear múltipla*. Piracicaba, 1991. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BEAUCLAIR, E.G.F. de; PENTEADO, C.R. Cronograma de corte da cana-de-açúcar através da programação linear. In: SEMINÁRIO DA TECNOLOGIA AGRONÔMICA 2., Piracicaba, 1984. *Cronograma de corte da cana-de-açúcar através da programação linear*. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar p. 424-434. 1984.

BELLONI, J. A. *Uma Metodologia de Avaliação Produtiva de Universidades Federais Brasileiras*. Tese de Doutorado. Santa Catarina: UFSC, 2000.

BENITES, A. T. *Medida de Produtividade para o Varejo Alimentar Brasileiro*. Campo Grande: UFMS, 2005, 125f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2005.

BERGERON, F.; RAYMOND, L.; RIVARD, S. Fit in strategic information technology management research: an empirical comparison of perspectives. *The International Journal of Management Science*, v. 29, p. 125-142, 2001.

BESANKO, D.; DRANOVA, D.; SHANLEY, M.; SCHAEFER, S. *Economics of Strategy*. 6. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2013.

BRUNINI, O. *Zoneamento agrícola da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil e estimativa da produtividade*. CRUSCIOL, CAC; SILVA, M. de A.; ROSSETTO, R, p. 27-33, 2010.

CAMERON, A. C., TRIVEDI, P. K. *Microeometrics: methods and applications*. New York: Cambridge University Press, 2005.

CAMERON, A. C., TRIVEDI, P. *Microeometrics using stata*, Revised Edition. Stata Press, 2010.

CARRE, D. *Les Performances: concepts, forms et niveaux d'appréhension*. In: ARENA, R. et alli. "Traité d'économie industrielle." Chapitre Six. *Economica*, 2 ème éd., Paris, 1991.

CARVALHO, L. C. C. Mais oportunidades que ameaças. São Paulo. *Agroanalysis*, p. 36-38, 1997.

CASTILLO, R. *Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil: competitividade regional e expansão para o bioma cerrado*. *GEOgraphia* – Ano. 17 – N° 35 - Dossiê – 2015.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. London: Kluwer Academic, 1998. 275 p.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento de safra brasileira de cana-de-açúcar*. v. 2. n. 2. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_13_15_58_44_boletim_cana_portugues_-2o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE.
<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>

COOK, W. D.; ZHU, J. *Data Envelopment Analysis: modeling operational processes and measuring productivity*. Binding: Paperback, 262p, 2008.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. New York: Springer, 2007.

CORRÊA, H. L.; CAON, M. *Gestão de Serviços: lucratividade por meio de operações e de satisfação dos clientes*. 1^a Ed. 6^a. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2008.

DASKIN, M.S. Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research. *Transportation Research - A*, v. 19A, n. 5/6, p. 383- 393, 1985.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. (Traduzido por GHEYI, H. R.; SOUZA, A.A.; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. Campina Grande: FAO, 1994. 306 p. (Irrigação e Drenagem 33).

EGGLESTON, G; LEGENDRE, B; RICHARD, C. Effect of harvest method and storage time on sugarcane deterioration I: cane quality changes. *International Sugar Journal*, v. 103, n.1232, p. 331-338, 2001.

EPE-EMPRESA, D. P. E. (2017). Balanço energético nacional 2017: ano base 2016. *Empresa de Pesquisa Energética*. Rio de Janeiro: EPE.

FARRELL, M. J. *The Measurement of productivity efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society, Oxford, v. 120, n. 3, p. 253 – 281, 1957.

FRIED, H. O. et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, v. 17, n. 1/2, p. 157-174, 2002.

GEMENTE, A. C., Pinazza, A. H., Brugnaro, C., GUMARÃES, E., OLIVEIRA NETO, G. R., Kruglianskas, I., & SEBRAGIA, R. (1986). Planejamento agrícola. *BRUGNARO, C.; SBRAGIA, R. Gerência agrícola em destilarias de álcool*, 2, 29-83. Pereira et al. (2002)

GOLDMAN, A. Evaluating the Performance of the Japanese Distribution System. *Journal of Retailing*, v. 68, n. 1, spring 1992.

GRANEMANN, S. R.; RODRIGUEZ, C. M. T. *Monitoramento do Desempenho Logístico em Cadeia de Suprimentos de Hortaliças*: um estudo de caso. In: FIGUEREDO, A.; PRESCOTT, E.; MELO, M. F de. *Integração entre produção familiar e o mercado varejista: uma proposta*. Brasília: Universa.

GREGORIU, G. N. Optimizations of the Largest US Mutual Funds Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Asset Management*. Londres, v.6, n.6, 2006.

GUJARATI, Damodar N. *Econometria básica*. Tradução Maria José Cyhlar Monterio. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GUPTA, N.; TRIPATHI, S.; BALOMAJUMDER, C. Characterization of pressmud: a sugar industry waste. *Fuel*, Amsterdam, v. 90, n.1, p. 389-394, 2011.

HAIR, J F et al. Fundamentos de métodos de pesquisa em administração. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IRVINE, J. E. Sugarcane. In: CHEN, J.C.P.; CHOU, C.C. (Ed) *Cane Sugar HandBook*. A Manual for Cane Sugar Manufactures and their Chemists. New York, John Wiley & Sons, Inc., 12th ed., 1993, 1090 p.

JAMES, G. The chemical ripening of sugarcane. *International Sugar Journal*, v.101, n.1211, p.560-562, 1999.

KASSAI, S. *Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis*. Tese de Doutorado, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2002.

LARRAHONDO, J. E et al. O. Evaluation of cane trash. *International Sugar Journal*, v.100, n.1200, p.587-591, 1998.

LARRAHONDO, J. E. *Calidad de La Caña de Azúcar*. Cenicaña, 1997. Disponível em: www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p337-354.pdf

LAVANHOLI. M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: *Cana-de-açúcar*. Campinas: IAC, 2008. p. 697-722.

LAWRENCE, P.; LORSCH, J. *Differentiation and Integration in Complex Organizations*.
Administrative Science Quarterly, v. 12, p. 1-48, 1967.

LEITE, G. H. P. et al. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. *Ciência Rural*, v. 39, n.3, maio-jun, 2009. p.726-732.

LEPSCH, I. F. Influência dos fatores edáficos na produção. *Ecofisiologia da produção*. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 83-98. 1987.

LUDVIGSEN, J. Freight transport supply and demand conditions in the Nordic Countries: recent evidence. *Transportation Journal*, p.31–54. 1999.

MARQUES, L. D. *Modelos dinâmicos com dados em painel: revisão de literatura*. Porto, Portugal: Faculdade de Economia do Porto, 2000. 82 p. (CEMPRE Working Paper).

MARTINELLI, L. A.; GARRETT, R.; FERRAZ, S.; NAYLOR, R. Sugar and etanol production as a rural development strategy in Brazil: evidence from the state of São Paulo. *Agricultural Systems*, v. 104, n.5, p. 419-428, 2011.

MELLO, E. P. G. *Produtividade Total dos Fatores, Mudança Técnica, Eficiência Técnica e Eficiência de Escala na Indústria Brasileira*. Minas Gerais: UFMG, 2003, 104f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D. Panorama setorial 2015-2018 Sucroenergético. In: Banco Nacional do Desenvolvimento [BNDES]. *Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais*. APE/DEPEQ/Comitê de Análise Setorial. Brasília: BNDES, 2014. Disponível em <<http://www.bnDES.gov.br/bibliotecadigital>>. Acesso em 17 ago 2016.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; REIS, B. L. S. F. S. *O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões políticas*. BNDES Setorial nº 35, p. 277-302, BNDES, 2012.

MILLER, Roger Leroy. *Microeconomia: teoria, questões e aplicações*. Tradução Sara Gedanke. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981. 507 p.

MONTELLA, M. *Micro e Macroeconomia: Uma abordagem conceitual e prática*. Atlas. 2009.

MULLER, A. L; PLAYER, M. R; WEISE, M. B. An Examination of the input, disposition and effect of dirt in Queensland Sugar Mills. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*, Australia, 1982, p.1-9.

MUTTON, M. J. R; MUTTON, M. A. Maturadores químicos em cana-de-açúcar: III – Efeitos na fermentação etanólica e microbiota do mosto. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. *Anais*. Recife: STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, 2002. p.452-457.

NEVES, M. F., Zylbersztajn, D., & Neves, E. M. *Agronegócio do Brasil*. Saraiva. 2005.

NOGUEIRA, M. A., do Vale, S. M. L. R., do Nascimento Santos, H., & Gomes, A. P. CONDICIONANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA.

NYKO, D., Garcia, J. L. F., Milanez, A. Y., & Dunham, F. B. *A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada*, 2010.

OECD/FAO. *Agricultural Outlook 2017-2026*. Paris: OECD Publishing, 2017.

OLIVEIRA, E. C. Investimentos no setor sucroenergético: análise do perfil das operações automáticas de financiamento contratadas com o sistema BNDES no período de 2000 a 2015. *Revista de Administração da UFSM*, 10, 44-62. 2017.

OLIVEIRA, I. R. D. Utilização da análise envoltória de dados (DEA), no diagnóstico da eficiência de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, 2008.

OMETTO, J. C. *Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar*. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

PAULILLO, L. F.; VIAN, C. E.; SHIKIDA, P. F.; MELLO, F. T. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? *Revista de economia e sociologia rural*. Brasília, v. 45, n. 3, p. 532 – 565, out. 2007.

PELOIA, P. R. *Proposta de Medição de Desempenho Aplicado à Mecanização Agrícola: um estudo de caso no setor sucroalcooleiro*. São Paulo: USP, 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2008.

PEREIRA, C. N. *Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-Açúcar na Região Centro-Sul do Brasil com o Método Análise Envoltória de Dados (DEA) - Índice de Malmquist*. São Paulo: UNICAMP, 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2012.

PEREIRA, M. C. *A Expansão da Cadeia Sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul, Dinâmica e Determinantes*. Mato Grosso do Sul: UFMS, 2007. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

PINILLA, A. A. *La Medición de La Eficiencia y La Productividad*. Madrid: Ediciones Pirámide, 2001.

PRECETTI, A. A. C. M et al. Perdas tecnológicas em cana-de-açúcar, devido à ação da saúva mata-pasto *Atta bisphaerica*. *Boletim Técnico COOPERSUCAR*. São Paulo, v.40, p 3-8, 1989.

PRECETTI, A.A.C.M.; TERÁN, F.O.; SANCHEZ, A.G. Alterações nas características tecnológicas de algumas variedades de cana-de-açúcar, devidas ao dano da broca *Diatraea saccharalis*. *Boletim Técnico COOPERSUCAR*. São Paulo, v.40, p.3-8, 1988.

REETZ, E. R.; et al. Anuário Brasileiro da Cana-de-açúcar. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2013. Disponível em: <www.grupogaz.com.br/tratadas/eo_edicao/24/2013/11/20131101_3a6f23666/pdf/4181_can_de_acar_2013.pdf>. Acesso em: 5 setembros 2016.

RIPOLI, M. *Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (saccharum spp) para fins energéticos*. 2004 213 p (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado)–Faculdade de Ciências Agrárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu). 2004.

ROBALO, António. *Eficácia e Eficiência organizacionais*. Revista Portuguesa de gestão. Lisboa p. 105-116. 1995.

SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F.; VIAN, C. E. F. *Desafios da Agroindústria Canavieira no Brasil Pós-Regulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas.* Revista de Economia e Sociologia Rural, v.49, n.3, jul./set. 2011.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in two-stage, semiparametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, v. 136, n. 1, p. 31-64, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R; *Administração da Produção: Atlas*, 2^a edição de 2002.

SLATER, Stanley F.; OLSON, Eric M.; REDDY, Venkateshwar K. Strategy-Based Performance Measurement. *Business Horizons*, [s.i.], v. 40, n. 4, p.37-44, July/Aug. 1997.

SOUZA, G. S. et al. Economic efficiency of Embrapa's research centers and the influence of contextual variables. *Pesquisa Operacional*, v. 27, p. 15-26, 2007.

SOUZA, G. S.; STAUB, R. B. *Two-stage inference using data envelopment analysis efficiency measurements in univariate production models.* International Transactions in Operational Research, v. 14, n. 3, p. 245-258, 2007.

STUPIELLO, J.P. Matéria-prima: qualidade total. In: SEMINÁRIO ROUNDUP EFEITO MATURADOR,1, 1993, Guarujá. *Anais.* Guarujá, 1993, p. 83.

STURION, A. C.; FERNANDES, A. C. Anais do 3º Seminário COPERSUCAR da Agroindústria Açucareira. 1975.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). *Cenários e desafios para a expansão do setor sucroenergético.* 2012. 19 slides. Disponível em: <www.unica.com.br/documentos/apresentacoes/cana-de-acucar/pag=1>. Acesso em: 1 jun. 2015.

UNICADATA. *Dados da união da indústria de cana de açúcar.* <http://www.unica.com.br/colunas/43128270920310903120/uma-belo-monte-em-capacidade-instalada-pelo-setor-sucroenergetico/>. Disponível em: agosto de 2017.

UNICADATA. *Dados da União da Industria de Cana-de-açúcar*. Portal UNICA. 2016.
Disponível em: Acesso em: outubro/2016.

VARIAN, H. *Microeconomia*. Elsevier Brasil. 2010.

VASCONCELLOS, M. A. S. de. *Economia: micro e macro: teoria e exercícios, glossário com os 300 principais conceitos econômicos*. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2006. 149

VASCONCELLOS, M. A. S.; ALVES, D. *Manual de econometria: nível intermediário*. São Paulo: Atlas, 2000.

VENKATRAMAN, N. *The Concept of fit in strategy research: Towards verbal and statistical correspondence*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology/Sloan School of Management, 1988.

VIANA, R. S. *Aplicação de maturadores químicos no final de safra, associada à eliminação de soqueira em área de reforma do canavial*. 2007. 46 f. Dissertação (Trabalho de Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.