



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*



MEDIDA DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA DOS CENTROS DE PESQUISA DA EMBRAPA: UMA ABORDAGEM DE PAINEL DINÂMICO PARA AVALIAÇÃO DE COVARIÁVEIS

GERALDO DA SILVA E SOUZA; ELIANE GONÇALVES GOMES; MARÍLIA CASTELO MAGALHÃES; ANTÔNIO FLÁVIO DIAS ÁVILA;

EMBRAPA

BRASÍLIA - DF - BRASIL

gerald.souza@embrapa.br

APRESENTAÇÃO COM PRESENÇA DE DEBATEDOR

CIÊNCIA, INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PESQUISA.

Medida de eficiência econômica dos centros de pesquisa da Embrapa: uma abordagem de painel dinâmico para avaliação de covariáveis

Grupo de Pesquisa: 12. Ciência, Inovação Tecnológica e Pesquisa

1. INTRODUÇÃO

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desde 1996 monitora o processo de produção de seus 37 centros de pesquisa por meio de um modelo de produção com fronteira determinística do tipo DEA (*Data Envelopment Analysis*) que permite calcular a eficiência técnica de produção de cada um dos centros. A esse respeito vejam-se Souza et al. (1997, 1999) e Souza e Ávila (2000).

A eficiência técnica considerada no modelo de produção da Embrapa tem por base uma medida combinada de produto, definida como uma média ponderada de 28 indicadores adimensionais de produções marginais e três componentes de insumo, calculadas a partir de gastos com pessoal, outros custeios e custos de capital. Para essa medida de eficiência é usado um modelo DEA com retornos constantes à escala e orientação a *inputs*.

Propõe-se aqui, como alternativa, o uso de uma medida mais geral de eficiência econômica que supõe uma tecnologia com retornos variáveis e que faz uso do custo total e de um produto multidimensional, caracterizado pela agregação das produções marginais em quatro categorias de produção: produção científica, produção de publicações técnicas, difusão de tecnologia e imagem e desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos.

A categoria de produção científica inclui a publicação de artigos em periódicos com referato, capítulos de livros e de artigos e resumos em *proceedings* de congressos e reuniões técnicas. A categoria de publicações técnicas agrupa as publicações produzidas nos centros de pesquisa, visando principalmente ao negócio agrícola e à produção agropecuária. Típico desta categoria são as instruções e recomendações técnicas que são publicações escritas em linguagem simplificada e dirigidas a extensionistas e fazendeiros. Tais publicações contêm recomendações técnicas com respeito a sistemas de produção agropecuária. Na categoria de desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos, agrupam-se variáveis relacionadas ao esforço feito por uma unidade de pesquisa para tornar sua produção disponível para a sociedade na forma de um produto final, com por exemplo, a produção de novas cultivares e variedades de plantas. Finalmente, a categoria de difusão de tecnologias e imagem inclui variáveis relacionadas ao esforço de uma unidade em tornar seus produtos conhecidos pelo público e ao marketing de sua imagem.

A consideração de um produto múltiplo evita a definição *a priori* de um conjunto de pesos específicos das categorias nas quais as variáveis de produção estão inseridas (como o que é feito no modelo atual da empresa). Essencialmente, neste contexto, deixa-se essa tarefa ao modelo de produção. A hipótese de retornos variáveis à escala impõe, ao processo de cálculo da eficiência econômica de cada centro de pesquisa, a restrição de que este só seja comparado com pares que mostrem aproximadamente a mesma escala de produção.

Como é notório, o modelo DEA BCC é mais benevolente com as DMUs em avaliação (quando comparado ao modelo DEA CCR), o que acarreta, geralmente, em um grande número de empates para as unidades eficientes. Em semelhança a algumas abordagens da literatura (por exemplo, Leta et al., 2005), propõe-se neste artigo o uso de um índice composto que discrimine as DMUs eficientes. Esse índice agrega os resultados de eficiência em relação às fronteiras clássica e invertida, com a diferença de que, neste artigo, os pesos atribuídos às eficiências são aqueles que geram variância mínima para o índice resultante.

De importância na análise de eficiência de produção está a identificação de covariáveis ou variáveis contextuais que causam ou afetam a eficiência econômica. A identificação dessas variáveis tem importância gerencial uma vez que servem ao propósito de identificar as práticas gerenciais que caracterizam processos produtivos eficientes. Neste artigo estaremos interessados nos atributos capacidade de obtenção de recursos externos ao tesouro (receita própria) – RECP, melhoria de processos administrativos – MPROC, intensidade de parcerias – PAR, racionalização de custos – CUSTOS, tipo (centros de pesquisa de produtos, de temas básicos e de pesquisa agroflorestal ou agropecuária nas ecorregiões brasileiras) e tamanho de um centro (pequeno, médio e grande). Esses atributos estão disponíveis como parte do processo de avaliação gerencial utilizado na Embrapa (Ávila, 2002). Particularmente, o interesse está no efeito induzido pela intensidade de parcerias, já que uma das críticas que se faz ao uso das medidas de eficiência econômica no processo de avaliação e premiação da Embrapa é que estas geram um processo competitivo que acaba por prejudicar a integração e a colaboração mútua entre os centros de pesquisa da Embrapa.

Neste artigo analisa-se a evolução das medidas de eficiência econômica dos centros de pesquisa da Embrapa sob a ótica de dados de painel dinâmico (Greene, 2002). Os dados de eficiência são modelados como função linear das variáveis contextuais de interesse e do valor defasado da eficiência. Neste processo permite-se correlação serial não estruturada entre medidas observadas em tempos distintos e correlação entre os centros de pesquisa em um mesmo ponto do tempo. A abordagem utilizada aqui é original no contexto dos

modelos DEA em dois estágios uma vez que leva em consideração a correlação, entre as unidades, induzida pelo método de cálculo envolvido no processo de avaliação associado ao cálculo da medida DEA de eficiência econômica.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

DEA tem como objetivo calcular a eficiência de unidades produtivas, chamadas de unidades de tomada de decisão ou DMUs (*Decision Making Units*), conhecendo-se os níveis de recursos utilizados e de resultados obtidos. DEA otimiza cada observação individual, de modo a estimar uma fronteira eficiente (linear por partes), composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação (unidades Pareto-Koopmans eficientes). Essas unidades servem como referência ou *benchmark* para as unidades ineficientes.

A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de produtos pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los. Os pesos usados nas ponderações são obtidos de problemas de programação linear (PPLs), que atribuem a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. A vantagem de DEA frente a outros modelos de produção é a capacidade de incorporar múltiplos *inputs* (entradas, recursos, insumos ou fatores de produção) e múltiplos *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo de uma medida de eficiência única, com ou sem a incorporação de julgamentos subjetivos por parte dos decisores.

Há dois modelos DEA clássicos. O modelo CCR (também conhecido por CRS ou *constant returns to scale*) trabalha com retornos constantes à escala (Charnes et al., 1978) e assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O modelo BCC ou VRS (*variable returns to scale*), devido a Banker et al. (1984), considera retornos variáveis à escala, ou seja, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade. Tradicionalmente são possíveis duas orientações radiais para esses modelos na busca da fronteira de eficiência: orientação a *inputs*, quando deseja-se minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar as quantidades produzidas, sem mexer nas quantidades dos recursos usados.

Existem duas formulações equivalentes para DEA (PPLs duais). De forma simplificada, pode-se dizer que a formulação do Envelope define uma região viável de produção e trabalha com uma projeção de cada DMU na fronteira dessa região; as DMUs ineficientes localizam-se abaixo da fronteira de eficiência e as eficientes na fronteira. Já a formulação dos Multiplicadores trabalha com a razão de somas ponderadas de produtos e recursos, com a ponderação escolhida de forma mais favorável a cada DMU, respeitando-se determinadas condições.

Em (1) e em (2) apresentam-se, respectivamente, o modelo DEA BCC dos Multiplicadores e do Envelope, com orientação a *inputs*. Considera-se que cada DMU k , $k = 1 \dots n$, é uma unidade de produção que utiliza r *inputs* w_{ik} , $i = 1 \dots r$, para produzir s *outputs* y_{jk} , $j = 1 \dots s$; w_{io} e y_{jo} são os *inputs* e *outputs* da DMU o . Em (1), v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente, e u_* é um fator de escala (quando positivo, indica que a DMU está em região de retornos decrescentes de escala; se negativo, os retornos de escala são crescentes). Em (2), θ_o é a eficiência da DMU o em análise e λ_k representa a contribuição da DMU k na formação do alvo da DMU o .

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} - u_* \\
 & \text{sujeito a} \\
 & \sum_{i=1}^r v_i w_{io} = 1 \\
 & - \sum_{i=1}^r v_i w_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - u_* \leq 0, \forall k \\
 & u_j, v_i \geq 0, \forall j, i \\
 & u_* \in \mathfrak{R}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta_o \\
 & \text{sujeito a} \\
 & \theta_o w_{io} - \sum_{k=1}^n w_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \\
 & - y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \\
 & \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \\
 & \lambda_k \geq 0, \forall k
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

De forma não matemática, no modelo BCC uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os recursos de que dispõe (relação *outputs/inputs*). Para o caso em análise, de avaliação da eficiência econômica dos centros de pesquisa da Embrapa, considere-se um processo produtivo em que há n observações de produção (c_k, y_k) das unidades $k = 1, \dots, n$, onde y_k é um vetor de produtos (*outputs*) s -dimensional e c_k é o custo incorrido por k para produzir y_k . Seguindo Banker e Natarajan (2004), toma-se como medida de eficiência econômica da unidade o a quantidade apresentada em (3), na qual na instância particular de interesse neste artigo $n = 37$ (número de centros de pesquisa da Embrapa) e $s = 4$ (número de variáveis de produto consideradas).

$$\hat{\theta}_o = \arg \max \left\{ \theta, \sum_{k=1}^n y_k \lambda_k \geq y_o, \sum_{k=1}^n c_k \lambda_k \leq \theta c_o, \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, k = 1, \dots, n \right\}
 \tag{3}$$

Se $\hat{\theta}_{kt}$ representa a eficiência econômica do centro de pesquisa k no tempo t ($t = 2001, 2002, 2003$), postula-se a expressão (4), na qual β_v e γ são parâmetros desconhecidos e x_{lt} representa a observação no tempo t da variável contextual x_l .

$$\log(\hat{\theta}_{kt}) = \beta_0 + \sum_{l=1}^8 \beta_l x_{lkt} + \gamma \log(\hat{\theta}_{kt-1}) + \varepsilon_{kt}, \quad k = 1, \dots, 37, \quad t = 2001, 2002, 2003
 \tag{4}$$

Para $l=1,\dots,4$ tem-se, respectivamente, RECP, PAR, CUSTOS e MPROC. Três tipos de unidades são considerados no sistema Embrapa de produção, a saber, centros de pesquisa do tipo produto, do tipo temático e do tipo ecorregional. Duas variáveis indicadoras são utilizadas para representar os tipos de centro no modelo. Estas são definidas pelos centros temáticos e de produto e correspondem a $l=5$ e $l=6$, respectivamente. Os centros de pesquisa também são classificados, pelo tamanho, em pequenos, médios e grandes. As variáveis indicadoras de centros médios e grandes são dadas por x_7 e x_8 , respectivamente.

Os erros aleatórios ε_{kt} apresentam estrutura de correlação serial e contemporânea. Se $\eta_t = (\varepsilon_{1t}, \dots, \varepsilon_{37t})$ representa o vetor residual do período t , supõe-se que $\text{Var}(\eta_t) = \sigma_{\eta}((1-\rho)I + \rho J)$, $|\rho| < 1$, onde I representa a matriz identidade de ordem 37 e J é uma matriz de ordem 37 formada de uns. O parâmetro $\rho > -1/(n-1)$ é o coeficiente de correlação entre os centros de pesquisa, considerado constante no tempo. Ainda, $\text{Cov}(\eta_t, \eta_b) = \sigma_{\eta} J$, $t \neq b$.

A imposição da estrutura residual de variância no modelo linear proposto implica em restrições paramétricas não-lineares que tornam o mesmo não-linear. Neste contexto, e dada a presença do valor defasado da variável dependente como variável exógena, optou-se pela técnica de estimação de variáveis instrumentais e pelo método de mínimos quadrados não lineares em três estágios (Gallant, 1987). Como instrumentos, fez-se uso das variáveis contextuais.

3. MODELAGEM E RESULTADOS

O modelo atual de avaliação de eficiência usado pela Embrapa é um modelo DEA CCR, orientado a *inputs*, com 3 *inputs* (custos de pessoal, custeio e depreciação) e um *output* (índice de produção ponderado, com pesos definidos em reuniões gerenciais). Os 37 centros são agrupados em três grupos, de acordo com suas estruturas de custos (o que justifica o uso do modelo CCR).

Em oposição a este modelo, neste artigo é usado um modelo DEA BCC, orientado a *inputs*, com 1 *input* (custo total, ou seja, soma dos três tipos de custo) e 4 *outputs* (classes de produção, a saber, produção técnico-científica; produção de publicações técnicas; difusão de tecnologia e imagem; desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos). Ainda, os 37 centros de pesquisa, de tipos e tamanhos diferentes, são avaliados em um único grupo (o que justifica o uso do modelo BCC). A Tabela 1 traz os resultados de eficiência econômica do modelo BCC, para os três anos em análise.

Como pode ser visto na Tabela 1, devido à estrutura do modelo BCC, há um grande número de unidades eficientes (cerca de 26% das unidades). Isto pode ser visto de duas maneiras: uma positiva, já que, em tese, indica que há uma grande quantidade de unidades que, na escala em que operam, utilizam de maneira adequada seus recursos na obtenção de seus resultados científicos; uma negativa, já que não é possível ao tomador de decisão diferenciar entre as unidades eficientes.

Tabela 1: Eficiência econômica, segundo o modelo DEA BCC (1 *input* e 4 *outputs*).

DMU	2001	2002	2003	DMU	2001	2002	2003
DMU_1	1,0000	1,0000	1,0000	DMU_20	0,4720	0,4825	0,7701
DMU_2	1,0000	0,7666	1,0000	DMU_21	0,4006	0,2900	0,7504
DMU_3	0,8378	0,5767	0,9103	DMU_22	0,3778	0,6928	0,6733

DMU_4	0,8328	0,6797	0,4806	DMU_23	0,5049	0,4591	0,4072
DMU_5	0,8426	0,5300	0,4753	DMU_24	0,5360	0,3951	0,4820
DMU_6	0,4033	0,5761	0,4749	DMU_25	0,8143	0,6092	0,8868
DMU_7	1,0000	1,0000	1,0000	DMU_26	0,7481	0,6974	1,0000
DMU_8	0,5717	0,7757	0,7486	DMU_27	0,6493	0,5931	0,6391
DMU_9	1,0000	0,5616	0,4236	DMU_28	0,4720	0,4230	0,4263
DMU_10	0,8120	1,0000	1,0000	DMU_29	0,8171	0,6872	0,5900
DMU_11	0,6410	0,4936	0,5299	DMU_30	0,3916	0,6459	0,7384
DMU_12	1,0000	0,5624	1,0000	DMU_31	0,5053	0,5716	0,4924
DMU_13	0,7312	1,0000	1,0000	DMU_32	1,0000	0,5777	0,3710
DMU_14	1,0000	0,6104	0,5608	DMU_33	0,4488	0,3694	0,3572
DMU_15	0,8504	0,3764	0,7813	DMU_34	0,9389	1,0000	1,0000
DMU_16	0,7196	0,4364	0,6901	DMU_35	0,7208	0,6040	0,7601
DMU_17	0,8478	1,0000	1,0000	DMU_36	0,5679	0,6069	0,6817
DMU_18	1,0000	0,6681	0,6271	DMU_37	1,0000	1,0000	1,0000
DMU_19	1,0000	1,0000	1,0000				

Conforme destacado por Ali (1993), o modelo BCC considera como eficientes as DMUs com maior valor em cada *output* (independente do valor dos *inputs*) e com menor valor em cada *input* (independente do valor dos *outputs*), já que as unidades nestas condições não têm outras unidades às quais serem comparadas. As DMUs nessa situação podem não ser verdadeiramente eficientes, sendo importante conduzir uma análise individual. O autor ainda destaca que a unidade que satisfaz à relação apresentada em (5) é eficiente, independente do modelo adotado. A Tabela 2 mostra as unidades que apresentam maior valor de um dos *outputs*, o menor valor do *input* e a melhor relação soma dos *outputs*/soma dos *inputs*.

$$\sum_{j=1}^s y_{jo} / \sum_{i=1}^r w_{io} = \max_{k=1, \dots, n} \sum_{j=1}^s y_{jk} / \sum_{i=1}^r w_{ik} \quad (5)$$

Tabela 2: Unidades para teste segundo critérios de Ali (1993).

Critério	2001	2002	2003
Menor valor do <i>input</i>	DMU_37	DMU_37	DMU_37
Maior valor do <i>output</i> 1	DMU_32	DMU_13	DMU_1
Maior valor do <i>output</i> 2	DMU_1	DMU_13	DMU_13
Maior valor do <i>output</i> 3	DMU_1	DMU_10	DMU_17
Maior valor do <i>output</i> 4	DMU_19	DMU_19	DMU_19
Satisfazer relação (5)	DMU_19	DMU_19	DMU_19

A DMU_37 (centro do tipo temático e o menor centro de pesquisa da Embrapa) apresenta o menor valor do *input* custo total em todos os anos avaliados. Entretanto, só pode ser considerada como verdadeiramente eficiente em 2002, já que também é eficiente segundo o modelo CCR.

No critério “maior valor do *output* 1”, as unidades DMU_32 (centro ecorregional e grande) e DMU_1 (centro temático e grande) são falsamente eficientes. Para o *output* 2, DMU_13 (centro de produto) é verdadeiramente eficiente em 2002 e 2003, e a DMU_1 é falsamente eficiente.

Nenhuma das unidades é verdadeiramente eficiente (um centro temático e dois centros de produto) no critério que avalia o maior valor no *output* 3, já que não o são no modelo CCR

e ao ser retirado da avaliação o *output* em questão, apresentam ineficiência no modelo BCC. Destaca-se que a DMU_1, mesmo com a retirada do *output* 3 mostra-se como eficiente, já que tem os maiores valores para os *outputs* 1 e 2. Ao ser considerado o modelo com 1 *input* e 1 único *output* (*output* 4), essa DMU aparece com índice de eficiência baixo (15ª colocação).

DMU_19 (centro de pesquisa temático e de tamanho pequeno) que apresenta o maior valor para o *output* 4, é verdadeiramente eficiente em todos os anos, já que mesmo sem considerar o *output* 4 é eficiente e, além disso, apresenta a melhor relação “soma dos *outputs*/soma dos *inputs*” em todos os períodos.

Na literatura são encontrados modelos DEA mais avançados e que permitem melhor discriminar as unidades 100% eficientes. Em Angulo Meza e Lins (2002) é apresentada uma revisão dos modelos para aumento da discriminação em DEA (e conseqüente melhoria de ordenação), os quais, segundo os autores, podem ser divididos em dois grandes grupos: modelos que incorporam a informação a priori do decisor (por exemplo, modelos DEA com restrições aos pesos e modelos do tipo *Value Efficiency Analysis*), e modelos que não usam aquela informação para seus cálculos (modelos de supereficiência, avaliação cruzada e DEA-multiobjetivo). Leta et al. (2005) propõem o uso da fronteira invertida como uma outra abordagem para desempatar unidades eficientes.

A fronteira invertida, proposta por Yamada et al. (1994) e Entani et al. (2002), mostra uma avaliação pessimista das DMUs. Consiste em considerar *inputs* como *outputs* e vice-versa, e pode ter duas interpretações: consiste das DMUs com as piores práticas gerenciais (e poderia ser chamada de fronteira ineficiente), ou essas mesmas DMUs têm as melhores práticas segundo um ponto de vista oposto (por exemplo, o preço de um determinado produto para o comprador é *input*, já que quer o menor possível, e para o vendedor é *output*, já que deseja o maior possível, de modo a ter maior retorno). A segunda interpretação é usada por Lins et al. (2005) para avaliação imobiliária.

Em Leta et al. (2005), a primeira interpretação conduziu à proposição de um índice que agrega as duas eficiências (em relação às fronteiras clássica e invertida), chamado de índice composto. Segundo essa abordagem, uma DMU é considerada realmente a melhor se não tem somente bom desempenho nas variáveis em que é melhor (eficiência clássica); igualmente, não deve ter mau desempenho no critério em que é pior (eficiência em relação à fronteira invertida). Esse índice composto é calculado pela média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira original e a ineficiência (1 menos eficiência) em relação à fronteira invertida.

Pimenta e Soares de Mello (2005) propõem o modelo denominado DEA-Savage para o cálculo do índice composto. Os pesos atribuídos às eficiências em relação às fronteiras original e invertida são diferentes e baseiam-se na variação de um coeficiente de otimismo (aplicado à eficiência clássica), o que permite uma análise de sensibilidade da eficiência das DMUs.

Neste artigo propõe-se, para melhor discriminar as DMUs eficientes, também o uso dos resultados de eficiência considerando as duas fronteiras, agregados em um índice único. Os pesos atribuídos a cada medida de eficiência nesta agregação são obtidos de modo a gerar variância mínima para o índice resultante. Diferentemente do modelo DEA-Savage que usa os conceitos de otimismo e pessimismo na atribuição dos pesos às medidas de eficiência, a abordagem aqui proposta, ao considerar a variância mínima entre as medidas de eficiência, impõe que o índice gerado representa a minimização das diferenças entre as DMUs.

Esse índice composto é aqui chamado de Índice Heurístico de Eficiência (*IHEf*), já que não é um índice de eficiência no sentido estrito do termo; é um índice ponderado bicritério, resultante da agregação de duas medidas de eficiência. O *IHEf* pode ser calculado segundo

a expressão (6), na qual Ef_o e Ef_i são, respectivamente, as eficiências segundo as fronteiras original e invertida; $Var(Ef_o)$ e $Var(Ef_i)$ são as variâncias de Ef_o e Ef_i , respectivamente; $Cov(Ef_oEf_i)$ é a covariância entre Ef_o e Ef_i . O peso a é dado pela expressão (7).

$$IHEf = aEf_o + (1 - a)(1 - Ef_i) \quad (6)$$

$$a = \frac{Var(Ef_o) + Cov(Ef_oEf_i)}{Var(Ef_o) + Var(Ef_i) + 2Cov(Ef_oEf_i)} \quad (7)$$

Em (7), pelo fato de $Cov(Ef_oEf_i)$ ser um valor negativo, o peso a pode assumir valores negativos, o que descaracterizaria a combinação convexa de Ef_o e Ef_i . Espera-se que o valor de a seja positivo, já que os desvios-padrão de Ef_o e Ef_i têm magnitude semelhante. Entretanto, caso a seja negativo, deve-se recorrer a um modelo de programação não linear, no qual o objetivo seja minimizar a variância (função quadrática) sujeito à restrição de que $0 \leq a \leq 1$.

A Tabela 3 mostra os resultados do $IHEf$ para os três períodos de tempo em análise. Os valores de a obtidos pela expressão (7) são, respectivamente para 2001, 2002 e 2003, iguais a 0,648, 0,523 e 0,389. Verifica-se que estes resultados são mais discriminatórios que aqueles da Tabela 1 e tornam-se mais úteis caso seja de interesse da administração central gerar uma hierarquia das unidades em avaliação.

Tabela 3: Resultados do índice heurístico de eficiência (IHEf).

DMU	2001	2002	2003	DMU	2001	2002	2003
DMU_1	0,9241	0,8295	0,7231	DMU_20	0,3444	0,5562	0,6424
DMU_2	0,9886	0,8211	0,8988	DMU_21	0,2923	0,1869	0,3861
DMU_3	0,9078	0,3718	0,8582	DMU_22	0,3313	0,5122	0,5536
DMU_4	0,7984	0,6906	0,4748	DMU_23	0,4232	0,4277	0,3103
DMU_5	0,7922	0,4600	0,2446	DMU_24	0,4706	0,2547	0,2480
DMU_6	0,2943	0,3713	0,2444	DMU_25	0,5941	0,3927	0,4563
DMU_7	0,9866	0,8842	0,8894	DMU_26	0,5458	0,8017	0,7144
DMU_8	0,5754	0,8082	0,6316	DMU_27	0,5199	0,5211	0,3288
DMU_9	0,7562	0,5103	0,2180	DMU_28	0,4343	0,3840	0,3064
DMU_10	0,7082	0,9814	0,9860	DMU_29	0,8051	0,6141	0,3036
DMU_11	0,6451	0,3761	0,5466	DMU_30	0,2857	0,7263	0,6958
DMU_12	1,0000	0,5449	1,0000	DMU_31	0,3719	0,6116	0,3063
DMU_13	0,6886	0,9870	0,9885	DMU_32	0,7296	0,3724	0,1909
DMU_14	0,8253	0,5936	0,4914	DMU_33	0,3274	0,2382	0,1838
DMU_15	0,8023	0,2426	0,5550	DMU_34	0,9159	1,0000	0,9800
DMU_16	0,7629	0,3576	0,6294	DMU_35	0,5259	0,3894	0,3911
DMU_17	0,6186	0,7208	0,7007	DMU_36	0,6357	0,4811	0,4065
DMU_18	0,9920	0,7289	0,5257	DMU_37	0,7972	0,6446	0,5146
DMU_19	0,9098	0,9462	0,6594				

Em continuidade à análise de eficiência da produção dos centros de pesquisa da Embrapa, foram identificadas as covariáveis (ou variáveis contextuais) que causam ou afetam a eficiência econômica (eficiência calculada segundo o modelo DEA BCC clássico,

orientado a *inputs*, de 4 *outputs* e 1 *input*). A Tabela 4 apresenta o resultado obtidos com mínimos quadrados não lineares em três estágios, com uso do Proc Model do SAS (SAS, 1999). Note-se que, preliminarmente, procurou-se evidência contra a hipótese de constância do vetor paramétrico β no tempo. Os testes empregados não foram indicativos de desvios significativos desta hipótese.

Tabela 4: Estimativa dos parâmetros para mínimos quadrados não lineares em três estágios.

Parâmetro	Estimativa	Desvio Padrão	p-valor
ρ	-0,001	0,001	0,222
β_0	0,632	0,131	<0,001
β_1	-0,165	0,104	0,122
β_2	-0,044	0,022	0,055
β_3	-0,168	0,146	0,259
β_4	-0,141	0,082	0,096
β_5	-0,241	0,076	0,004
β_6	-0,176	0,066	0,011
β_7	0,130	0,056	0,027
β_8	0,048	0,064	0,459
γ	0,425	0,134	0,003

As variáveis contextuais RECP, PAR, CUSTOS e MPROC são conjuntamente significantes (estatística de Wald da hipótese associada tem p-valor de 0,020). O sinal negativo dos coeficientes respectivos é indicativo de que acarretam eficiência econômica. As variáveis mais importantes no conjunto são melhoria de processos administrativos e intensidade de parcerias. Deste modo vê-se que os centros de pesquisa com parcerias mais intensas estão associados a um maior nível de eficiência.

Os centros temáticos e de produto são mais eficientes que os centros ecorregionais, e os centros de tamanho médio são dominados pelos grandes e pequenos. O efeito global de tamanho é marginal.

Como medida de bondade de ajuste foram consideradas três medidas de R^2 , uma para cada regressão no tempo (2001, 2002 e 2003). Estas são dadas pelos quadrados das correlações entre valores observados e preditos pelo modelo. Os valores obtidos foram, respectivamente, 0,449, 0,419 e 0,500.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo propôs-se uma nova medida de eficiência de produção para avaliar o sistema de produção definido pelas unidades de pesquisa da Embrapa. A medida considera produtos múltiplos e agrega custos. Para desempatar as unidades eficientes foi usado o conceito de fronteira invertida, cujo índice de eficiência é agregado ao resultado da fronteira original por pesos que minimizam a variância do índice agregado.

No período 2001-2003 investigou-se a influência de variáveis contextuais de interesse administrativo na medida de eficiência, por meio de um modelo de dados de painel dinâmico que postula correlação contemporânea e serial. Conclui-se que a capacidade de geração de receita própria, intensidade de parcerias, melhoria de processos administrativos e racionalização de custos são covariáveis que acarretam eficiência. Tipo e tamanho do

centro também influenciam. Os centros temáticos e de produto têm níveis dominantes de eficiência econômica e os centros de tamanho médio são dominados por grandes e pequenos.

Nesse contexto, destaca-se o efeito que a variável intensidade de parcerias tem sobre a eficiência econômica. Em oposição às críticas de que no processo de avaliação e premiação da Embrapa as medidas de eficiência econômica geram uma situação que interfere na integração e na colaboração entre os centros de pesquisa, mostrou-se que o bom desempenho na variável intensidade de parcerias implica em maior índice de eficiência econômica.

O modelo usado é característico dos modelos DEA clássicos, quais sejam, geram um índice de eficiência objetivo. Desenvolvimentos já estão sendo conduzidos no sentido de incorporar preferências gerenciais no modelo, por meio de restrições aos pesos dos multiplicadores das variáveis de produção.

5. REFERÊNCIAS

- ALI, A.I. Streamlined computation for Data Envelopment Analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 64, p. 61-67, 1993.
- ANGULO MEZA, L.; LINS, M.P.E. A review of methods for increasing discrimination in Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research**, v. 116, p. 225-242, 2002.
- ÁVILA, A.F.D. **Avaliação de desempenho das unidades da Embrapa: metodologia para 2002**. Embrapa-Secretaria de Administração Estratégica, Brasília, Agosto, 2002.
- 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.
- BANKER, R.D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency scores. In: Cooper, WW; Seiford, L.M., Zhu, J. (eds.) **Handbook on Data Envelopment Analysis**, Kluwer International Series, New York, 2004.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 32-45, 2002.
- GALLANT, A.R. **Nonlinear Statistical Models**, Wiley, New York, 1987.
- GREENE, W.H. **Econometric Analysis**, 5ed., Prentice Hall, New York, 2002.
- LETA, F.R.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; ANGULO MEZA, L. Métodos de Melhora de Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos. **Investigação Operacional**, v. 25, n.2, 2005.
- LINS, M.P.E.; NOVAES, L.F.L.; LEGEY, L.F.L. Real estate value assessment: a double perspective data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, v. 138, n. 1, p. 79-96, 2005.
- PIMENTA, H.L.N.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Modelo DEA-SAVAGE para análise de eficiência do parque de refino brasileiro. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 5, n. 5, 2005. Disponível em: <http://www.producao.uff.br/rpep/revista-V5-2005.htm>. Acesso em: 04 maio 2005.
- SAS. **SAS OnlineDoc® Version 8** - SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, North Carolina, 1999.
- SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D. Technical efficiency in agricultural research. **Scientometrics**, v. 46, p. 141-160, 1999.



SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D.; CRUZ, E.R. Produtividade e eficiência relativa de produção em sistemas de produção de pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, v. 51, n. 3, p. 281-307, 1997.

SOUZA, G.S.; ÁVILA, A.F.D. A psicometria linear da escalagem ordinal: uma aplicação na caracterização da importância relativa de atividades de produção em ciência e tecnologia. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 3, p. 11-27, 2000.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.