

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DE UNIDADES AGROPECUÁRIAS: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO NÃO-PARAMÉTRICO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Production efficiency of agribusiness units: an application of the non-parametric data envelopment analysis (dea) method

RESUMO

No sentido de auxiliar as empresas a medirem suas eficiências em seus processos produtivos e analisarem seus posicionamentos no contexto competitivo em que estão inseridas, propôs-se, neste artigo apresentar e discutir uma metodologia de análise e avaliação do desempenho organizacional. Utiliza-se um método não-paramétrico (Análise Envoltória de Dados – DEA) para analisar o desempenho relativo de onze produtores de leite de cabra de Minas Gerais e Rio de Janeiro, com base em informações de múltiplos insumos e produtos, no período de setembro de 2004 a setembro de 2005. A metodologia possibilita a análise de como cada DMU (Unidade Tomadora de Decisão) pode combinar da melhor forma seus *inputs* na obtenção de seus *outputs*. Para a modelagem DEA, foi utilizado o modelo CRS (Retornos Constantes de Escala), com orientação insumo. Os resultados indicam que as ineficiências apresentadas se dão pelo uso excessivo de *inputs*, que poderiam ser diminuídos, sem alterar o nível de produção.

Marinês Steffanello

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
marines_steffanello@yahoo.com.br

Marcelo Alvaro da Silva Macedo

Professor do Departamento de Contabilidade, Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rovigati Danilo Alyrio

Avaliador de cursos no Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, consultor na Secretaria de Educação Superior Ministério da Educação
rovigati@uol.com.br

Recebido em 01.10.07. Aprovado em 18.02.09

Avaliado pelo sistema blind review

Avaliador científico: Ricardo Pereira Reis

ABSTRACT

To aid companies in measuring the efficiency of their production process and to analyze their competitive positioning in the market, this article presents and discusses a methodology for organizational analysis and performance evaluation. A non-parametric method (DEA – Data Envelopment Analysis) is used to analyze the relative performance of eleven goat milk producers from Minas Gerais and Rio de Janeiro, based on information concerning multiple inputs and final products. These data cover the period from September of 2004 to September of 2005. With this methodology it is possible to analyze how each DMU (Decision Making Unit) may combine its inputs to achieve outputs. To develop the methodology, the CRS model (Constant Returns to Scale), with input orientation, was used. The results showed that inherent inefficiencies were related to the use of excessive inputs, which could be reduced without altering the production level.

Palavras-Chave: Desempenho, eficiência, conversão de insumos em produtos, DEA.

Key Words: Performance, efficiency, DEA.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação da eficiência do uso de insumos na transformação em produtos é um dos mais importantes temas na gestão de qualquer negócio, pois é cada vez mais importante o combate ao desperdício, num contexto de recursos escassos e alta competitividade. No agronegócio, isso não poderia ser diferente, ainda mais quando se trata de um produto que vem se firmando e ganhando conceito como um alimento alternativo e saudável, no caso o leite de cabra. Esse ainda tem uma conotação especial, pois pode ser uma opção de alimento destinado a crianças alérgicas ao leite de vaca e aos idosos pelo seu elevado potencial nutritivo.

Amensuração do desempenho relativo de unidades produtivas tem importância tanto para fins estratégicos, quanto para questões operacionais. A mensuração da eficiência é uma das mais importantes formas de verificar a *performance* ou comportamento de uma empresa, a fim de monitorar seu progresso e corrigir eventuais erros, sendo muito importante para o setor de produção de leite de cabras dado seu atual estágio de crescimento.

O processo de mensurar o desempenho organizacional, de acordo com Macedo (2004a), como todos os aspectos de gestão, é permanente e repetitivo, onde a frequência das medições depende da atividade a ser medida. O gestor pode, através da avaliação da eficiência da empresa, preparar-se para enfrentar as mudanças ambientais, principalmente no que concerne à natureza mutável da competição e à criação de valor para o cliente. É fundamental, portanto, que essa avaliação seja feita em caráter relativo, ou seja, mensurando a eficiência da organização em relação a seu ambiente competitivo.

De acordo com Homem de Souza (2003), existem dois métodos clássicos de análise do desempenho. Os métodos paramétricos são mais exigentes, pois pressupõem uma função de produção que tem que ser estimada, além de mais ricos e consistentes, no que tange ao teste de hipótese. Já os métodos não-paramétricos aproximam-se mais do ideal de comparar um produtor com o grupo em que se insere. A base de tecnologia é a do grupo, sem apelo à função de produção.

Porém, não existe até hoje nenhum método ou modelo de avaliação de *performance* organizacional que seja único para toda e qualquer variável do mundo empresarial. Contudo, os métodos que consideram aspectos diversificados tendem a assumir uma importância especial, já que o desempenho acaba por ser afetado por variáveis de diferentes naturezas. Esse tipo de metodologia multicriterial é sempre crucial num processo de avaliação institucional. Porém, com essa multiplicidade de fatores de decisão faz-se necessário o uso de métodos e técnicas que possam proporcionar aos gestores uma melhor percepção da *performance* organizacional.

No sentido de auxiliar as empresas a medirem sua eficiência na transformação de insumos em produtos e analisarem-se no contexto competitivo em que estão inseridas, este trabalho se propõe a apresentar e discutir uma metodologia de análise e avaliação do desempenho organizacional. Com base em informações de múltiplos *inputs* e *output* de onze produtores de leite de cabra, no período de setembro de 2004 a setembro de 2005 utiliza-se um método não-paramétrico (Análise Envoltória de Dados – DEA) para analisar a eficiência relativa desses produtores. Além disso, pode-se obter um ferramental de apoio gerencial baseado em *benchmarking* (tendo a empresa mais eficiente como referência), que proporciona aos produtores a possibilidade de buscar a melhoria contínua de seus processos de transformação.

A escolha por este produto e por estes produtores deu-se por acessibilidade, já que o presente estudo faz parte de um projeto de acompanhamento da produção leiteira de um conjunto de produtores de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Projeto GEROCABRA). A iniciativa visava não só acompanhar os custos de produção, mas também pela adoção da DEA discutir o desempenho relativo e propor alterações nos níveis de *inputs* para que fossem alcançadas melhorias no grupo como um todo.

Em síntese, procura-se, então, através deste trabalho mostrar a aplicação da metodologia DEA num ambiente produtivo agropecuário, utilizando os dados dos produtores de leite de cabra que faziam parte do projeto GEROCABRA, entre os anos de 2004 e 2005.

2 EFICIÊNCIA NA ATIVIDADE AGROPECUÁRIA

É de interesse do produtor obter o maior rendimento dos recursos que utiliza. Para isso, é importante saber seu nível de utilização de insumos, em termos de eficiência, em relação aos produtores que se assemelham. Ainda que seja o mais eficiente, cabe buscar quais melhorias ainda podem ser realizadas ou saber como pode se superar. Esse é um ponto crucial na busca pela melhoria contínua, porque exige inovar, ou seja, percorrer caminhos desconhecidos, pelo menos para os agricultores da mesma classe (ALVES & GOMES, 1998).

O estudo da análise de desempenho de unidades agrárias vem se tornando cada vez mais comum, principalmente com a utilização de métodos com base em análise não-paramétrica, como, por exemplo, a aplicação de DEA. O que atrai pesquisadores de várias áreas é a eficiência obtida nos resultados.

Segundo Homem de Souza (2003), foram utilizados dados de 284 (duzentos e oitenta e quatro) propriedades da Zona da Mata, do ano de 1982, para analisar a eficiência na produção com uma abordagem não-paramétrica (DEA). Os resultados indicaram mostraram uma enorme variação nos níveis de eficiência, variando de 0,06 a 1,00 para os produtores de milho e arroz. Os autores verificaram que os índices de eficiência estavam correlacionados a fatores como uso de fertilizantes em milho e de tração animal em todas as culturas.

Sturion (1996) utilizou-se da aplicação da Análise Envoltória de Dados (com retorno de escalas constantes – DEA-CCR) a 131 (cento e trinta e uma) Unidades de Produção Agropecuária catarinenses para explicar o potencial exploratório na obtenção de diagnóstico, para que a Extensão Rural possa trabalhar no ajustamento das folgas de insumos e produtos das unidades ineficientes, tornando-as eficientes e aumentando a produção, bem como promovendo a fixação do agricultor no campo.

Gomes et al. (2003) aplicaram a técnica DEA em dados de 308 (trezentos e oito) produtores de leite dos estados do Rio de Janeiro e de Rondônia, com o objetivo

de analisar a eficiência técnica e seus determinantes. Os resultados da pesquisa revelaram diferenças significativas na utilização de fatores de produção, sendo as quantidades médias empregadas superiores no Rio de Janeiro, o que resultou em uma produção média diária de leite, por propriedade, 61% superior à de Rondônia.

Os autores ressaltam ainda a enorme diferença observada na composição da força de trabalho nos dois Estados, onde a predominância da mão-de-obra familiar é quase absoluta (cerca de 90%) em Rondônia, enquanto que a mão-de-obra contratada constitui-se em 55% da total, no Rio de Janeiro. Quanto às elasticidades de eficiência técnica calculadas, pode-se inferir que a variável renda do leite foi a principal determinante de eficiência técnica, comprovando ser preferível para os produtores a busca da maximização do lucro anual, mesmo que o custo unitário venha a aumentar em consequência disso.

No trabalho de Macedo et al. (2007) foi utilizada a metodologia DEA para avaliar o desempenho relativo de vinte produtores de leite da região Sudeste ao longo de quatro meses, com base em informações de múltiplos *inputs* e *outputs*. Nesse foi detectado que havia muitos produtores com índice de eficiência muito baixo, concluindo-se que deve haver uma melhoria no uso dos insumos. Além disso, percebeu-se que em relação à amostra o custo de alimentação apresenta-se como o grande fator discriminante, já que tem maior variabilidade.

Poucas pesquisas vêm sendo desenvolvidas no que tange a comparar métodos paramétricos e métodos não-paramétricos. Segundo Perelman & Coelli (1999), citados por Homem de Souza (2003), foram comparados os resultados obtidos na estimativa da ineficiência técnica de ferrovias da Europa. Os métodos utilizados foram: construção da fronteira paramétrica utilizando programação linear, DEA e estimação pelo método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos. Os resultados encontrados indicam um forte grau de correlação entre os modelos. A conclusão dos autores foi a sugestão da combinação dos métodos para estimação dos índices de eficiência.

Sharma et al. (1999) analisaram a eficiência na produção de suínos no Hawaii-EUA, comparando

medidas de eficiência obtidas através de modelo paramétrico (fronteira estocástica) e não-paramétrico (DEA). Os resultados obtidos pelas duas abordagens revelaram considerável ineficiência na produção. Sob retornos constantes à escala, os índices médios de eficiência técnica e econômica estimados foram maiores para o modelo paramétrico do que aqueles obtidos por DEA. Sob retornos variáveis, esses índices foram, geralmente, maiores para o modelo DEA. Os resultados indicaram ainda um efeito fortemente positivo do tamanho da exploração com os níveis de eficiência e que as firmas que produzem suínos para o mercado foram mais eficientes do que aquelas que produzem para o consumo.

Em sua tese, Homem de Souza (2003) testou métodos paramétricos, fronteira estocástica e o procedimento de Varian, e não-paramétrico, DEA, para comparar a eficiência de produtores de leite quanto à escolha da *isoquanta* e do ponto que minimiza custo. Concluiu-se que DEA é menos estruturada que a fronteira estocástica e mais exigente que o procedimento de Varian (visto que esse não pressupõe qualquer fronteira explicitamente), embora os produtores analisados ajam de forma racional e intuitiva, minimizando os custos.

Os métodos, ainda segundo Homem de Souza (2003), geraram mudanças nos insumos ou no produto para atingirem determinados objetivos: diretamente, a DEA e o procedimento de Varian, e, indiretamente, a fronteira estocástica. Todavia, o método de Varian foi o que produziu menos distúrbio.

3 METODOLOGIA

3.1 Modelo Teórico-Analítico

A idéia de se mensurar eficiência e produtividade vem de longa data. Já eram realizadas medidas empíricas de controle da produtividade da força de trabalho no século XVII, na primeira fase da Revolução Industrial. Na segunda fase da Revolução Industrial (1860-1914), o controle da mensuração de eficiência e produtividade deixa de ser um processo simples para se tornar um conjunto de métodos aplicados em todas as áreas do

conhecimento pelos países mais desenvolvidos. No século XX, o sistema produtivo torna-se muito mais complexo em suas relações de produção, principalmente pela forte competitividade entre nações industrialmente desenvolvidas (STURION, 1996).

Nos atuais estudos econômicos, o conceito de eficiência tem sido um dos aspectos centrais. Para medir a eficiência das empresas, podem ser aplicados vários tipos de ferramentas de mensuração de *performance*. Para isso é preciso identificar quais os itens a considerar, ou seja, aqueles que melhor representam o desempenho da empresa, e quais ferramentas serão utilizadas, tendo esses itens como parâmetros, na busca pela identificação do grau de eficiência que a empresa possui.

A microeconomia, a econometria e a pesquisa operacional avançaram bastante no desenvolvimento de técnicas para análise de eficiência de empresas. A aplicação empírica de técnicas de análise de eficiência a diferentes contextos é considerada uma linha de estudo importante e que se desenvolve rapidamente (LOVELL & SCHMIDT, 1988).

Segundo Homem de Souza (2003), tanto eficiência quanto produtividade são indicadores de sucesso, medidas de desempenho por meio das quais as empresas são avaliadas. A produtividade de uma unidade produtiva é entendida como relação entre as quantidades de seus produtos e insumos. Essa varia devido a diferenças na tecnologia de produção, no desempenho dos processos e no ambiente em que ocorre a produção. Quanto à eficiência de uma unidade produtiva, essa é entendida como uma comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos.

Muitos estudiosos têm dedicado grande parte de seus esforços pesquisando formas de mensurar e analisar a eficiência e produtividade dos sistemas produtivos, sejam eles ligados a comércio, indústria, prestação de serviços ou a agropecuária. A preocupação com a eficiência econômica cresce em cada setor, pois as transformações provocam mudanças na estrutura e na capacidade de competir.

Segundo Pindyck & Rubinfeld (2002), uma empresa é tida como tecnicamente viável quando utiliza

cada combinação de insumos da forma mais eficiente possível. Sendo assim, só se pode saber se uma empresa é eficiente ou ineficiente e identificar alguns dos motivos para esse desempenho e, por conseguinte, para a definição de estratégias apropriadas, se for feita uma análise criteriosa de como a mesma utiliza os insumos no processo produtivo. A melhoria contínua é buscada, portanto, no intuito de corrigir as motivações do baixo desempenho na transformação de seus recursos/insumos em produtos.

O estudo pioneiro na busca por medidas de eficiência foi o de Farrel (1957) em que o autor decompõe a eficiência total (econômica) em eficiência técnica e alocativa. A primeira reflete a habilidade da firma em obter máximo produto, dado um conjunto de insumos, já a segunda reflete a habilidade da firma em utilizar os insumos em proporções ótimas, dados seus preços relativos. Logo, pode-se tratar como ineficiência técnica o resultado do uso excessivo de insumos, para dado nível de produção e, ineficiência alocativa, o emprego dos insumos em proporções inadequadas, dados seus respectivos preços.

Segundo Tupy & Yamaguchi (1998), a eficiência de uma firma (ou unidade produtiva) é medida pela comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos. Essa comparação pode ser feita entre o produto obtido e o nível máximo, fixada a quantidade de insumos utilizada; ou entre a quantidade de insumo utilizado e o mínimo requerido para produzir determinada quantidade de produto; ou, ainda, com a combinação dos dois anteriores. Num caso, a eficiência técnica é orientada para produto; no outro, para insumo. A eficiência econômica tem duas dimensões: a do custo mínimo, quando a produção é fixada e se variam os insumos e a da renda líquida máxima, quando insumos são fixados e se variam os produtos.

O desempenho pode ser medido através da comparação entre os valores observados na unidade sob análise e os valores ótimos, no que tange seus *outputs* (produtos ou indicadores a serem maximizados) e seus *inputs* (recursos ou insumos ou ainda indicadores a serem minimizados). Essas comparações geram fronteiras de

máxima produção ou de mínimo custo.

Gomes et al. (2003) definem o conjunto de todos os planos de produção viáveis como tecnologia, e o subconjunto de todos os planos de produção “ótimos” como fronteira de produção. Assim, no cálculo das medidas de eficiência envolvendo vários insumos e/ou produtos, utiliza-se, como referencial, uma fronteira de produção.

Conforme Gomes et al. (2005), geralmente a mensuração do desempenho relativo (eficiência) é realizada tendo como base uma fronteira, a qual pode ser estimada por diferentes métodos. Os dois mais utilizados são as fronteiras estocásticas e a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA). As fronteiras estocásticas consistem em abordagem paramétrica, sendo estimadas por métodos econométricos, enquanto a técnica DEA é uma abordagem não-paramétrica, que envolve programação matemática em sua estimação. A DEA fornece a fronteira de produção como uma curva que envolve os dados, determinando, para cada unidade analisada, se essa pertence ou não à fronteira.

Embora a competitividade de uma firma ou de um setor econômico dependa de um conjunto de fatores macroeconômicos e microeconômicos, a análise da eficiência, focalizada nos fatores microeconômicos, é de grande relevância na explicação da competitividade, principalmente quando se considera que as firmas mais eficientes serão, provavelmente, mais competitivas (PEREIRA FILHO, 2000).

Segundo Muller (1974), citado por Homem de Souza (2003), existem insumos não-físicos, em especial informações e conhecimento, que limitariam o uso correto de tecnologia pelas firmas. A não inclusão desses insumos distorce a fronteira estimada e invalidam as estimativas de ineficiência. Contudo, apesar das críticas, as funções de fronteira são muito utilizadas.

De acordo com Fare et al. (1994), a função de produção média é utilizada em alguns estudos que analisam a função de produção estimada por técnicas econométricas. Todavia, esse procedimento pode levar a resultados viesados pelo fato de não levar em conta as diferenças na eficiência produtiva. Nesse sentido, torna-se necessário estimar uma função de produção

de fronteira que caracteriza a melhor tecnologia (*best practice*), a partir da qual se podem fazer comparações entre as unidades de produção em termos de eficiência produtiva e estrutura da tecnologia de produção.

Como método não-paramétrico, utiliza-se uma metodologia de programação matemática que tem por finalidade medir a eficiência técnica, permitindo classificar as organizações em eficientes e ineficientes com um único indicador de desempenho para cada unidade avaliada, a Análise Envoltória de Dados – DEA.

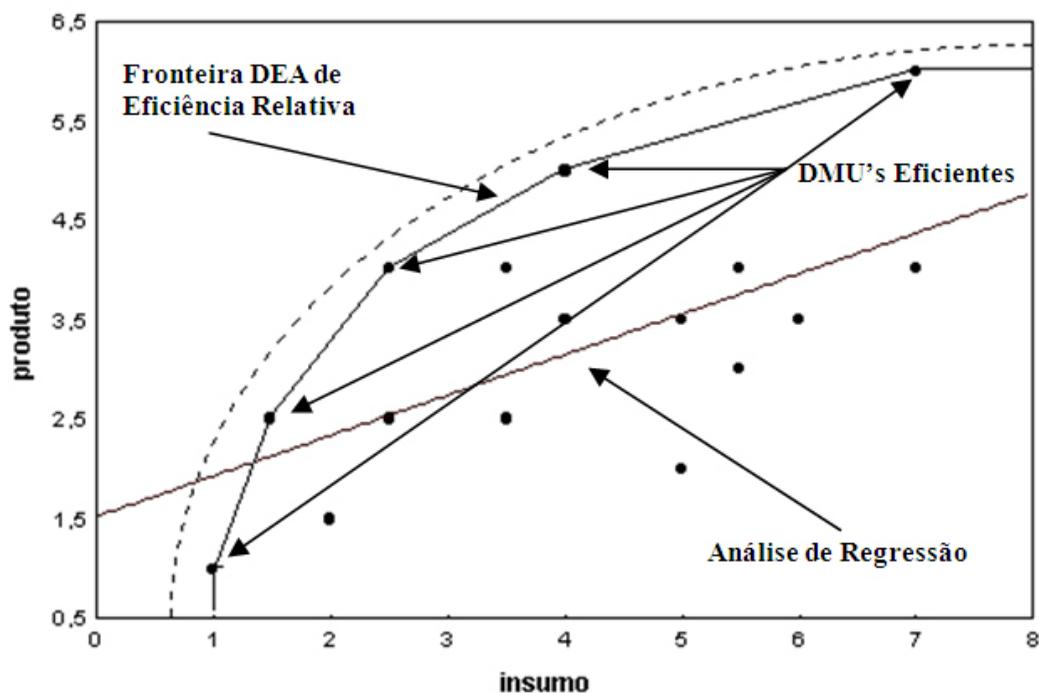
De acordo com Santos & Casa Nova (2005), existem trabalhos que comparam resultados de DEA com os obtidos pela Análise de Regressão, essa última resulta em uma função que determina uma reta – no caso da Análise de Regressão Linear – que minimiza a soma dos erros quadrados (ou reta dos mínimos quadrados). É, portanto, uma reta que não representa, necessariamente, o desempenho de nenhuma das unidades analisadas. Essa comparação pode ser observada na Figura 1.

As observações individualmente estão

representadas pelos pontos na Figura 1. A reta traçada no gráfico é obtida da função resultante da Análise de Regressão Linear. Pode-se notar que apenas algumas observações posicionam-se próximas à reta de regressão.

A Análise por Envoltória de Dados define a curva de eficiência (ou de máxima produtividade), considerando a relação ótima insumo/produto. Assim, são identificadas as unidades que obtiveram a alocação ótima entre insumos e produtos, que são, então, chamadas de eficientes e são posicionadas na curva de máxima eficiência. É importante notar que as demais unidades, não eficientes, estão posicionadas abaixo da curva, “envolvidas” pelo desempenho das unidades eficientes. O método define então unidades de referência para cada observação, o que permite calcular os aumentos na quantidade de produtos ou diminuição no consumo de insumos necessários para que a atuação seja otimizada. Esses *benchmarks* são unidades localizadas na fronteira, que estejam mais próximas de cada unidade ineficiente.

A DEA foi originalmente projetada para uso



Fonte: Santos & Casa Nova (2005).

Figura 1 – Comparação entre DEA e Análise de Regressão

como uma ferramenta para estimar a eficiência relativa em organizações sem fins lucrativos, como, por exemplo, organizações governamentais. Sua primeira aplicação foi em escolas públicas norte-americanas. Porém, desde sua criação, foi desenvolvida e ampliada, passando a ser utilizada em diversas áreas do conhecimento e reconhecida como uma ferramenta efetiva nos processos de medida de desempenho (BOWLIN, 1999).

Na literatura relacionada com modelos DEA, uma unidade produtora é tratada como DMU (*Decision Making Unit*), uma vez que desses modelos provém uma medida para avaliar a eficiência de unidades produtoras independentes, que podem ser entendidas como qualquer sistema produtivo que transforme insumos em produtos, podendo ser firmas, setores da economia ou regiões.

Para interpretar o nível de eficiência dos produtores e projetar ações futuras para melhoria de seus desempenhos é preciso ter cuidado, principalmente com a natureza do processo produtivo da cultura sob análise. Por conta disso, é tão importante ter uma amostra o mais homogênea possível. Erros de informação poderão invalidar os resultados, levando a conclusões equivocadas (SHAFIQ & REHMAN, 2000).

Os dados, segundo Homem de Souza (2003), referem-se ao par (x, y) ou (insumo, produto) ou ainda (*input, output*). O objetivo é gerar o conjunto de referência que é convexo e fechado, a partir dos próprios dados das firmas e, então, classificá-las em eficientes ou ineficientes, tendo a fronteira do conjunto como referência. A envoltória é a fronteira do conjunto gerado e os pontos observados estão sobre ela ou abaixo dela. É importante destacar que a fronteira é gerada e não estimada como nos métodos paramétricos.

São várias as formulações dos modelos de DEA encontradas na literatura, conforme dizem Charnes et al. (1994). Entretanto, dois modelos básicos DEA são geralmente usados nas aplicações. O primeiro modelo chamado de CCR (CHARNES et al., 1978), também conhecido como CRS (*Constant Returns to Scale*), avalia a eficiência total, identifica as DMU's eficientes e ineficientes e determina a que distância da fronteira de eficiência estão as unidades ineficientes. O segundo, chamado de modelo BCC (BANKER et al., 1984), também conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*), utiliza uma formulação que permite a projeção

de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira (envoltória) determinada pelas DMU's eficientes de tamanho compatível.

Na Figura 2, observa-se a forma genérica dessas duas fronteiras de eficiência (CRS ou CCR e VRS ou BCC). Para dimensionar o grau de eficiência, basta calcular a distância do ponto em que a DMU se encontra até a fronteira de produção. Por exemplo, para calcular a eficiência CRS da DMU E é só dividir a distância $E''E'''$ pela distância $E''E$. Já a ineficiência CRS, se calcula-se dividindo o tamanho dos segmentos $E'''E$ e $E''E$.

Nessa ilustração, a DMU "B" é CRS e VRS eficiente, pois encontra-se em ambas as fronteiras. Já as DMU's "A" e "C" são eficientes apenas de acordo com o modelo VRS (estão apenas na fronteira BCC). No caso da DMU "E", ela seria VRS eficiente se consumisse *inputs* correspondentes ao segmento $E''E'$, e CRS eficiente se consumisse um *input* correspondente ao tamanho do segmento $E''E'''$ (mantida a mesma produção).

Em linhas gerais, a eficiência é calculada pela razão entre a produção observada e a produção potencial máxima (desejável ou realizada por alguma outra unidade), dados os recursos disponíveis. Ou pela razão entre a quantidade mínima necessária de recursos (desejável ou praticada por alguma outra unidade) e a quantidade efetivamente empregada, dada a quantidade de produtos gerados.

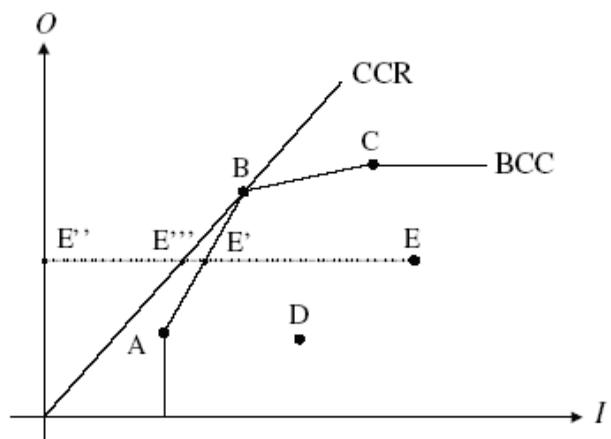


Figura 2 – Fronteira de Eficiência DEA – CRS e VRS
Para Macedo (2005), análises de eficiências

de sistemas produtivos implicam no estudo e no levantamento de fronteiras de produção, que apresentam o conjunto de unidades produtivas que, dado um paradigma tecnológico, obtêm máxima quantidade de produto para um conjunto de insumos e são consideradas eficientes quando comparadas a outras unidades de produção similares. A fronteira obtida simplesmente retrata eficiências comparativas entre as várias unidades produtivas analisadas, não podendo ser encarada como a verdadeira fronteira eficiente para todo o setor estudado. A fronteira poderá se alterar com a introdução e/ou retirada de quaisquer empresas do modelo construído.

A fronteira, destaca esse autor, separa duas regiões: a de inviabilidade tecnológica, já que não seria possível, dadas as restrições tecnológicas do momento, alcançar um nível de produção maior que aquele da fronteira para um dado nível de alocação de fatores de produção e a região de ineficiência, que contém organizações que apresentam um nível de produção menor que aquele da fronteira, para um dado conjunto de fatores de produção. Uma medida de ineficiência pode ser considerada como a distância entre a observação da unidade ineficiente e a fronteira.

Segundo Charnes et al. (1994), para estimar e analisar a eficiência das DMU's, a DEA utiliza a definição de ótimo de Pareto, segundo o qual nenhum produto pode ter sua produção aumentada sem que sejam aumentados os seus insumos ou diminuída a produção de outro produto, ou, de forma alternativa, quando nenhum insumo pode ser diminuído sem ter que diminuir a produção ou aumentar o uso de algum outro insumo.

Para Macedo (2004a), os modelos utilizados, desenvolvidos a partir do DEA, são capazes de conjugar em um único índice vários indicadores de naturezas diferentes para a análise do desempenho organizacional. Pode-se perceber, então, que a modelagem possui as características de trabalhar diversas variáveis sem a necessidade de convertê-las para um padrão comum de unidade e de apoiar o processo decisório com uma técnica de natureza multicritério e, portanto, mais capaz de modelar a complexidade do mundo real.

Gomes & Mangabeira (2004) ressaltam que,

na construção do modelo DEA, deve-se atentar para quais variáveis serão consideradas *inputs* e quais serão *outputs*. Isso porque muitas vezes uma variável representa algo que é produzido, mas cuja quantidade deve ser minimizada (por exemplo, acidentes, poluição etc.). Nesses casos, a variável será, na realidade, tratada como um *input*.

De acordo com Coelli et al. (1998), na formulação original da DEA era proposto um modelo que tinha uma orientação *input* e assumia retornos constantes de escala (CRS – *Constant Returns to Scale*). Um caminho intuitivo para introduzir DEA é por meio de forma de razão, onde para cada DMU, busca-se obter uma medida de razão de todos os *outputs* sobre todos os *inputs*, ou seja, os pesos ótimos u_j e v_i são obtidos pela resolução do seguinte problema de programação matemática (CHARNES et al., 1978):

$$\begin{aligned}
 \text{Max } E_c &= \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jc}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ic}} \\
 \text{S. a.: } &\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, c, \dots, n \\
 &u_j \geq 0, \quad \forall j, \\
 &v_i \geq 0, \quad \forall i
 \end{aligned}$$

Nesse modelo c é a unidade (DMU) que está sendo avaliada. O problema acima envolve a procura de valores para u e v , que são os pesos, de modo que maximize a soma ponderada dos *outputs* (*output* “virtual”) dividida pela soma ponderada dos *inputs* (*input* “virtual”) da DMU em estudo, sujeita à restrição de que esse quociente seja menor ou igual a um, para todas as DMU's. Essa função está sujeita à restrição de que, quando o mesmo conjunto de coeficientes de entrada e saída (os vários v_i e u_j) for aplicado a todas as outras unidades que estão sendo comparadas, nenhuma unidade

excederá 100% de eficiência ou uma razão de 1,00.

De acordo com Macedo (2004b), esse é um problema fracionário (não linear) de programação matemática de difícil solução, mas que pode ser facilmente resolvido transformando a relação em uma função linear, simplesmente considerando o denominador (soma ponderada dos insumos) da função objetivo igual a um. O modelo DEA-CRS pode, então, ser apresentado da seguinte maneira, conforme exposto por Charnes & Cooper (1962):

$$\begin{aligned} \text{Max } E_c &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jc} \\ \text{S.a.: } &\sum_{i=1}^m v_i x_{ic} = 1 \\ &\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, c, \dots, n \\ &u_j, v_i \geq 0, \quad \forall i, j. \end{aligned}$$

Nesse estudo será utilizado esse modelo DEA-CRS, com algumas alterações que serão tratadas a seguir. Essas alterações foram feitas com o intuito de aumentar o poder discriminante da modelagem, em relação à segregação entre DMU's eficientes e não eficientes. Para cada DMU a ser analisada, formula-se um problema de otimização, com o objetivo de determinar os valores que essa DMU atribuiria aos multiplicadores u e v , de modo a aparecer com a maior eficiência possível.

Utiliza-se um modelo que possui orientação insumo, ou seja, as ineficiências encontradas referem-se ao uso excessivo dos insumos, isso é, existe a possibilidade de se produzir a mesma quantidade utilizando-se menos insumos. Essa redução leva em consideração a medida de eficiência e a possibilidade de existência de folga, em algum insumo.

Conforme Macedo (2004b), as DMU's são colocadas frente a duas questões: ter bom desempenho naquilo em que ela é melhor; e também não pode ter um mau desempenho no critério em que for pior. Para isso, é necessário introduzir o conceito de fronteira invertida, que consiste em considerar os *outputs* como *inputs* e os *inputs* como *outputs*. Esse enfoque considera pelo menos duas interpretações. A primeira é que a fronteira

consiste das DMU's com as piores práticas gerenciais (e poderia ser chamada de fronteira ineficiente); a segunda é que essas mesmas DMU's têm as melhores práticas, considerando o ponto de vista oposto.

Uma fronteira invertida pode ser utilizada para distinguir entre as diversas DMU's em que quanto maior o grau de pertinência à fronteira invertida, menor a eficiência da DMU. Para obter um índice único de eficiência, deve-se englobar os dois graus de pertinência e obrigar a que a variação do índice se dê entre 0 e 1. Esse índice é dado pela média entre o índice da fronteira padrão e complemento (em relação a 1) do índice da fronteira invertida, já que esse último representa a ineficiência. Depois disso, esse índice é padronizado dividindo-se cada resultado pelo maior valor encontrado.

O índice proposto para medir a eficiência permite resolver um dos principais problemas em DEA, qual seja, das DMU's poderem ser eficientes atribuindo-se peso nulo a vários vetores de desempenho. Com efeito, para uma DMU possuir alta eficiência, essa deve ter um elevado grau de pertinência em relação à fronteira otimista (padrão) e baixo grau em relação à fronteira pessimista (invertida). Dessa forma, todas as variáveis são levadas em conta no índice final, sem a atribuição de nenhum peso subjetivo a qualquer critério.

3.2 – Aspectos Metodológicos: classificação, amostragem e variáveis do estudo

Esta pesquisa pode ser caracterizada, de acordo com o exposto por Vergara (2004), como sendo descritiva e quantitativa, pois procura-se, através da aplicação de um método não-paramétrico (DEA) às informações dos produtores de leite de cabra, que fazem parte da amostra, expor características a respeito da *performance* desses, no que tange à transformação de insumos em produtos. Portanto, esse estudo não tem como meta a extrapolação dos resultados para outras unidades que não estejam na amostra.

O processo de amostragem é não probabilístico por acessibilidade, pois parte-se de um universo naturalmente restrito, onde foram selecionados produtores a partir da pesquisa do grupo GEROCABRA (Grupo de

Estudos de Produtores de Leite de Cabra formado a partir de professores do curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro), que recolheu informações de custo e produção de agosto/2004 a março/2006, de cerca de quinze produtores de leite de cabra.

Destaca-se então, dos quinze produtores acompanhados, onze caprinocultores que tinham dados mais consistentes de custos e produção, no período de setembro de 2004 a setembro de 2005. O grupo estudado abrange produtores de leite de cabra de Minas Gerais (zona da mata) e Rio de Janeiro (região serrana), que não tinham na caprinocultura sua atividade principal.

Todos os animais eram da raça *Saanen* e eram mantidos em regime de confinamento total. Os produtores vendiam o leite produzido para uma mesma empresa (CCA Laticínios Ltda), que exigia dos mesmos, quinzenalmente, análises de qualidade do leite (contagem bacteriana, gordura, proteína e lactose).

Para obter-se a eficiência de cada DMU (*Decision Making Unit* – Unidade Tomadora de Decisão), utilizou-se um *software* de DEA, apresentado por Meza et al. (2003), denominado SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão), que indica o quanto um produtor é eficiente, no tratamento de seus *inputs* (custos de produção) na geração de seu *output* (volume de leite produzido). Cabe destacar, que a medida de eficiência DEA, nada mais é do que uma medida de produtividade relativa combinada de todos os fatores de produção.

O *software* SIAD gera quatro valores de eficiência: Eficiência Padrão (associa o valor de 100% à DMU mais eficiente), Eficiência Invertida (que destaca as piores DMU's como 100%), Eficiência Composta $\{[eficiência\ padrão + (1 - eficiência\ invertida)]/2\}$ e Eficiência Composta Normalizada (relação entre o valor da eficiência composta de cada unidade e o valor da eficiência composta da unidade mais eficiente naquele mês). Neste estudo, será considerada a Eficiência Composta Normalizada, por ser essa a medida mais robusta de eficiência DEA, conforme já explicado, no item anterior, sobre o uso combinado de fronteiras padrão e invertida.

Esta análise fornece um indicador que varia

de 0 a 1 ou de 0% a 100%, sendo que somente os produtores que obtêm índice de eficiência igual a um é que são efetivamente eficientes, ou seja, fazem parte da fronteira eficiente. Em termos práticos, o modelo procura identificar a eficiência de um produtor comparando-o com os melhores desempenhos mensais observados em seu nível de operação.

Com base nas informações dos produtores sob análise construiu-se o modelo de avaliação de eficiência, para cada mês. Em todas as análises, utilizou-se uma orientação *input* e o modelo DEA-CRS (Retornos Constantes de Escala). A seguir, tem-se a descrição sucinta de cada fator de produção (*input*) e do *output* do sistema produtivo de cada um dos onze produtores selecionados:

- **Custos de medicamento:** representa o *input* (01) e mede total de medicamentos gastos no mês, medido em Reais (R\$).
- **Custos de mão-de-obra:** representa o *input* (02) e mede, em R\$/mês, o gasto com mão-de-obra.
- **Custos de alimentação:** representa o *input* (03) e mede o custo com diversos tipos de alimentação gasto por mês (quantidade x valor unitário), expresso em Reais (R\$).
- **Outros custos:** representa o último *input* (04) e mede custos com manutenção, assistência técnica, luz e telefone, dentre outros de menor relevância, medido em R\$/mês.
- **Volume de leite produzido:** representa o *output* (01) e mede o volume de leite produzido por cada produtor em cada mês de análise. É caracterizado na análise como a saída do sistema produtivo.

Cada um desses indicadores representa um vetor de desempenho, já que é possível hierarquizar cada uma das instituições em relação a cada um desses individualmente. Esses seriam modelos de avaliação de *performance* monocriteriais. Todavia, será apresentada uma metodologia multidimensional, na qual seja possível avaliar o desempenho mensal de cada produtor de modo multicriterial, ou seja, considerando de maneira integrada todos os vetores de desempenho ou fatores de

produção apresentados.

O desempenho médio mensal de cada produtor será comparado por meio de um teste bicaudal de diferença de médias, ao nível de significância de $\alpha = 5\%$. Esse teste procura identificar, par a par, se o comportamento, em termos de desempenho, de uma DMU é superior a de uma outra, através da comparação de suas médias. Como são apenas 13 meses para a comparação dos produtores adotou-se um teste não paramétrico de diferença de médias, que no caso foi o de Mann-Whitney. Segundo Siegel & Castellan Junior (2006), esse teste é uma boa alternativa ao teste paramétrico t , quando se desejam evitar as suposições do mesmo, como a necessidade de distribuição normal (já que têm-se poucos dados).

Numa análise complementar, procura-se verificar os índices ideais para cada produtor não eficiente para que o mesmo possa atingir eficiência de 100%. Ou seja, uma análise que indique a redução de *inputs* necessária para que cada DMU se torne eficiente. A lógica é diminuir os fatores de produção mantendo-se o nível de produção de leite, na tentativa de tornar as DMU's ineficientes em eficientes, usando essas últimas como referência para as primeiras. Para essa análise, utilizaram-se os dados agregados para o período completo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e discussão dos resultados está dividida da seguinte maneira: primeiramente, faz-se uma análise da eficiência de cada produtor mês a mês, destacando-se aqueles eficientes e indicando o comportamento, em termos de desempenho, de cada um deles ao longo do período; num segundo momento, faz-se uma análise da eficiência de cada produtor utilizando os dados consolidados para todo o período, além disso, a partir desses resultados faz-se uma análise dos alvos de *inputs* (insumos), para que os produtores ineficientes se tornem eficientes.

Com base nas informações de eficiência, pode-se verificar, quanto ao desempenho, que os produtores

a seguir foram eficientes (pelo modelo DEA-CRS), em cada mês. Esses produtores foram os que melhor combinaram os *inputs* (menores) e *output* (maior), ou seja, os melhores produtores são aqueles que possuem um desempenho multicriterial superior:

- set/2004: DMU 1;
- out/2004: DMU 9;
- nov/2004: DMU 3;
- dez/2004: DMU 1;
- jan/2005: DMU 9;
- fev/2005: DMU 2;
- mar/2005: DMU 2;
- abr/2005: DMU's 5, 8 e 11;
- mai/2005: DMU 4;
- jun/2005: DMU 6;
- jul/2005: DMU 6;
- ago/2005: DMU 9;
- set/2005: DMU 2.

A listagem anterior destaca o que está apontado no quadro 01, ou seja, os produtores que foram tidos como eficientes em cada mês. Percebe-se que todos os produtores, exceto os de número 7 e 10, foram eficientes em pelo menos um mês. Desses destacam-se os produtores 2 e 9 que foram eficientes em três meses.

O Quadro 1 indica os resultados de eficiência mensal para cada produtor. O mês de abril/2005 apresenta Índice de Eficiência igual a zero para a DMU 9, pois essa declara *output* igual a zero. Esse mês apresenta três DMU's com eficiência igual a 100%, das quais nenhuma aparece em primeiro lugar novamente (pelo contrário, têm desempenho ruim na maioria dos demais meses).

Ser eficiente em algum mês não quer dizer, necessariamente, que essa DMU é significativamente mais eficiente que as outras. Há de se considerar o período como um todo, pois pode acontecer dessa DMU ser eficiente em um mês, e em todos os outros não, ou ter eficiência muito baixa nos outros meses.

A seguir, tem-se uma análise do comportamento de cada DMU ao longo do período analisado:

Quadro 1 – Índices de eficiência mensal para cada produtor

DMU	set/04	out/04	nov/04	dez/04	jan/05	fev/05	mar/05
1	100,00%	55,36%	54,64%	100,00%	85,12%	93,96%	83,20%
2	99,28%	22,73%	73,88%	92,01%	58,39%	100,00%	100,00%
3	95,31%	83,10%	100,00%	82,14%	97,91%	95,10%	79,69%
4	90,36%	41,30%	73,88%	31,90%	32,36%	63,96%	35,18%
5	97,20%	54,04%	70,74%	93,09%	95,77%	78,76%	67,87%
6	99,52%	89,10%	98,67%	53,27%	57,42%	33,67%	97,23%
7	37,70%	25,83%	75,86%	64,90%	34,31%	63,96%	86,34%
8	87,34%	15,20%	95,34%	63,91%	68,08%	91,08%	92,41%
9	58,32%	100,00%	84,14%	64,90%	100,00%	63,96%	67,87%
10	16,18%	8,97%	73,88%	60,07%	63,44%	63,96%	52,04%
11	58,32%	7,06%	47,31%	64,90%	23,93%	35,11%	77,18%
DMU	abr/05	mai/05	jun/05	jul/05	ago/05	set/05	
1	39,18%	59,95%	83,13%	94,58%	99,20%	99,07%	
2	73,46%	40,98%	14,06%	13,87%	95,74%	100,00%	
3	50,00%	56,77%	82,98%	75,24%	80,78%	73,96%	
4	88,01%	100,00%	25,17%	72,64%	93,75%	63,37%	
5	100,00%	23,09%	23,85%	61,28%	56,05%	58,89%	
6	82,28%	97,82%	100,00%	100,00%	89,70%	9,47%	
7	85,61%	89,42%	27,28%	32,73%	46,47%	81,82%	
8	100,00%	24,15%	17,87%	17,28%	11,50%	54,52%	
9	0,00%	86,16%	94,63%	96,53%	100,00%	85,80%	
10	70,64%	29,55%	55,19%	78,03%	65,66%	67,20%	
11	100,00%	18,20%	68,03%	52,13%	93,58%	88,44%	

- DMU 1 – ficou entre as cinco mais eficientes em onze dos treze meses analisados e, no entanto, aparece como primeira apenas em dois meses.
- DMU 2 – aparece entre as cinco mais eficientes seis vezes (dessas, três em primeiro lugar), exatamente o mesmo número de vezes que aparece entre as cinco menos eficientes.
- DMU 3 – aparece oito vezes entre as cinco primeiras DMU's, embora apareça apenas uma vez como a mais eficiente.
- DMU 4 – em seis meses, essa DMU se apresenta-se entre as cinco ineficientes, ficando em sexto lugar por quatro vezes.
- DMU 5 – apresenta-se em sete meses entre as cinco últimas DMU's.
- DMU 6 – aparece entre as cinco primeiras em sete meses dos treze estudados.
- DMU 7 – por seis vezes aparece entre as cinco mais eficientes, embora não tenha ficado como primeira em nenhum dos meses analisados.
- DMU 8 – apresenta-se entre as cinco ineficientes em oito meses.
- DMU 9 – oito vezes entre as cinco mais eficientes, sendo três dessas como a mais eficiente. Por dez meses não investiu (ou não apresentou valores gastos) em medicamentos e em sete não investiu (ou não apresentou valores gastos) em mão-de-obra.
- DMU 10 – ficou entre as cinco mais ineficientes em dez dos treze meses analisados, não aparecendo como primeira em nenhum momento.
- DMU 11 – por nove meses ficou entre as mais ineficientes, sendo quatro desses como última.

Como dito na metodologia, para verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre o desempenho dos produtores, procedeu-se a um teste bicaudal não-paramétrico de diferença de médias entre os índices de eficiência mensais desses ao longo do período sob análise. Esse teste procura identificar par a par se o comportamento, em termos de desempenho, de uma DMU é superior a de uma outra, através da comparação de suas médias ao nível de significância de $\alpha = 5\%$. Os resultados, apresentados no Quadro 2, indicam que apenas as DMU's 1, 3, 6 e 9 é que possuem desempenho superior (estatisticamente significativo) a algum outro produtor, ao longo do período analisado.

Quadro 2 – Resultado da comparação pelo teste de diferença de médias

DMU	Desempenho Médio*
1	80,57 (a)
2	68,03 (a,b)
3	81,00 (a,b,c)
4	62,45 (a,b,c,d)
5	67,74 (a,b,c,d,e)
6	77,55 (a,b,c,d,e,f)
7	57,86 (b,d,e,g)
8	56,82 (a,b,c,d,e,f,g,h)
9	77,10 (a,b,c,d,e,f,h,i)
10	54,22 (b,d,e,g,h,i)
11	56,48 (b,d,e,f,g,h,i,j)

* valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ao nível de 5 %

Pela análise do quadro 02, pode-se perceber que as DMU's 1 e 3 têm desempenhos melhores que as DMU's 7, 10 e 11. Já as DMU's 6 e 9 têm desempenhos superiores às DMU's 7 e 10. Cabe salientar, que ao nível de 10 % de significância, a DMU 1 é melhor que as DMU's 4 e 8, a DMU 3 é melhor que a DMU 4 e as DMU's 6 e 9 são melhores que a DMU 11.

Essas diferenças de desempenho estatisticamente justificadas são atribuídas a uma melhor utilização dos insumos para produção de leite no período sob análise. É fato que nessa comparação estão sendo desconsideradas as consequências de longo prazo pela não utilização

de algum insumo no presente. Isso pode acontecer principalmente em relação ao insumo medicamento que, em virtude de seu caráter também preventivo, uma economia no presente pode levar a maiores ineficiências num futuro mais longínquo.

Numa segunda fase da análise, verifica-se a eficiência de cada DMU no período completo (dados consolidados de set/04 a set/05) e calculam-se os valores ideais de cada *input*, para cada produtor. No Quadro 3, é apresentada a eficiência de cada DMU para todo período (soma dos *outputs* e *inputs* de todos os meses), em ordem decrescente de eficiência, além das informações de *inputs* e *output* consolidadas para o período completo:

O Quadro 3 demonstra que as DMU's 1, 3, 6 e 9 são as mais eficientes, pois aparecem entre as quatro primeiras colocações. Dessas, apenas a DMU 9 é um pequeno produtor em relação à amostra, sendo o segundo menor. Já as DMU's 8, 10 e 11 são as mais ineficientes dentre as DMU's estudadas, pois aparecem por último. Desses nenhum está entre os cinco maiores da amostra, sendo a DMU 8 o menor produtor. A DMU 1 é a única que atingiu eficiência igual a 100 %, ou seja, é aquela que possui melhor desempenho multicriterial e servirá de *benchmark* para as outras DMU's.

O Quadro 4 apresenta, considerando o período completo (set/2004 a set/2005), os valores dos *inputs* ideais. Sendo assim, observa-se, por conseguinte, a necessidade de redução (esforço em prol da melhoria para alcançar a eficiência máxima) de cada *input*, para cada produtor. Os valores foram calculados através do produto da eficiência com os *inputs* (Quadro 3).

Percebe-se, nessa análise, que os produtores com maiores eficiências DEA-CRS, diferentes de 100%, necessitam de pequenas alterações em seus indicadores (insumos) para atingirem a *performance* máxima. Já aqueles com baixos índices de desempenho necessitam de reduções significativas no uso de seus insumos, mantendo o nível de produção para atingirem a eficiência máxima. A necessidade de redução dos *inputs* varia de cerca de 10 a 20% nas melhores DMU's e vai até mais de 40%, no caso dos produtores menos eficientes.

Essa análise, conforme já destacado anteriormente, tem como referência aquilo que é obtido

Quadro 3 – Índices de eficiência geral e informações consolidadas para cada produtor

DMU	Índice de Eficiência	Output 01 (litros)	Input 01	Input 02	Input 03	Input 04
DMU 1	100,00%	56.388	R\$ 319,50	R\$ 11.120,00	R\$ 26.984,10	R\$ 5.744,50
DMU 9	89,47%	15.531	R\$ 19,50	R\$ 1.760,00	R\$ 15.278,60	R\$ 1.375,00
DMU 6	81,37%	87.070	R\$ 1.175,85	R\$ 19.146,30	R\$ 20.397,85	R\$ 7.874,07
DMU 3	77,18%	107.560	R\$ 1.543,40	R\$ 28.640,00	R\$ 17.374,66	R\$ 6.890,00
DMU 5	72,73%	29.877	R\$ 223,50	R\$ 8.390,00	R\$ 15.197,42	R\$ 3.586,10
DMU 7	72,29%	34.207	R\$ 461,30	R\$ 6.270,00	R\$ 23.363,49	R\$ 7.709,47
DMU 2	71,40%	74.701	R\$ 930,10	R\$ 19.540,00	R\$ 30.797,74	R\$ 7.177,90
DMU 4	66,21%	39.238	R\$ 329,00	R\$ 12.600,00	R\$ 18.106,70	R\$ 4.206,00
DMU 8	64,28%	15.103	R\$ 209,70	R\$ 4.112,45	R\$ 20.500,57	R\$ 1.200,00
DMU 10	59,37%	36.029	R\$ 539,06	R\$ 10.638,26	R\$ 11.684,00	R\$ 13.053,64
DMU 11	51,65%	24.526	R\$ 150,00	R\$ 7.300,00	R\$ 23.283,45	R\$ 3.365,00

Quadro 4 – Inputs ideais e necessidade de reduções por produtor

DMU	Inputs Ideais				Necessidade de Reduções
	Input 01	Input 02	Input 03	Input 04	
DMU 1	Unidade CRS Eficiente				Eficiente
DMU 9	R\$ 17,45	R\$ 1.574,61	R\$ 13.669,27	R\$ 1.230,17	10,53%
DMU 6	R\$ 956,74	R\$ 15.578,52	R\$ 16.596,86	R\$ 6.406,79	18,63%
DMU 3	R\$ 1.191,20	R\$ 22.104,47	R\$ 13.409,83	R\$ 5.317,73	22,82%
DMU 5	R\$ 162,56	R\$ 6.102,33	R\$ 11.053,60	R\$ 2.608,29	27,27%
DMU 7	R\$ 333,48	R\$ 4.532,70	R\$ 16.889,91	R\$ 5.573,32	27,71%
DMU 2	R\$ 664,13	R\$ 13.952,33	R\$ 21.990,80	R\$ 5.125,30	28,60%
DMU 4	R\$ 217,82	R\$ 8.342,12	R\$ 11.987,96	R\$ 2.784,68	33,79%
DMU 8	R\$ 134,80	R\$ 2.643,66	R\$ 13.178,65	R\$ 771,41	35,72%
DMU 10	R\$ 320,02	R\$ 6.315,64	R\$ 6.936,46	R\$ 7.749,58	40,63%
DMU 11	R\$ 77,47	R\$ 3.770,21	R\$ 12.025,13	R\$ 1.737,91	48,35%

por alguma DMU, no período sob análise. Porém, não se tem como proposta inferir sobre o futuro dessas unidades, mas tão somente analisar seu desempenho passado. Sendo assim, os resultados dessa análise precisam ser utilizados como parâmetros de decisão para consubstanciar o nível de uso desses insumos nessa atividade.

Foi feita, também, uma análise dos pesos atribuídos aos vetores de desempenho, para saber, com base em pesos iguais a zero, as variáveis que estavam sendo “desprezadas” na análise de desempenho. Em linhas gerais, quando uma variável tem peso (u ou v) igual a zero, isso representa que essas variáveis são naturalmente

problemáticas na obtenção dos índices de eficiência.

Como a modelagem procura os melhores índices de desempenho, dadas as características de *inputs* e *outputs*, para cada DMU, essa atribui zero a toda variável que possa atrapalhar o objetivo de maximizar a eficiência. Tendo essa abordagem como referência, percebeu-se que as variáveis “Outros custos” (*input* 04) e “Custos com medicamentos” (*input* 01) eram as que mais apareciam com pesos zeros. Isso significa que esses fatores de produção podem ser melhorados em todas as propriedades e que esses não estão contribuindo, objetivamente, para a eficiência da grande maioria dos produtores.

5 CONCLUSÃO

Este artigo tem por objetivo mostrar a aplicação do Método Não-Paramétrico – Análise Envoltória de Dados (DEA) – na análise do desempenho de produtores de leite de cabra, na transformação de insumos em produtos. As informações mensais de custos (medicamentos, mão-de-obra, alimentação e outros custos) foram tratadas como variáveis *input*. Já a produção (medida em litros por mês) foi tratada como variável *output*.

Além de mensurar o desempenho, através da modelagem não-paramétrica, observou-se como cada DMU (Unidade Tomadora de Decisão) pode combinar da melhor forma essas variáveis. Ou seja, a análise se tornou uma ferramenta útil para escolha de referências (*benchmarks*) para as unidades menos eficientes.

Através do *software* SIAD, utilizando o modelo DEA-CRS, com orientação insumo, calculou-se a fronteira de unidades produtivas eficientes. Logo, as ineficiências apresentadas dão-se pelo uso excessivo de *inputs*, que poderiam ser diminuídos sem alterar o nível de produção.

Ao analisar-se o período todo destacam-se apenas quatro produtores como as melhores DMU's entre as analisadas e outros três como as piores ou mais ineficientes. Pôde-se verificar que os piores produtores, pela metodologia DEA, são aqueles que necessitam de grandes transformações no que tange aos *inputs*. Já os melhores são aqueles que, para se tornarem eficientes, necessitam tão somente de pequenas alterações no que diz respeito a seus fatores de produção.

Percebe-se que existe uma relação entre eficiência e tamanho, já que entre as quatro mais eficientes apenas uma (DMU 9) representa um pequeno produtor e entre as três menos eficientes não há grandes produtores, além desse grupo contemplar o menor produtor da amostra.

Foi feita, também, uma análise dos pesos atribuídos aos vetores de desempenho. Como a modelagem procura os melhores índices de desempenho, essa atribui zero a toda variável que possa atrapalhar o objetivo de maximizar a eficiência. Assim, percebeu-se que as

variáveis “Outros custos” e “Custos de medicamentos” eram as que mais apareciam com pesos zeros. Isso significa que esses fatores de produção podem ser melhorados em todas as propriedades e que não estão contribuindo para a eficiência da maioria dos produtores.

Baseado nos resultados obtidos no presente trabalho pôde-se concluir que o modelo foi eficiente naquilo a que se propôs. Após a análise dos resultados, foi observado que realmente é possível, através de uma análise comparativa, destacar níveis de eficiência, e a partir dessa tomar decisões de forma mais segura. Assim sendo, a mensuração de desempenho relativo serve como instrumento gerencial que consiste em proporcionar aos produtores mais uma ferramenta que auxilia na condução dos negócios e na realização dos objetivos e no cumprimento das metas da organização.

A elaboração deste trabalho foi apenas uma tentativa no sentido de mostrar a utilização de métodos não-paramétricos, nesse caso a DEA, na avaliação de desempenho de unidades agrárias. Mas ainda há muito a ser estudado. Podem-se recomendar estudos futuros que venham a abranger outros segmentos, outras variáveis e até outras metodologias de análise e avaliação da eficiência dos fatores de produção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.; GOMES, A. P. Medidas de eficiência na produção de leite. **Revista Brasileira de Economia**, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 145-167, 1998.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Providence, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BOWLIN, W. F. Measuring performance: an introduction to data envelopment analysis (DEA). **Journal of Accounting and Public Policy**, v. 18, p. 287-310, 1999.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. Programming with linear fractional functionals. **Naval Research Logistic Quarterly**, v. 9, p. 181-186, 1962.

- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. **Data envelopment analysis: theory, methodology and application**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.
- COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BALTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: KAP, 1998.
- FARE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. A. K. **Production frontiers**. Cambridge: Cambridge University, 1994.
- FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, London, v. 3, p. 253-290, 1957.
- GOMES, A. P.; BAPTISTA, A. J. M. S.; WENDLING, L. L. Fatores discriminantes do desempenho regional da produção de leite. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005. CD-ROM.
- GOMES, A. P.; DIAS, R. S.; FINAMORE, E. B. Eficiência técnica na atividade leiteira: região tradicional e novas fronteiras. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 41., 2003, Juiz de Fora, MG. **Anais...** Juiz de Fora: SOBER, 2003. CD-ROM.
- 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.
- HOMEM DE SOUZA, D. P. **Avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. 2003. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.
- LOVELL, K. C. A.; SCHMIDT, P. A comparison of alternative approaches to the measurement of productive efficiency. In: _____. **Applications of modern production theory**. Boston: Kluwer Academic, 1988. p. 3-32.
- MACEDO, M. A. S. A utilização da análise envoltória de dados (dea) na consolidação de medidas de desempenho organizacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 11., 2004, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro: ABC, 2004a. CD-ROM.
- MACEDO, M. A. S. Indicadores de desempenho: uma contribuição para o monitoramento estratégico através do uso de análise envoltória de dados (DEA). In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 7., 2004, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: FGVSP, 2004b. CD-ROM.
- MACEDO, M. A. S. Eficiência produtiva de unidades agrárias: o uso de análise envoltória de dados na avaliação do desempenho de conversão de insumos em produtos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 5., 2005, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: ABAR, 2005. CD-ROM.
- MACEDO, M. A. S.; STEFFANELLO, M.; OLIVEIRA, C. A. de. Eficiência combinada dos fatores de produção: aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) à produção leiteira. **Custos e @gronegócios Online**, v. 3, n. 2, p. 59-86, 2007.
- MEZA, L. A.; BIONDI NETO, L.; MELLO, J. C. C. B. S. de; GOMES, E. G.; COELHO, P. H. G. SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: uma implementação computacional de modelos de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA, 6., 2003, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CASNAV, 2003. CD-ROM.

- PEREIRA FILHO, C. A. **Eficiência econômica da pequena produção familiar no Recôncavo no Estado da Bahia**: uma análise não-paramétrica de fronteiras de produção multi-produto. 2000. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- PINDYCK, R. S.; RUBINFEL, D. L. **Microeconomia**. 5. ed. São Paulo: PrenticeHall, 2002.
- SANTOS, A.; CASA NOVA, S. P. C. Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 4, n. 1, 2005.
- SHAFIQ, M.; REHMAN, T. The extent of resource use inefficiencies in cotton production in pakistan's punjab: an application of data envelopment analysis. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 22, p. 321-330, 2000.
- SHARMA, K. R.; LEUNG, P. S.; ZALESKI, H. M. Technical, allocative and economic efficiencies in swine production in Hawaii: a comparison of parametric and nonparametric approaches. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 20, p. 23-35, 1999.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JUNIOR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- STURION, L. **Uma avaliação do potencial da análise de envoltória de dados (dea) no diagnóstico da produtividade de unidades de produção agropecuária**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.
- TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 45, n. 2, p. 39-51, 1998.
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.