

# APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE USINAS DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

## Data Envelopment Analysis (DEA) applied to the evaluation of the efficiency of sugar and ethanol plants in the northeastern region of São Paulo state

### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a relação entre o tamanho e a eficiência operacional de usinas de açúcar e álcool da região Nordeste do estado de São Paulo. Para isso foi conduzido um *survey*, que quantificou o consumo dos principais recursos (*inputs*) e a geração dos produtos (*outputs*), de uma amostra aleatória composta por vinte e seis usinas da região estudada, o que permitiu a sua classificação em função de tamanho. Além disso, foi possível realizar a criação de um *ranking* de eficiência operacional, por meio da utilização da técnica de análise envoltória de dados (DEA), cujas variáveis foram selecionadas pelo método *stepwise*. Os resultados sugerem a não existência de uma relação direta entre tamanho e eficiência operacional, o que pode ser explicado por aspectos técnicos associados aos recursos utilizados. Essa pesquisa fornece subsídios para que os gestores das usinas da região estudada possam melhor estruturar suas estratégias operacionais.

Alexandre Pereira Salgado Junior

Professor do Departamento de Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo  
asalgado@usp.br

Carlos Alberto Grespan Bonacim

Professor do Departamento de Contabilidade, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo  
carlosbonacim@usp.br

Antônio Carlos Pacagnella Junior

Professor do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos  
acpjr@usp.br

Recebido em 26.2.09. Aprovado em 8.9.09

Avaliado pelo sistema blind review

Avaliador científico: Ricardo Pereira Reis

### ABSTRACT

This aim of this article is to analyze the relation of size and operational efficiency of sugar and ethanol plants in the northeastern region of São Paulo state. In order to achieve this goal, a survey was conducted to identify the consumption of the main resources (inputs) and product creation (outputs) in a random sample of twenty six units, which allowed for their classification according to size. This enabled the creation of an efficiency ranking, using Data Envelopment Analysis (DEA), whose variables were chosen by the stepwise method. The results suggest that, for the plants studied, there is no direct relation between size and operational efficiency, which can be explained by technical aspects associated to the inputs. The results provide subsidies to the managers in the sugar and ethanol plants, who can then better structure their operational strategies.

**Palavras-Chave:** Usinas Sucroalcooleiras, Etanol, Eficiência Operacional e Análise Envoltória de Dados (DEA)

**Key words:** Sugar and Ethanol Plants, Ethanol, Agribusiness, Efficiency and Data Envelopment Analysis (DEA).

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio, historicamente, tem representado enorme contribuição para o desenvolvimento econômico brasileiro, sendo que desde a colonização, o país usufruiu de seu potencial agrícola, produzindo em profusão itens para seu consumo interno e para exportação.

No que tange ao mercado de açúcar e etanol dos últimos anos, tem havido forte expansão da produção de cana-de-açúcar por todo o território brasileiro, com a ocupação de novas regiões pelo setor sucroalcooleiro alinhando-se ao aumento da demanda.

Atualmente, embora a produção de cana-de-açúcar tenha aumentado de forma expressiva nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do Sul do País, o estado de São Paulo ainda responde sozinho por cerca de 60% da produção brasileira (TORQUATO et al., 2009).

Na história recente, a produção de cana tem se expandido por todo o território paulista, chegando a ocupar na safra 2008/09 aproximadamente 24% da área de uso agrícola do Estado. Sendo assim, a cadeia de produção de cana-de-açúcar firma-se como um dos principais setores do agronegócio paulista, incorporando áreas de outras lavouras e, principalmente, de pastagens (CAMARGO et al., 2008).

Outro aspecto importante sobre esse cenário é destacado por Bertrand et al. (2007), que afirma que os produtores brasileiros de açúcar e etanol têm realizado grandes progressos no que diz respeito ao aumento da sua produtividade. Segundo os autores, no cenário brasileiro, a partir de 1960 houve um aumento de produtividade de 62,9%, enquanto no estado de São Paulo o aumento de produtividade foi de 46,2%.

O crescente número de novas plantas energéticas e a elevação dos níveis de produtividade geram um cenário de intensa rivalidade entre as empresas do setor, exigindo, cada vez mais, que essas possuam diferenciais.

Especificamente ao mercado sucroalcooleiro, cujos produtos negociados são *commodities*, a vantagem competitiva tende a estar relacionada ao preço do produto, ao ganho de escala e não a sua diferenciação.

Nesse sentido, a liderança das empresas desse setor também está associada à eficiência operacional que, ao ser alcançada, permite a obtenção de produtos com menor consumo de recursos, o que pode levar, por sua vez, a uma maior margem de lucro (TORQUATO et al., 2009).

Corroborando a afirmação anterior, Torquato et al. (2009), destacam que as unidades produtivas do setor sucroalcooleiro devem buscar a eficiência no uso dos insumos empregados na produção, adequando-se a um novo modelo de produção, que leva em consideração o crescente aumento da concorrência e a otimização da produtividade.

De acordo com Senra et al. (2007), nas últimas décadas, a expansão da área produtiva no estado de São Paulo deu-se, sobretudo, a oeste, em cidades como Presidente Prudente, Dracena, Andradina, Araçatuba e São José do Rio Preto que passaram a concorrer com as tradicionais regiões canavieiras, como a região Nordeste do Estado.

Entretanto, deve-se destacar que, segundo Picoli et al. (2005), a região Nordeste ainda é responsável por cerca de 50% da produção do Estado e concentra, segundo a União da Indústria da Cana de Açúcar - UNICA (2009), as maiores plantas produtivas do setor.

Assim, devido à relevância econômica da região Nordeste do estado de São Paulo, em relação ao setor sucroalcooleiro e da necessidade de aumento da produtividade do mesmo, surge a necessidade da discussão sobre a relação entre tamanho e eficiência operacional das usinas de açúcar e etanol dessa região.

Dessa forma, por concentrar algumas das maiores centrais energéticas do estado de São Paulo, se houver uma relação direta entre tamanho e eficiência produtiva, essa região deveria apresentar grande vantagem dentro do novo paradigma competitivo descrito.

No entanto, vale destacar que a literatura apresenta certa diversidade de estudos que relacionem tamanho com eficiência. No Brasil, Ceretta & Niederauer (2001) conduziram um estudo que avaliou 144 conglomerados financeiros no setor bancário brasileiro, por meio da matriz rentabilidade *versus* eficiência produtiva. Essa matriz foi estruturada com base na análise por envoltória de dados, utilizando dados

sobre o volume de receita (*proxy* para tamanho), capital próprio e capital de terceiros. O estudo conclui que os bancos de grande porte são os de melhor desempenho, enquanto que a categoria de pequeno porte apresentou a maioria de seus conglomerados operando no quadrante indesejável de baixa eficiência operacional.

Por outro lado, Camargo et al. (2004) avaliaram 19 dos bancos comerciais de grande porte do Brasil, no ano de 2003. Os resultados conduzem à conclusão de que os bancos com menores ativos totais são mais eficientes e que a única fonte de ineficiência para eles está relacionada à ordem de escala de produção. Já Perico et al. (2008) aplicou a DEA nos 12 maiores bancos comerciais brasileiros e encontraram que a grandeza de um banco (critério utilizado pelo Banco Central para a classificação dos bancos) não foi determinante para atribuir sua eficiência operacional.

Observando todos esses elementos, o presente trabalho busca investigar esse contexto respondendo a seguinte pergunta de pesquisa: **qual é a relação entre a eficiência e o tamanho das usinas de açúcar e álcool da região Nordeste do estado de São Paulo?**

O presente artigo está assim estruturado: após a introdução é apresentado referencial teórico que abrange aspectos relativos ao agronegócio, ao setor de açúcar e etanol e a análise envoltória de dados (técnica utilizada para responder à pergunta de pesquisa); os aspectos metodológicos do trabalho; a apresentação dos resultados encontrados e, encerrando encontram-se as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será realizada uma compilação da literatura relevante sobre o tema em discussão, abordando pesquisas relacionadas ao agronegócio e à figura da avaliação de eficiência operacional pela Análise Envoltória de Dados (DEA).

### 2.1 O agronegócio e a agroindústria canavieira

O agronegócio brasileiro tem-se apresentando representativo como segmento relevante na geração de

divisas e emprego, caracterizando-se por crescimento superior ao da indústria e se tornando cada vez mais importante para o País (BRESSAN et al., 2008).

Para Gasques et al. (2008), o agronegócio pode ser visto modernamente como a cadeia produtiva que envolve desde a fabricação de insumos, passando pela produção nos estabelecimentos agropecuários e pela sua transformação, até o seu consumo, sendo que o valor agregado do complexo agroindustrial passa, necessariamente, por cinco níveis: o de suprimentos; o da produção; o do processamento; o de distribuição; e o do consumidor final.

Dentro do contexto da cadeia do agronegócio é possível destacar a produção e o processamento de cana-de-açúcar, pois segundo Vieira (1999), trata-se de uma das primeiras atividades de importância econômica no Brasil e a mais antiga desenvolvida no País, sendo, basicamente, destinada à indústria do açúcar e do álcool.

Segundo Siqueira & Reis (2006), o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar de cana, tendo os menores custos de produção e apresentando os melhores índices de produtividade entre os principais produtores e movimentando, anualmente, algo em torno de 13 bilhões de dólares, entre faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 2,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

Já que tange à produção de álcool, Torquato & Perez (2006) argumentam que a produção média se aproximará dos vinte bilhões de litros anuais até 2010, sendo que desse total, até três bilhões serão exportados, havendo ainda perspectiva futura de crescimento.

De acordo com Goldemberg (2008, p. 2086) “em 1975 foi desenvolvido o Proálcool, com o objetivo de atender à demanda interna e reduzir a importação de petróleo”. Hoje o país é o maior exportador de álcool.

Entre as características da produção de cana-de-açúcar, de acordo com Pinto et al. (1999), pode-se destacar o fato de ser baseada em colheitas de grandes áreas plantadas e utilização intensa de tecnologia no que se refere a maquinários e agroquímicos, sendo, porém, intensiva em trabalho manual durante a estação da safra.

Vian & Belik (2003), argumentam que o

complexo agroindustrial canavieiro nacional possui grande competitividade em virtude da disponibilidade de terras férteis, condições de clima favoráveis, extensão geográfica que permite a produção de açúcar durante o ano todo (no Nordeste de novembro a abril e no Sudeste de abril a novembro), além da grande disponibilidade de mão de obra barata para executar as tarefas agrícolas e industriais.

Por outro lado, tais “facilidades” podem colaborar para que algumas usinas se acomodem e se tornem improdutivas quando comparadas com outras da mesma região. No entanto, mesmo com indicadores de

safra, poucos estudos comparativos são feitos entre as usinas. Sendo assim, num setor com grande potencial para o desenvolvimento de técnicas para o aumento de sua produtividade é importante que se tenha um cenário mais real da eficiência de cada segmento (LEITE et al., 2008). Para Kao (2009), a produtividade de cada setor pode ser mensurada de várias formas o que possibilita a distorção dos resultados.

A produtividade do setor sucroalcooleiro no Brasil destaca-se perante os outros países, principalmente pelo desenvolvimento de novas variedades de cana cada vez mais adaptadas ao clima, tipo de solo e

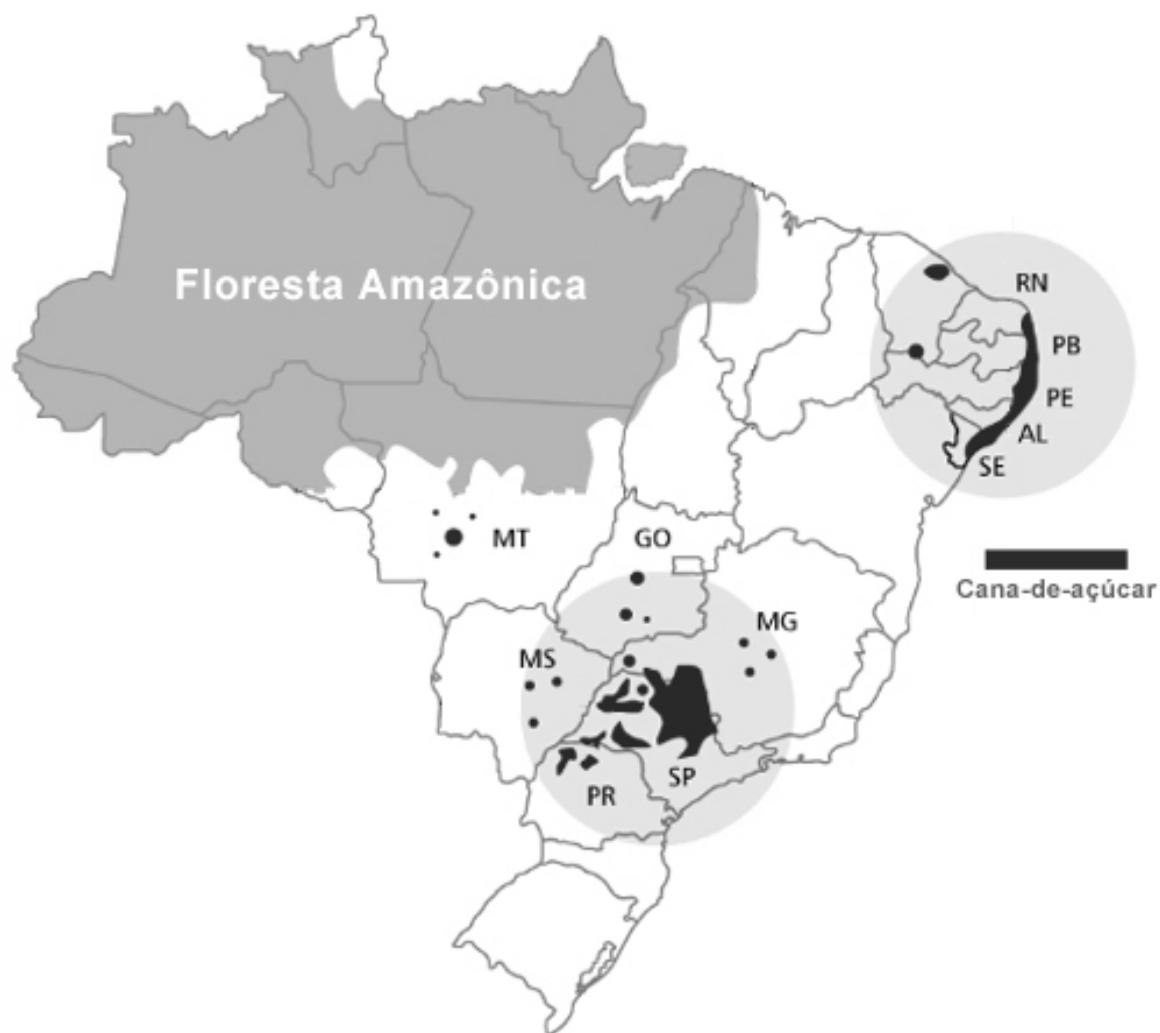


FIGURA 1 - Concentração da produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: UNICA (2008).

mais resistentes à pragas; uso de insumos modernos; melhoria do sistema de transporte e mecanização da lavoura; melhores processos de planejamento e controle; melhoria na extração do caldo e diminuição de perdas no processo; menor uso de produtos químicos no processo industrial de fabricação de açúcar e álcool; inovações no processo de produção de açúcar e álcool; gerenciamento da produção e cogeração de energia elétrica (GOLDEMBERG et al., 2008).

No entanto, ainda existe a necessidade de estudos mais profundos no que se refere à produtividade comparativa entre as usinas. Segundo Dimara et al. (2008), é muito importante se mensurar a eficiência do setor em função dos atuais indicadores estarem relacionados às safras de cada período e não à real produtividade. Com essa realidade em vista, pode-se afirmar que o mercado sucroalcooleiro estabeleceu como meta buscar soluções para otimizar a eficiência de suas plantas produtivas (GAZETA MERCANTIL, 2009).

De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), a produção de cana-de-açúcar está concentrada nas regiões Nordeste e Sudeste, principalmente no estado de São Paulo (Figura 1):

Entre as regiões produtoras de açúcar e álcool no Brasil, a região Nordeste, do estado de São Paulo destaca-se por concentrar, segundo Picoli et al. (2005), cerca de 30% da produção nacional, cultivando cerca de 1 milhão de hectares e por concentrar grande parte das unidades produtoras do Estado.

Considerando as informações apresentadas nesta seção e sintetizando os principais aspectos expostos é possível destacar quatro elementos de suma importância para fundamentar este trabalho:

- O agronegócio é um segmento de importância ímpar em termos de contribuição para a economia nacional e é estratégico para o país;
- O setor de açúcar e etanol é um dos mais representativos dentro do agronegócio nacional, representando cerca de 2,5% do PIB;
- O complexo agroindustrial canavieiro nacional possui grande competitividade e se destaca em relação a outros países em relação à produtividade;

- A região nordeste de São Paulo concentra porção significativa da produção nacional e das plantas industriais que processam a cana-de-açúcar.

Tomando por base os elementos supracitados é possível justificar a realização de análises que almejem compreender os diferenciais produtivos de empresas agroindustriais produtoras de açúcar e álcool situadas nesta região.

## 2.2 Análise de eficiência produtiva no agronegócio e na agroindústria canavieira

Essencialmente, pesquisas como a de Gasques & Conceição (2002), que avaliam os indicadores da competitividade do agronegócio brasileiro, têm demonstrado que o Brasil é competitivo nos mercados mundiais de produtos como açúcar, café, carne, fumo, suco de laranja e soja. Contudo, nos casos do café, cacau, carne, fumo e suco de laranja, o país vem perdendo posição.

Por sua vez, o crescimento nos mercados de açúcar e soja mantém nossa vocação agrícola. Dessa forma, o agronegócio continua a ser fundamental para o resultado comercial do País, uma vez que, durante toda a década de 1990 foi o único setor que se manteve superavitário (FARINA & NUNES, 2002).

Aliadas às questões econômicas estão os ganhos de escala e melhorias nos processos operacionais do setor. Isso explica os acréscimos de competitividade, conforme Antunes & Angel (1999), Furlanetto & Cândido (2006), Neves et al. (2000) e Zylbersztajn (2000). Com o aumento da demanda pelos produtos oferecidos pelo setor sucroalcooleiro, o Brasil foi identificado como uma grande potência no setor, causando um grande interesse de empresas em potencializar a sua produção e aumentar a sua rentabilidade (NEVES, 2008).

Sendo assim, determinar se uma empresa é eficiente (ou ineficiente) e poder identificar alguns dos motivos para esse desempenho, contribuem de forma significativa para a definição de estratégias apropriadas para esse setor (GOMES et al., 2006).

Estudos como os de Bravo-Ureta & Pinheiro (1993) e Gomes & Mangabeira (2004) aplicaram uma técnica denominada Análise Envoltória de Dados (DEA),

**QUADRO 1** – Embasamento teórico das variáveis relevantes (Modelagem DEA)

Variáveis	Definição operacional	Fonte
Área plantada (ha)	Número total em hectares da área produtiva de cana-de-açúcar da usina	Segalla (1961) Pino (2001)
Nº de funcionários	Número total de funcionários empregados no setor produtivo da agroindústria	Romanach & Caron (1999) Bragato et al. (2008)
Nº funcionários alocados no corte	Número total de Funcionários alocados no corte da parte agrícola	Romanach & Caron (1999) Bragato et al. (2008)
Consumo de fertilizante (t)	Consumo total de fertilizantes em toneladas	Abramo Filho et al. (1993) Duxbury (1994)
Cana Processada (t)	Número total em toneladas de cana-de-açúcar processado	Macedo (2007) Souto (2009)
Produção de álcool (l)	Produção Total de álcool em litros	Macedo (2007) Souto (2009)
Produção de açúcar (sacas)	Produção de açúcar em sacas de 50kg	Macedo (2007) Souto (2009)

que pode ser utilizada para comparar um grupo de unidades de negócio com a finalidade de identificar as eficientes e as ineficientes, em termos relativos, medindo a magnitude das ineficiências e descobrindo formas para reduzi-las pela comparação dessas com as eficientes (*benchmarking*).

Por meio da DEA, pode-se estabelecer uma *proxy* para eficiência produtiva das usinas avaliadas, a partir de variáveis de cunho operacional disponíveis. Nesse sentido, realizou-se uma revisão, na literatura especializada, das variáveis consideradas relevantes, conforme sintetiza o Quadro 1.

Após a discussão sobre agronegócio, apresenta-se uma abordagem de pesquisa operacional, baseada em programação linear, para o cálculo da eficiência produtiva das usinas: Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA), recomendada para avaliações de performance. A seção seguinte discute essa técnica.

### 2.3 Análise Envoltória de Dados (DEA)

De acordo com Cooper et al. (2004) a análise envoltória de dados, ou *Data Envelopment Analysis*

(DEA), é uma técnica relativamente nova, utilizada para avaliar a performance de um conjunto de entidades que são chamadas de *Decision Making Units* (DMUs) ou unidades tomadoras de decisão, que convertem múltiplas entradas (*inputs*) em múltiplas saídas (*outputs*).

Ainda segundo os autores, a definição de DMU é genérica e flexível, podendo ser organizações propriamente ditas ou também unidades internas de uma mesma organização ou até mesmo programas de atividades, desde que utilizem processos tecnológicos semelhantes para transformar os mesmos insumos e recursos em produtos e resultados semelhantes.

A DEA pode ser definida como uma técnica de pesquisa operacional que se baseia em programação linear e tem por objetivo comparar o desempenho operacional de unidades de produção quanto à transformação de seus insumos em produtos, buscando a construção de uma fronteira de eficiência relativa (COOPER et al., 2004)

Para Charnes et al. (1978), na técnica DEA, a taxa de eficiência relativa de uma DMU é igual à razão entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs*, onde os pesos de ambos são selecionados de forma a maximizar a medida de eficiência de cada DMU

estudada, atendendo à condição de que o conjunto de pesos obtidos para cada DMU deve ser também possível para todas as outras, de forma que nenhuma DMU possa apresentar escore de eficiência maior que 1 (ou 100%).

Trata-se, basicamente, de uma técnica de análise de eficiência, definindo-a não de forma absoluta, mas sim de forma relativa entre as unidades estudadas, ou seja, DEA calcula a eficiência relativa para cada DMU, comparando seus dados de insumos e produtos com todas as outras DMUs.

O resultado principal do método DEA é a determinação de uma “superfície envelope” ou fronteira eficiente. As DMUs situadas sobre essa superfície determinam o envelope e são consideradas eficientes, enquanto aquelas posicionadas fora dessa região são consideradas ineficientes.

De acordo com Vasconcellos et al. (2006), a técnica DEA provê essencialmente os seguintes resultados:

- Uma superfície envoltória que representa a fronteira de eficiência. As DMUs de melhor eficiência são aquelas que possuem os maiores *outputs* atingíveis em relação a todas as outras DMUs estudadas, para um dado nível de consumo de recursos, ou então as que utilizam a menor quantidade de recursos para atingir um dado nível de *outputs*;
- A eficiência em termos métricos que representa o desempenho de cada DMU medida pela sua distância da fronteira de eficiência;
- Alvos específicos ou projeções de eficiência para que cada DMU ineficiente atinja a fronteira;
- Um conjunto de referências eficientes para cada DMU definido pelas unidades eficientes próximas ao mesmo. Esse conjunto de referência é observado de forma a produzir um nível igual ou mais alto de *outputs* com um número igual ou menor de *inputs* em relação a DMU ineficiente que está sendo comparada.

Para a aplicação da análise envoltória de dados, os modelos matemáticos utilizados são classificados de acordo com o tipo de superfície envoltória, a sua orientação (insumos ou produtos) e o cálculo da

eficiência.

Existem, de acordo com Kassai (2002) e Vasconcellos et al. (2006) dois tipos básicos de modelos conhecidos como “retorno de escala constante” (CRS), também conhecido como CCR como referência ao trabalho pioneiro de Charnes et al. (1978) e o modelo de “retorno de escala variável” ou (VRS), que também é conhecido por BCC em referência ao trabalho de Banker et al. (1984).

Segundo Angulo-Meza et al. (2007), na formulação matemática do modelo CCR considera-se que cada DMU  $k$  ( $k = 1 \dots s$ ) é uma unidade de produção que utiliza  $n$  inputs  $x_{ik}$ ,  $i = 1 \dots n$ , para produzir os *outputs*  $y_{jk}$ ,  $j = 1 \dots m$ , onde se busca maximizar o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1.

Trata-se de um problema de programação fracionária que pode ser linearizado e transformado no Problema de Programação Linear (PPL) ilustrado em (1), onde  $h_o$  é a eficiência da DMU  $o$  que está sendo analisada,  $x_{io}$  e  $y_{io}$  são, respectivamente, os *inputs* e *outputs* desta DMU e  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos calculados para seus respectivos *inputs* e *outputs*.

$$\max h_o = \sum_{j=1}^m u_j y_{jo}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1 \quad (1)$$

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

$$k = 1, \dots, s$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j$$

Ainda segundo Angulo-Meza et al. (2007), o modelo BCC, também chamado de VRS (*variable returns to scale*), considera situações de eficiência de produção com variação de escala, sem assumir uma relação de proporcionalidade entre os *inputs* e *outputs*. De acordo com os autores, a formulação do modelo

BCC utiliza o PPL ilustrado em (2).

$$\begin{aligned} \max h_o &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} - u \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} - u &\leq 0 \\ k &= 1, \dots, s \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \\ u &\in \mathfrak{R} \end{aligned} \tag{2}$$

No modelo apresentado em (2),  $h_o$  é a eficiência da DMU o que está sendo analisada,  $x_{ik}$  representam os seus *inputs* e  $y_{ik}$  os *outputs*,  $v_i$  e  $u_r$  são os pesos calculados

para os *inputs*  $i$  e para *outputs*  $j$  (respectivamente) e  $u$  é um fator que, quando positivo, indica que a DMU encontra-se em uma região de retornos decrescentes de escala e, se negativo, em uma região de retornos crescentes. Se a  $h_o = 1$  a DMU analisada é considerada eficiente.

### 3 MÉTODO DA PESQUISA EMPÍRICA

O método de pesquisa adotado neste trabalho é o *survey*, que pode ser descrito, segundo Freitas et al. (2000) e Gifford (2003) como a obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, escolhidos como representantes de uma população-alvo, principalmente por meio de questionários ou guia de entrevistas.

Para Oppenheim (2001), o método *survey* é adequado quando se desejam responder questões sobre a

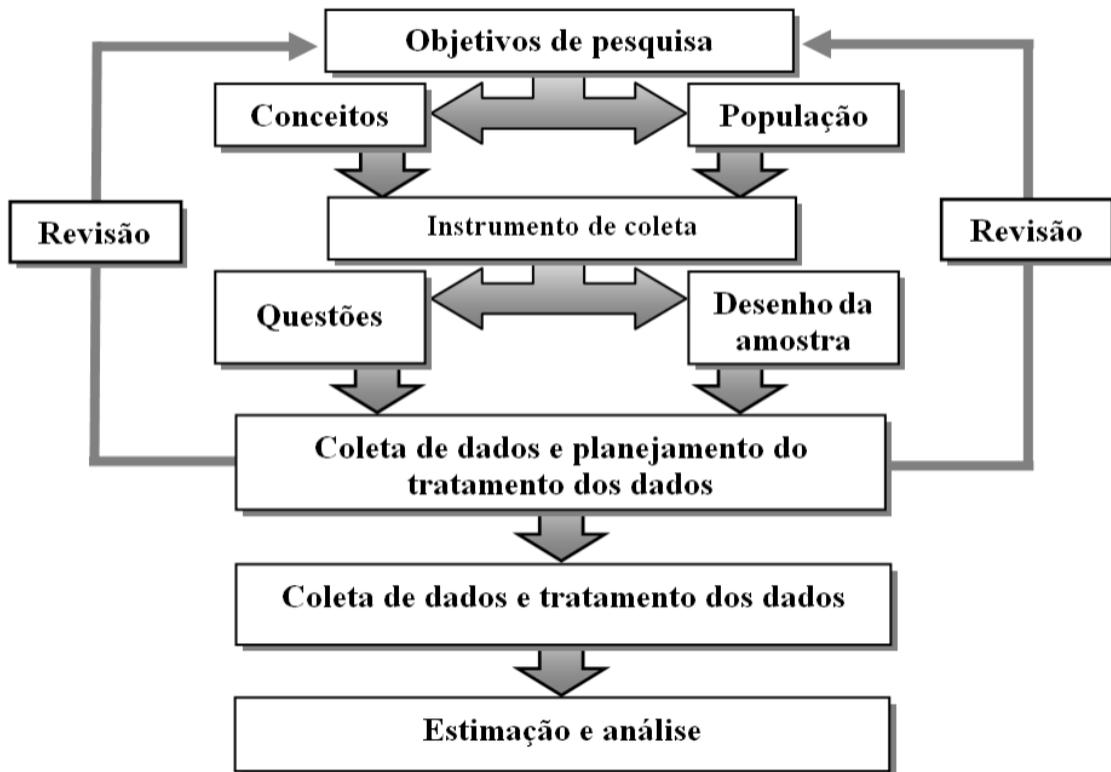


FIGURA 2 - O processo do método *Survey*

Fonte: Biemer & Lyberg (2003)

incidência, a distribuição e a relação entre determinadas características na forma como elas ocorrem na população, permitindo explorá-las e entendê-las.

O *survey* realizado neste trabalho baseia-se na estrutura proposta por Biemer & Lyberg (2003), que descrevem o processo de execução desse método como apresentado na figura 2:

É possível observar que o processo inicia-se com a definição dos objetivos de pesquisa que irão orientar os conceitos que serão avaliados e a definição da população-alvo, que neste trabalho são as usinas de açúcar e álcool da região Nordeste do estado de São Paulo, permitindo por sua vez a definição do instrumento de coleta adotado.

Nesse caso, a opção foi o uso de questionários estruturados com questões abertas que foram enviados por *e-mail* a partir do cadastro da Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia da FEA-RP/USP (FUNDACE).

A partir dessa etapa realizou-se o desenho do plano amostral, permitindo a coleta dos dados e o planejamento do seu tratamento, que neste artigo é realizada por meio da Análise Envoltória de Dados, técnica descrita previamente. Nas seções posteriores

encontram-se maiores detalhes sobre a coleta de dados, a descrição da amostra e a seleção das variáveis.

### 3.1 A amostra

Segundo Malhotra (2001), o processo de amostragem envolve a definição da população-alvo, da unidade de amostragem, e da técnica de amostragem. Por isso, para contemplar o objetivo deste trabalho, foi escolhida como população-alvo as usinas de açúcar e etanol da região nordeste do estado de São Paulo, que no total correspondem a 54 usinas (unidades amostrais), segundo a UNICA (2009).

A escolha da técnica recaiu sobre a amostragem estratificada, um tipo de amostragem probabilística onde a população-alvo é dividida em subpopulações ou estratos, que devem ser mutuamente excludentes. Assim, foram construídos três estratos por ordem de tamanho (grande, médio e pequeno), obedecendo a categorização utilizada pela UNICA (2009). Após a estratificação, foram escolhidas aleatoriamente 26 usinas de açúcar e etanol que são estatisticamente representativas da população-alvo, ou seja, das usinas presentes na região nordeste do estado de São Paulo.

**QUADRO 2** - *Ranking*, em ordem decrescente de capacidade de processamento de cana-de-açúcar, da região Nordeste do estado de São Paulo, para a safra 2007/2008.

Nome Fantasia	Ranking	Nome Fantasia	Ranking
US 1	1°	US 14	14°
US 2	2°	US 15	15°
US 3	3°	US 16	16°
US 4	4°	US 17	17°
US 5	5°	US 18	18°
US 6	6°	US 19	19°
US 7	7°	US 20	20°
US 8	8°	US 21	21°
US 9	9°	US 22	22°
US 10	10°	US 23	23°
US 11	11°	US 24	24°
US 12	12°	US 25	25°
US 13	13°	US 26	26°
Legenda			
	Grandes	Médias	
			Pequenas

Dessa forma, como apresenta-se no quadro 2, as usinas US 1 até US 11 foram classificadas de porte grande (capacidade de moagem superior a 2,5 milhões de toneladas por safra). As usinas US 12 até US 17 foram classificadas de porte médio (capacidade de moagem de 1,0 a 2,5 milhões de toneladas por safra). As usinas US 18 até US 26 foram classificadas de porte pequeno (capacidade de moagem inferior a 1,0 milhões de toneladas por safra).

O instrumento de coleta de dados para a amostragem foi o questionário estruturado. Inicialmente, foi realizado contato telefônico com os gestores das usinas selecionadas e em um segundo momento foi enviado o questionário por *e-mail*, que foi respondido e devolvido. Quando existiam dúvidas, as mesmas eram respondidas por *e-mail* ou contato telefônico. Os questionários foram enviados em agosto de 2008, sendo respondidos até maio de 2009. Todos os dados se referem à safra 2007/2008.

## 1.2 Escolha e orientação do modelo DEA

Segundo Angulo-Meza et al. (2007), no modelo BCC, cuja formulação é apresentada em (2), uma DMU é eficiente se, em sua escala de operação é a que melhor aproveita os *inputs* de que dispõe, enquanto que no modelo CCR, cuja formulação é apresentada em (1), a DMU é considerada eficiente quando apresenta o melhor quociente de *outputs* em relação aos *inputs*, ou seja, toma melhor proveito dos *inputs* sem considerar a escala de operação da DMU.

No caso deste estudo, a opção realizada é pelo modelo BCC, com orientação aos *inputs*. Essa escolha deve-se, essencialmente, a dois fatores: o primeiro é a impossibilidade de estabelecer uma relação de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* quando se considera a operação produtiva em usinas de açúcar e álcool, o que leva à escolha do modelo BCC e o segundo, relacionado à orientação aos *inputs*, consiste do crescente número de novas usinas de açúcar e álcool na região estudada, o que tende a levar, cada vez mais, à escassez dos recursos utilizados pelas mesmas, tendo em

vista que sua utilização eficiente pode aumentar o nível de competitividade dessas organizações.

Para tratamento dos dados optou-se pelo *software* Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD), recomendado por Angulo-Meza et al. (2007), que gerou a eficiência do modelo BCC, orientado a *input*, para as 26 DMUs selecionadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados da análise e modelagem DEA, no modelo BCC, orientada para *inputs*. Inicialmente, será apresentado o processo de seleção de e aplicação do modelo e a seguir, a análise dos resultados obtidos.

### 4.1 Seleção de variáveis e aplicação do modelo

A partir do banco de dados disponível, as variáveis foram pré-selecionadas, considerando como justificativa principal a disponibilidade de informações. Cabe ressaltar que o banco de dados do Observatório utilizou como variáveis aquelas que possuíam alguma relação com o parâmetro selecionado, a grandeza de uma usina.

Assim, as variáveis utilizadas na aplicação da DEA (cálculo da eficiência relativa das DMUs) são divididas, por natureza, em *inputs* (entradas/insumos do sistema) e *outputs* (saídas/produtos do sistema). A eficiência relativa da DMU é, por definição, a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*).

A idéia inicial era a de incluir, na modelagem DEA, o máximo de variáveis (tanto de *inputs*, quanto de *outputs*) que explicassem a eficiência operacional. Essa idéia foi descartada, pois percebeu-se que a técnica de avaliação relativa de eficiência tem uma limitação: a sua baixa capacidade de ordenar as DMUs, porque quanto maior o número de variáveis em relação ao número de DMUs, menor será a capacidade de ordenação pelas eficiências, já que há a tendência de muitas DMUs ficarem na fronteira (máxima eficiência), conforme verificado na literatura em Lins & Angulo-Meza (2000),

Mello et al. (2003) e Senra et al. (2007).

Realizou-se uma varredura na literatura especializada em DEA na busca pela técnica de seleção de variáveis ideal, com destaque para os estudos de Golany & Roll (1989), Lins & Moreira (1999), Mello et al. (2002, 2004) e Norman & Stoker (1991).

Cumprе ressaltar que a seleção de variáveis é um ponto determinante, pois segundo Thanassoulis (1996), alterações no conjunto de variáveis selecionadas para compor os *inputs* e *outputs* podem exercer um impacto direto nos resultados da modelagem DEA e, conseqüentemente na análise dos dados da avaliação.

Mello et al. (2003) e Meza et al. (2005, p. 25) concordam que os critérios e, fundamentalmente os métodos de seleção de variáveis “[...] devem ser vistos como instrumentos de auxílio à decisão, que orientarão a escolha final”.

Diante disso, especialistas, gestores e tomadores de decisão devem usar a experiência, bom-senso e desprendimento no momento da escolha/seleção das variáveis, e “[...] não deve ficar presa ao resultado de um modelo matemático, por mais sofisticado que seja” (MEZA et al., 2005, p. 25).

Ainda segundo os autores, caso não seja desejável

usar modelos avançados ou não seja possível aumentar o número de DMUs, uma opção é restringir as variáveis que serão incorporadas ao modelo.

Considerando o uso de modelos para o processo de seleção de variáveis, a literatura sinaliza alternativas. Por exemplo, para Charnes et al. (1978), devem-se identificar as variáveis que não adicionam eficiência significativa ao modelo e que, portanto, deverão ser excluídas.

Por sua vez, Golany & Roll (1989) estruturam o processo de seleção de variáveis em três estágios: (i) análise de causalidade; (ii) distinção das variáveis (entre *input* ou *output*), por análise de regressão; e (iii) exclusão de variáveis inicialmente consideradas, mas que não se mostram significativas no modelo - etapa equivalente ao modelo proposto por Charnes et al. (1978).

A solução para essa limitação foi restringir o número de variáveis usadas no modelo, também preconizado na literatura. Ainda assim, a maioria dos trabalhos publicados que fazem uso da DEA justifica a seleção de variáveis segundo a opinião de especialistas ou até mesmo da disponibilidade de dados (THANASSOULIS, 1996).

Para a seleção das variáveis optou-se pelo *Stepwise* exaustivo completo. A literatura afirma que

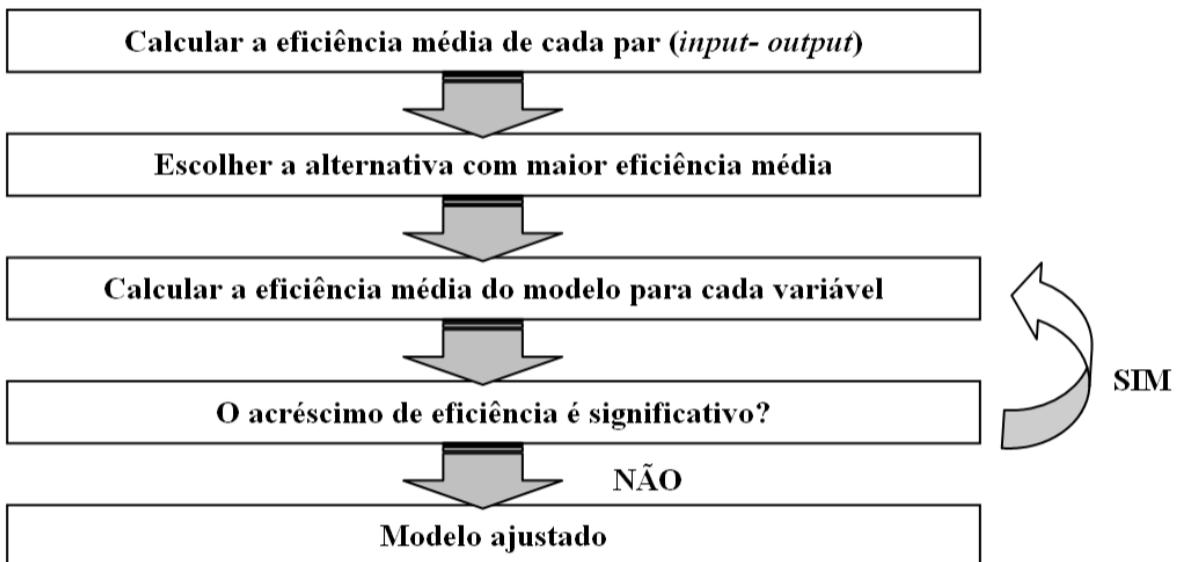


FIGURA 3 - Método *Stepwise* exaustivo completo

Fonte: Senra et al. (2007).

essa técnica tem a vantagem de manter relações causais, mas tem a desvantagem de não garantir poucas DMUs na fronteira, como o verificado no estudo de Lins & Meza (2000) que propõe a metodologia “*Stepwise*” centrada na relação causal entre *inputs* e *outputs*.

No entanto, a técnica *Stepwise* parece ser a mais apropriada neste caso, pois parte da premissa que a seleção de variáveis deve obedecer ao princípio de máxima relação causal entre *inputs* e *outputs*. Ou seja, trata-se de um método que se preocupa em aumentar a eficiência média com um número limitado de variáveis.

Porém, esse método é considerado ineficaz “para melhorar o poder de discriminação dos modelos DEA” (MEZA et al., 2005, p. 25). Assim, corre-se o risco de fornecer baixa discriminação. Contudo, aplicações desse método podem ser encontradas em Adler et al. (2002), Lins & Meza (2000), Lins & Moreira (1999), Périco et al. (2008) e Pimenta et al. (2004).

O método *Stepwise* exaustivo completo está descrito na Figura 3. A escolha das variáveis que foram incluídas no modelo DEA para as Usinas seguiram os seguintes passos:

- 1) calcular a eficiência média de cada par *input-output* possível. Nesse passo deve-se aplicar um modelo DEA para cada par *input-output*. Após, para cada resultado encontrado calcula-se a eficiência média de todas as DMUs;
- 2) escolher o par *input* e *output* inicial que gerou a maior eficiência média (base do modelo);
- 3) uma vez de posse do par inicial, aplicar o modelo com mais uma variável. Repetir esse procedimento para cada variável que ainda não foi incluída no modelo;
- 4) calcular a eficiência média para cada variável incluída;
- 5) escolher a variável que gerou a maior eficiência média para ser incluída no modelo; e
- 6) verificar se o aumento da eficiência foi significativo. O estudo considerou como acréscimos significativos aqueles superiores a 5%, conforme recomendação de Souza (2006). Em caso afirmativo, repetir o procedimento três. Caso contrário, retirar a última variável incluída e finalizar o processo.

É importante pontuar que a escolha das

variáveis, realizada pelo Observatório, não foi realizada de maneira aleatória. Portanto, neste estudo, serão consideradas na primeira escolha de variáveis, aquelas selecionadas pelo Observatório, que são apresentadas no quadro 3.

**QUADRO 3** - Variáveis relevantes (critério do Observatório)

Variáveis
Área plantada (ha)
Nº de funcionários
Nº Funcionários alocados no corte
Consumo de fertilizante (t)
Cana Processada (t)
Produção de álcool (l)
Produção de açúcar (sacas)

Fonte: Observatório do Setor Sucoalcooleiro da FEA-RP/USP

Procedeu-se ao levantamento dos dados dessas variáveis via *survey* com ex-alunos do curso de pós-graduação *Lato Sensu* da FUNDACE que ocupam cargos de diretoria nas usinas selecionadas por conveniência.

Uma vez que a pré-seleção das variáveis foi realizada, cabe agora selecionar as variáveis que, de fato, vão compor o modelo. Esse procedimento reconhece que existe uma informação prévia sobre se a variável candidata é um *input* ou *output*, conforme quadro 4.

**QUADRO 4** - Classificação das variáveis.  
(PÉRICO et al., 2008).

Variáveis	Classificação
Área plantada (ha)	Input
Nº de funcionários	Input
Nº Funcionários alocados no corte	Input
Consumo de fertilizante (t)	Input
Cana Processada (t)	Input
Produção de álcool (litros)	Output
Produção de açúcar (sacas)	Output

Fonte: Observatório do Setor Sucoalcooleiro da FEA-RP/USP

Essa categorização fora realizada com auxílio dos referidos gestores quando do levantamento das variáveis: assim fora questionado ao mesmo tempo: (i) quais variáveis são determinantes no processo operacional; (ii) a natureza

(*input* ou *output*) dessas variáveis; e (iii) a dimensão dessas variáveis (foram quantificadas, mensuradas).

A Tabela 1 apresenta as correlações mais significativas entre as variáveis de *input* e *output*. A escolha para compor o par inicial de *input* x *output* recaiu sobre o total de cana-de-açúcar processada (t) e a produção de açúcar e de álcool.

**TABELA 1** - Resultado das correlações entre as variáveis

Variáveis	Produção de açúcar e álcool
Área plantada (ha)	0.870
Nº de funcionários	0.396
Nº Funcionários alocados no corte	0.189
Consumo de fertilizante (t)	0.084
<b>Cana Processada(t)</b>	<b>0.905</b>

Fonte: Observatório do setor sucroalcooleiro da FEA-RP/USP

O modelo inicial foi construído com base nessas variáveis, considerando: (i) a exclusão do *input* (consumo de fertilizante (t)); e (ii) a “padronização” dos *outputs* (produção de álcool e de açúcar), por meio da “conversão” da produção total de açúcar em álcool, ou seja, o modelo passou a avaliar adequadamente o rendimento de produção de açúcar e álcool, considerado a equivalência de que com uma tonelada de cana é possível obter 86 litros de bioetanol hidratado, ao passo que, quando o objetivo é a produção de açúcar, além de 100 kg desse produto, ainda é possível produzir 23 litros de bioetanol hidratado por tonelada de cana, por meio do melaço BNDES (2008).

Aplicou-se modelo para seleção das variáveis. A Tabela 2 apresenta os resultados da análise para o modelo inicial e a primeira etapa de inclusão de variáveis.

O resultado da aplicação do modelo inicial acusou que, utilizando a amostra de 26 usinas analisadas, a eficiência média foi de 64,83%, sendo que 3 usinas foram consideradas eficientes e 20 usinas tiveram seus respectivos índices de eficiência acima de 50%.

Ou seja, embora a correlação (90,5%) entre as variáveis de cana processada (t) e produção de açúcar e

álcool (l) seja elevada, a primeira variável, isoladamente, não é capaz de explicar variações relevantes na segunda, a eficiência média (64,83%) obtida com o par inicial de *input-output* sugere uma investigação, com a introdução de outra variável (área plantada (ha) - segunda maior correlação), para fins de aprimoramento da modelagem.

**TABELA 2** - Resultados dos modelos DEA nas etapas iniciais.

Variáveis	Modelo Inicial	1ª etapa	Modelo Final
Eficiência média	0,6483	0,8697	0,8734
Desvio padrão da eficiência	0,2488	0,1848	0,1804
Variância	0,0619	0,0342	0,0326
Mínimo	0,1200	0,2049	0,2572
Mediana	0,7332	0,9549	0,9811
Máximo	1,0000	1,0000	1,0000
Número de usinas eficientes	3	11	11
Usinas com indicador > 50%	20	25	25

Fonte: adaptado de Périco et al. (2008).

Diante disso, o próximo passo foi comparar o acréscimo de eficiência média que cada variável agregou ao par inicial “cana processada (t)” - “produção de açúcar e álcool (l)”. Os resultados estão sintetizados na tabela 3.

Seguindo esse método, foi selecionada a variável “área plantada (ha)” por proporcionar o ganho-eficiência mais significativo ao modelo. Considerando ainda que o acréscimo na eficiência média foi significativo 0,2215, buscou-se a inserção de uma quarta e de uma quinta variável.

A inserção da quarta e quinta variável (uma por vez) representa um acréscimo pouco significativo de eficiência média de 0,0160 e 0,0027 respectivamente, fato que justificou sua exclusão do modelo e o final do processo de seleção das variáveis. Diante disso, pode-se considerar que o modelo pode ser bem representado apenas por 3 variáveis: “cana processada (t)”, “área plantada” e “produção de açúcar e álcool (l)”.

TABELA 3 - Resultados dos modelos DEA nas etapas iniciais.

Inputs	Área plantada (ha)	Nº de funcionários	Nº Funcionários alocados no corte
<b>Outputs</b>	-----	-----	-----
US 1	1,0000	1,0000	1,0000
US 2	1,0000	1,0000	0,8760
US 3	1,0000	0,7439	0,6334
US 4	1,0000	0,4069	0,5383
US 5	1,0000	0,7471	0,3785
US 6	1,0000	0,7854	0,6880
US 7	0,9938	0,7413	0,7391
US 8	0,9946	0,7617	0,7617
US 9	0,6333	0,5176	0,3272
US 10	0,7900	0,3912	0,5912
US 11	0,9012	0,8131	0,5440
US 12	0,6385	0,5624	0,6712
US 13	1,0000	0,4386	0,3476
US 14	0,8043	0,9684	0,9134
US 15	0,9160	1,0000	0,8960
US 16	1,0000	0,9669	1,0000
US 17	0,6517	0,4213	0,5942
US 18	1,0000	0,8112	0,8112
US 19	0,7541	0,7377	0,4795
US 20	0,2049	0,3033	0,2486
US 21	0,8223	0,3882	0,3882
US 22	0,7814	0,1284	0,3102
US 23	0,8706	0,3156	0,7202
US 24	0,8569	0,3459	0,4685
US 25	1,0000	1,0000	1,0000
US 26	1,0000	0,9745	1,0000
<b>Eficiência Média</b>	<b>0,8697</b>	<b>0,6643</b>	<b>0,6510</b>
<b>Acréscimo</b>	<b>0,2215</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,0027</b>

#### 4.2 Análise dos resultados

Aplicou-se para cada uma das usinas a relação entre os recursos aplicados e os retornos obtidos. Estabeleceu-se uma fronteira de eficiência (relativa) para a relação entre *inputs* e *outputs* selecionados, onde todas as usinas foram avaliadas ao mesmo tempo em

relação à eficiência operacional.

Nesse caso a relação de eficiência utilizou as variáveis “cana processada (t)” e “área plantada” (insumos) *versus* a “produção de açúcar e álcool (l)”. A Tabela 4 sintetiza os resultados da modelagem DEA para classificação da eficiência das usinas selecionadas:

Tabela 4 - Classificações das usinas pela modelagem DEA

<b>Categorização</b>	<b>Usinas ordenadas pela Capacidade de Moagem</b>	<b>Scores da DEA</b>	<b>Ranking da DEA</b>
<b>Grupo de Usinas Eficientes</b>	US 1	1,0000	1
	US 2	1,0000	1
	US 3	1,0000	1
	US 4	1,0000	1
	US 5	1,0000	1
	US 6	1,0000	1
	US 13	1,0000	1
	US 16	1,0000	1
	US 18	1,0000	1
	US 25	1,0000	1
US 26	1,0000	1	
<b>Grupo de Usinas Ineficientes</b>	US 8	0,9946	2
	US 7	0,9938	3
	US 15	0,9160	4
	US 11	0,9012	5
	US 23	0,8706	6
	US 24	0,8569	7
	US 21	0,8223	8
	US 14	0,8043	9
	US 10	0,7900	10
	US 22	0,7814	11
	US 19	0,7541	12
	US 17	0,6517	13
	US 12	0,6385	14
	US 9	0,6333	15
US 20	0,2049	16	

Observando-se a Tabela 4, pode-se categorizar a amostra das usinas selecionadas em dois grupos distintos pela modelagem DEA: usinas eficientes e usinas ineficientes. No grupo de eficiente encontram-se usinas grandes (US 1 a US 6), médias (US 13 e US 16) e pequenas (US 18, US 25 e US 26). Nas categorizadas como ineficientes encontram-se usinas grandes (US 7 a US 11), médias (US 12, US 14, US 15 e US 17) e pequenas (US 19 a US 24).

Uma constatação que merece destaque é a de que as usinas US 25 e US 26, que são as de menor

capacidade de moagem (*proxy* de tamanho), encontram-se, na Tabela 4, no grupo das mais eficientes. Por outro lado, as usinas US 9 e US 10, que foram classificadas como de grande porte, apresentam eficiência operacional de 0,6333 e 0,7900 respectivamente, sendo listadas no grupo das usinas ineficientes, equivalendo a US 9 à segunda menos eficiente da amostra selecionada. Dessa forma, os resultados sugerem que também existem usinas pequenas eficientes e grandes ineficientes.

Quando analisada a eficiência média dos grupos das usinas (pequenas, médias e grandes) constata-

se uma eficiência média de 0,8193, 0,8095 e 0,8966 respectivamente, para esses grupos. Mesmo que com a maior (estatisticamente) eficiência média, nem todas as usinas do grupo de grande porte são consideradas eficientes. Por outro lado, mesmo com uma eficiência média inferior, nem todas do grupo de pequeno porte são consideradas ineficientes.

Finalizando esta seção, deve-se destacar que, por meio dos resultados obtidos, não se verificou a relação entre o porte e eficiência operacional, pois segundo essa premissa de pesquisa as usinas de maior porte tenderiam a possuir maior eficiência operacional, em função dos ganhos de escala. Fato não observado em todas as DMUs deste estudo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se, nesta pesquisa, analisar a relação entre o tamanho e a eficiência operacional das usinas de açúcar e etanol da região Nordeste do estado de São Paulo, que foi escolhida por ser expoente para o setor e para a economia do país. Dessa forma, foi conduzido um *survey* a partir de uma amostra de 26 usinas selecionadas aleatoriamente, de onde foram coletados dados sobre seus recursos e produtos, o que permitiu sua categorização em termos de tamanho (representado pela variável *proxy* capacidade de moagem) e a classificação em termos de eficiência operacional das unidades amostrais, por meio da técnica DEA.

Tal estudo justifica-se devido ao crescente nível de concorrência no setor, onde o paradigma competitivo envolve a obtenção de eficiência operacional. A região estudada, por apresentar grandes plantas energéticas, suscita a necessidade de se melhor entender a relação entre eficiência operacional e tamanho, que é a pergunta a ser respondida por esta pesquisa.

Os resultados encontrados sugerem dois aspectos relevantes: em primeiro lugar, não foi verificada uma relação direta entre tamanho e eficiência operacional, tendo em vista que existem usinas eficientes de porte grande e pequeno. Também constatou-se a presença de usinas ineficientes de porte grande, médio e pequeno.

Dessa forma, os resultados encontrados fornecem indícios de que a eficiência operacional não está diretamente relacionada à capacidade de moagem da usina.

Isso pode ser explicado pelo fato de que como a tecnologia utilizada nas usinas pode ser considerada semelhante (que é um requisito para se utilizar DEA) e os *outputs* são *commodities*, nesse caso as divergências entre tamanho e eficiência só podem ser justificadas por meio dos *inputs*. No caso eles são cana processada (t) e área plantada (ha), variáveis selecionadas pelo método *stepwise*.

Em relação à cana processada (t), ela pode sofrer alterações em seus processos operacionais do momento do plantio até a moagem. Isso pode ocorrer devido: à queima da cana-de-açúcar anterior ao momento do corte (que define a o peso da cana transportada à usina), o tipo de cana e do momento da colheita (que podem otimizar o teor de sacarose aproveitado), o tempo entre o corte e a moagem, entre outros.

Já no que se refere à área plantada (ha), ela pode sofrer alterações relacionadas a sua produtividade o que pode ser explicado pela topografia, composição do solo, rotação de culturas, entre outros.

Sendo assim, a pesquisa fornece subsídios para que os gestores das unidades de negócio das usinas da região Nordeste do estado de São Paulo, possam rever suas estratégias operacionais em busca de diferenciais, nesse cenário cada vez mais competitivo. No entanto, uma característica particular deste estudo decorre da escolha do modelo DEA, no caso BCC. Algumas conclusões são próprias do uso desse modelo, como o fato de haver usinas eficientes e ineficientes nas três categorias de tamanho. Portanto, ressalta-se o cuidado que se deve ter na interpretação dos dados.

O presente trabalho, ao obter resultados interessantes no estudo da relação eficiência *versus* tamanho das usinas de açúcar e álcool, aponta na direção de novas pesquisas que explorem ainda mais os aspectos relacionados ao tema abordado. Por isso, deixam-se como sugestões para trabalhos futuros a análise da relação de tamanho e eficiência operacional em outras regiões do país, de forma a confirmar ou não os resultados aqui encontrados, em função das

características da agricultura, do solo, do relevo e da força de trabalho regionais.

Por fim, ressalta-se que a realização de estudos quantitativos como o do presente trabalho, demanda a necessidade de 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.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M. L.; RODRIGUES, R. C. D.; MARCHETTI, L. L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, n. 67, p. 23-25, 1993.
- ADLER, N.; FRIEDMAN, L.; SINUANY-STERN, Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. **European Journal of the Operational Research**, Cambridge, v. 140, n. 2, p. 249-265, 2002.
- ANGULO-MEZA, L.; MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Investigação Operacional**, v. 27, n. 1, p. 21-36, 2007.
- ANTUNES, L. M.; ENGEL, A. **Manual de administração rural**: custos de produção. São Paulo: Agropecuária, 1999.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2008.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BERTRAND, J. P.; MELLO, A. R.; THÈRY, H. Brazilian policy for bioresources uses: betting on ethanol. **Economia e Diritto Agroalimentare**, v. 12, n. 3, p. 33-56, 2007.
- BIEMER, P. P.; LYBERG, L. E. **Introduction to survey quality**. New Jersey: J. Wiley, 2003.
- BRAGATO, I. R.; SIQUEIRA, E. S.; GRAZIANO, G.; SPERS, E. E. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Revista Gestão e Produção**, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2008.
- BRAVO-URETA, B. E.; PINHEIRO, A. E. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 22, n. 1, p. 88-101, 1993.
- BRESSAN, V. G.; BRESSAN, A. A.; LIMA, J. E.; BRAGA, M. J. Análise da alavancagem das empresas de capital aberto do agronegócio brasileiro: uma abordagem usando logit multinomial. **Revista de Economia e Agronegócio**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 51-78, 2008.
- CAMARGO, A. M. P. de et al. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 47-61, mar. 2008.
- CAMARGO, A. S.; MATIAS, A. B.; MERLO, E. M. **Desempenho dos bancos comerciais e múltiplos de grande porte no Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2004. Apostila.
- CERETTA, P. S.; NIEDERAUER, C. A. P. Rentabilidade e eficiência no setor bancário brasileiro. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 5, n. 3, p. 7-26, 2001.
- Organizações Rurais & Agroindustriais, Lavras, v.11, n.3, p. 494-513, 2009

- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 3, p. 429-444, 1978.
- COOPER, W. W.; LI, S.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Sensitivity analysis in DEA. In: \_\_\_\_\_. **Handbook on data envelopment analysis**. Boston: Kluwer Academic, 2004. chap. 3, p. 75-97.
- DIMARA, E.; SKURAS, D.; TSEKOURAS, K.; TZELEPIS, D. Productive efficiency and firm exit in the food sector. **Food Policy**, v. 33, p. 185-196, 2008.
- DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 38, n. 1, p. 151-163, 1994.
- FARINA, E. M. M. Q.; NUNES, R. A. **Evolução do sistema agro-alimentar no Brasil e a redução dos preços para o consumidor: o papel dos grandes compradores**. São Paulo: CEPAL/IPEA, 2002.
- FARINA, E. M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **A competitividade do agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA/USP, 1998. CD-ROM.
- FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da USP**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 105-112, 2000.
- FURLANETTO, E. L.; CANDIDO, G. A. Metodologia para estruturação de cadeias de suprimentos no agronegócio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 772-777, 2006.
- GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Indicadores de competitividade e do comércio exterior da agropecuária brasileira**. Piracicaba: IPEA, 2002. (Texto para discussão, 908).
- GASQUES, J. G.; REZENDE, G. C.; VERDE, C. M. V.; SALERNO, M. S.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R.; CARVALHO, J. C. S. **Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil**. Piracicaba: IPEA, 2008. (Texto para discussão, 1009). Disponível em: <[www.ipea.gov.br/pub/td/2004/td\\_1009.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/td/2004/td_1009.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2008.
- GAZETA MERCANTIL. **Usinas cada vez mais eficientes e lucrativas**. Disponível em: <<http://ethanolbrasil.blogspot.com/2009/01/usinas-cada-vez-mais-eficientes-e.html>>. Acesso em: 4 fev. 2009.
- GIFFORD, S. Risk and uncertainty. In: ACS, Z. J.; AUDRETSCH, D. B. (Orgs.). **Handbook of entrepreneurship research: an interdisciplinary survey and introduction**. New York: Springer, 2003.
- GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega International Journal of Management Science**, v. 17, n. 3, p. 237-1250, 1989.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C. Uso de análise envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. **Engevista**, v. 6, n. 1, p. 19-27, 2004.
- GOMES, E. G.; MELLO, J. C.; MANGABEIRA, J. A. C. Fronteira DEA difusa na avaliação de eficiência em agricultura. **Investigação Operacional**, v. 26, n. 1, p. 65-88, 2006.
- KAO, C. Efficiency measurement for parallel production systems. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 3, p. 1107-1112, 2009.
- KASSAI, S. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

- LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V.; CORTEZ, L. A. B.; GRIFFIN, M.; SCANDIFFIO, M. I. G. Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol? **Energy**, v. 37, n. 3, 2008.
- LINS, M. P. E.; ANGULO-MEZA, L. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente do apoio à decisão**. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2000.
- LINS, M. P. E.; MOREIRA, M. C. B. Método I: o stepwise para seleção de variáveis em modelos de análise envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 19, n. 1, p. 39-50, 1999.
- MACEDO, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; ÂNGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; GOMES, E. G.; ANGULO-MEZA, L.; LINS, M. P. E. Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA. **Revista de la Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa**, v. 24, n. 1, p. 40-52, 2004.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; LINS, M. P. E.; MELLO, M. H. C. S. de; GOMES, E. G. Evaluating the performance of calculus classes using operational research tools. **European Journal of Engineering Education**, v. 27, n. 2, p. 209-218, 2002.
- MEZA, L. A.; BIONDI NETO, L.; RIBEIRO, P. G. SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão v.2.0: uma implementação computacional de modelo de análise envoltória de dados e um método multicritério. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **Anais...** Gramado, 2005.
- NEVES, M. F. GESis: um método para planejamento e gestão estratégica de sistemas agroindustriais. **RAUSP Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, p. 1, 2008.
- NEVES, M. F.; CHADDAD, F. R.; LAZZARINI, S. G. **Alimentos: novos tempos e conceitos na gestão de negócios**. São Paulo: Pioneira, 2000. 129 p.
- NORMAN, M.; STOKER, B. **Data envelopment analysis: the assessment of performance**. New York: J. Wiley, 1991.
- OPPENHEIM, A. N. **Questionnaire design, interviewing and attitude measurement**. New York: Continuum, 2001.
- PERICO, A.; REBELATTO, D. A.; SANTANA, N. B. Eficiência bancária: os maiores bancos são os mais eficientes?: uma análise por envoltória de dados. **Revista Gestão & Produção**, v. 15, n. 2, p. 421-431, 2008.
- PICOLI, M. C. A.; ANJOS, C. S.; ROSA, V. G. C.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar na micro-região de Ribeirão Preto: ano safra 2003/2004. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2005.
- PIMENTA, H. L. N.; MACEDO, M. A.; MELLO, J. C. C. B. S. de. Decisão de realização de investimentos em tecnologia da informação com análise envoltória de dados. **Revista Produção**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2004.
- PINO, F. A. Estimativa subjetiva safras agrícolas. **Informações Econômicas**, v. 31, n. 6, p. 55-58, 2001.
- PINTO, L. F. G.; BERNARDES, M. S.; SPAVOREK, G.; CAMARA, G. M. S. Feasibility of agroforestry for sugarcane production and soil conservation in Brazil. In: CONSERVATION ORGANIZATION MEETING, 1., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1999.

- ROMANACH, L. M.; CARON, D. Impactos da mecanização da colheita de cana sobre o emprego, a gestão empresarial e o meio ambiente: um estudo de caso. In: SOBER, 27., 1999, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 1999. Disponível em: <<http://gipaf.cnptia.embrapa.br/itens/publ/sober/trab121.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2008.
- SEGALLA, A. L. Variedades de cana-de-açúcar: III. série de ensaios realizados no período de 1955 a 1958. **Bragantia**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 323-356, 1961.
- SENRA, L. F.; NANJI, L. C.; MELLO, J. C. C. S. de; ANGULO-MEZA, L. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.
- SIQUEIRA, P. H. L.; REIS, B. S. Determinantes de competitividade da agroindústria processadora de cana-de-açúcar no triângulo mineiro e no alto Parnaíba. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 202-215, 2006.
- SOUZA, G. S. Significância de efeitos técnicos na eficiência de produção da pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, v. 60, n. 1, p. 69-86, 2006.
- SOUTO, J. J. N. **Política nacional de biocombustíveis**. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: 15 mar. 2009.
- THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of different ability using data envelopment analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 47, n. 1, p. 84-97, 1996.
- TORQUATO, A. S.; PEREZ, L. H. Exportação de álcool: perspectiva de crescimento em 2006? **Análises e indicadores do agronegócio**, v. 1, n. 5, p. 1-4, 2006.
- TORQUATO, S. A.; MARTINS, R.; RAMOS, S. F. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo de eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 5, 2009.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2009.
- VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação benchmarking-dea: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 51-67, 2006.
- VIAN, C. E. F.; BELIK, W. Os desafios para a reestruturação do complexo agroindustrial canavieiro do centro-sul. **Revista Economia ANPEC**, v. 4, n. 1, p. 1-18, 2003.
- VIEIRA, R. J. **Reestruturação do PROÁLCOOL e continuidade da produção de álcool combustível no Brasil**. 1999. 134 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- ZYLBERSZTAJN, D. Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema agroindustrial. In: ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M. F. (Orgs.). **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**. São Paulo: Pioneira, 2000.