

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

04/02/98 10:12:00

11/11/98 14:00:00

11/11/98

11/11/98

11/11/98

CLÁUDIA DE MORI

**MENSURAÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO DE UNIDADES
DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA CONSIDERANDO ASPECTOS
AGROECONÔMICOS E AGROENERGÉTICOS**



0.296.658-9

UFSC-BU



Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia .

Florianópolis
Setembro - 1998

CLÁUDIA DE MORI

**MENSURAÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO DE UNIDADES DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA CONSIDERANDO ASPECTOS
AGROECONÔMICOS E AGROENERGÉTICOS**

Esta Dissertação foi julgada aprovada para obtenção do Título de **MESTRE** em **ENGENHARIA**, Especialidade em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, 21 de setembro de 1998.

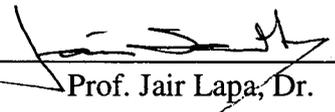


Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD.
Coordenador

Banca Examinadora:



Prof. Edgar A. Lanzer, Ph.D.
Orientador



Prof. Jair Lapa, Dr.

Sadi Grimm, Dr.

o

Descobri com os anos (mais nestes últimos que em qualquer outros)

Que a vida e a matemática são pares, melhor,

a matemática está em tudo. Veja só:

- Nossa vida é uma Σ de bons e maus momentos;

- Vivemos \div e tentando $$ o nosso tempo;*

- Todo mundo vive em f de alguma coisa;

- Todos \subset em uma família;

- Para cada pessoa \exists uma cara metade;

- Cada pessoa \supset dentro de si um {universo} / ninguém é $>$ ou $<$ que ninguém: é único;

- Nossas vidas são marcadas por incertezas, mas sempre há a probabilidade de alguma coisa ser certa;

*- Nossas crises existenciais vem de momentos que não sabemos se dividimos (\div),
multiplicamos ($*$), adicionamos ($+$) ou subtraímos ($-$).*

*Na verdade, a matemática é um instrumento, e serve aos homens para somar, subtrair,
multiplicar ou dividir, dependendo dos seus valores, interesses e ética.*

Agradecimentos

Ao Professor Edgar Augusto Lanzer pela oportunidade e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas/UFSC que me acolheu como aluna de mestrado, propiciando a aquisição de novos conhecimentos e o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À EPAGRI/SC, em especial a Pedro Susky e Daltro Soldateli, pela disponibilização dos dados.

Ao Prof. Jair Lapa e a Sadi Grimm pelas contribuições ao trabalho.

Aos colegas de pós-graduação pelo convívio, auxílio e contribuições ao longo destes momentos e no desenvolvimento do trabalho.

Aos mestres, Cavalet, Uberti e Feijão, pelo estímulo.

Aos amigos pelos assíduo incentivo.

À minha família pelo amor e apoio incondicionais em todos os momentos de minha vida, em especial, a Luci pelas pitangas divididas.

À Deus, pelo dom maior, a vida, e por me presentear com esta oportunidade.

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação do tema.....	1
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo Geral.....	9
1.2.2 Objetivos Específicos.....	9
1.3 Relevância do Estudo.....	10
1.4 Organização do trabalho.....	14
II – MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1 Base de Dados.....	15
2.2 Metodologia.....	18
2.2.1 Conversão Energética.....	19
2.2.2 Construção dos Sistemas de Mensuração de eficiência.....	21
2.2.2.1 Índice de Produtividade Parcial.....	22
2.2.2.2 Análise Envoltório de Dados (DEA).....	23
III – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
3.1 Dados Energéticos e Análise Descritiva dos Dados.....	29
3.2 Análises das Lógicas de Abordagem e das Formas de Mensuração.....	30
3.3 Informações Gerenciais.....	38
IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	44
ANEXOS.....	48
Anexo A - Análise Envoltório de Dados - DEA.....	49
Anexo B – Escores de Eficiência Relativa DEA (PPL).....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

Lista de Ilustrações

Tabela 01 - Dados relativos a fatores de produção.....	16
Tabela 02 - Dados agroeconômicos.....	17
Tabela 03 - Taxas de conversão energética.....	20
Tabela 04 - Dados agroenergéticos.....	29
Tabela 05 - Análise estatística dos dados.....	30
Tabela 06 - Escore de produtividade parcial e de eficiência relativos das análises agroenergética, agroeconômica e global	31
Tabela 07 - Unidades eficientes relativas	34
Tabela 08 - Hierarquização das unidades segundo o sistema de mensuração.....	35
Tabela 09 – Relações parciais fator-fator e Índice de diversificação das DMUs.....	38
Tabela 10 - Indicadores de referência administrativa (Análise de mensuração parcial).....	39
Tabela 11 - Grupo de referência e facetas ocorridas (DEA – Global).....	39
Tabela 12 – Escores e taxas de eficiência e folgas/excessos de produtos e insumos (DEA-Global).....	40
Tabela 13 - Cálculo das quantidades de produtos e insumos eficientes para a DMU 07.....	41
Tabela 14 - Combinações eficientes de produtos e insumos para as unidades ineficientes segundo DEA-Global.....	41

Tabela 15 - Comparação entre os valores reais e os valores ótimos, segundo a análise DEA Global do grupo analisado.....	42
Figura 01 - Sistemas de mensuração de eficiência utilizados.....	21
Gráfico 01 - Classificação das unidades segundo análise agroenergética.....	32
Gráfico 02 - Classificação das unidades segundo análise agroeconômica.....	33
Gráfico 03 - Classificação das unidades segundo análise agroeconômica parcial e DEA - Global.....	34
Gráfico 04 - Intensidade de expl. agroeconômica (US\$/ha) x Intensidade de expl. agroenergética (kcal/ha).....	36
Gráfico 05 - Eficiências relativas agroeconômica x agroenergética (DEA).....	37
Gráfico 06 - Matriz Eficiência relativa (DEA-Global) x Produtividade física do arroz (kg/ha).....	42

Resumo

Através da análise de seu desempenho, as unidades de produção podem mensurar sua capacidade de sobrevivência e de manutenção frente às exigências do ambiente em que estão situadas. A mensuração da eficiência produtiva fornece componentes suportes para a gestão de recursos e do processo produtivo, compreensão do processo de tomada de decisão técnica e econômica e identificação de estratégias ou práticas melhor adaptadas (benchmark ou benchlearn).

O presente estudo fixa-se na análise da eficiência de unidades de exploração agrícola, observando o conceito de sustentabilidade. Especula-se sobre sistemas de mensuração de eficiência técnica relativa considerando aspectos econômicos e energéticos, separada e conjuntamente, e formas de mensuração parcial, através do método de comparação de grupo baseado em índice de produtividade parcial, e agregada, através da Análise Envoltório de Dados – DEA. A análise entre as diferentes dimensões de abordagem e formas de mensuração e sobre o detalhamento da informação gerencial é efetuado através da aplicação dos diferentes modelos a um conjunto de produtores de arroz irrigado localizados no litoral-sul catarinense.

Conclui-se que a mensuração de eficiência relativa através da análise DEA possui maior precisão e abrangência para o auxílio gerencial, possibilitando a integração e harmonização entre aspectos agroeconômico-energético, considerando multi-produtos e multi-insumos e efeitos de substitutibilidade de fatores, proporcionando maior detalhamento de informação gerencial.

Abstract

Through of the analysis of your performance, the production units can measure survival and maintenance capacity front to the environmental exigencies in that they are situated. The production efficiency measure provide support to the inputs and productive process management, comprehension of the technical and economic decision making process and identification of the better adapted strategies and practices (benchmark or benchlearning).

The present study focuses on the efficiency analysis of agricultural exploration units and observe the sustentable concept. Its speculates about the relative technical efficiency measurement systems considering: (a) economic and energetic aspects, separate and combined; (b) measure forms: partial measure, through group comparison method based in partial productivity index, and aggregate measure, through Data Envelopment Analysis – DEA. The analysis between different dimensions of approach, different measure forms and about management information detail are effectuated through application of different models to one set of irrigate rice producers located on the southern coastline of Santa Catarina.

There is evidence that the relative efficiency measure by DEA analysis is more precise and includes management assistance. Its allowed the integration and harmonisation between agro-economic-energetic aspects, considers multi-inputs and multi-outputs and factor substitutability effects, which provide major management information detail.

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Um sistema de produção agrícola processa e/ou transforma recursos e energia, segundo um conjunto de técnicas ou uma tecnologia, com o objetivo de tornar disponíveis ao homem produtos vegetais e animais.

As diferentes especificidades dos sistemas agrícolas (condições físico-químico-biológicas e climáticas associadas a cada sistema produtivo) e do ambiente sócio-econômico e cultural em que as unidades estão situadas e os diferentes graus de informação e habilidades gerenciais dos agricultores condicionam a existência de uma diversidade de lógicas produtivas e gerenciais. Diferentes combinações entre fatores de produção e procedimentos técnicos-gerenciais, níveis tecnológicos diferenciados e ambiente resultam diferentes níveis de desempenho produtivo.

Através da análise de seu desempenho, as unidades de produção podem mensurar sua capacidade de sobrevivência e de manutenção frente às exigências do ambiente em que elas estão situadas. Os sistemas de mensuração de desempenho podem exercer duas funções: função informacional/suporte, fornecendo diagnóstico da situação dos aspectos relevantes para tomada de decisões; e função controle/instrumental, como ferramental para acompanhamento do processo produtivo. Para *Bonelli (94)*, tais sistemas podem atender a propósitos estratégicos (comparação com outras firmas), táticos (controle de performance pelos setores) e de planejamento (comparar os resultados do uso de diferentes combinações).

Para *Byrne apud Araujo (97)* sistemas de mensuração¹ são utilizados para facilitar a comunicação, identificação de áreas que necessitam melhorias, auxílio na compreensão de problemas, avaliação de alternativas, acompanhamentos de processos e metas, quantificação de resultados, suprimento de dados para análises estatísticas e fornecimento de *feedback* do desempenho.

O desempenho de uma organização pode ser analisado sob quatro dimensões: eficiência, eficácia², efetividade³ e relevância⁴ (*Ribas, 91; Regis, 91*) de acordo com a complexidade organizacional que ela possui. O presente trabalho fixa sua análise na dimensão da eficiência dado o reduzido grau de complexidade organizacional das unidades de produção agrícola.

A eficiência (do latim “*efficientra*”, ação, força e virtude de produzir) é o “critério administrativo que revela a capacidade real de produzir o mecanismo com o mínimo de recursos, energia e tempo” (*Sander apud Ribas, 91*), ou seja, o critério focaliza o desempenho interno da organização, enfatizando a otimização das relações produto/insumo com orientação predominante para métodos, normas, equipamentos e técnicas que busquem a execução das atividades visando produzir o máximo com o mínimo de recursos, energia e tempo.

Dada uma determinada tecnologia⁵, o empresário procura combinar e quantificar os fatores produtivos, orientando-se por princípios e teoremas da teoria da firma, com o objetivo de alcançar a eficiência, maximizando a receita ou minimizando seus custos (*Hoffmann et al., 87; Mondaini, 97*)

¹ As medidas são observações quantificadas de algum aspectos ou atributo de um processo, produto ou projeto, que ampliam nossa capacidade de compreensão e nos auxiliam na tomada de decisões. (*Araujo, 97*)

² Analisa o grau segundo o qual a organização atinge seus objetivos, dada as restrições de recursos, demonstrando a capacidade da mesma em adquirir e utilizar recursos escassos para alcançar suas metas.

³ Mensura a capacidade da organização em produzir a solução ou resposta desejada pela comunidade: desejabilidade social dos produtos ou serviços prestados pela organização.

⁴ Avalia, além da desejabilidade social, o efeitos dos produtos e serviços na qualidade da vida humana associada, incorporando aspectos antropológicos.

⁵ Um processo tecnológico de produtos múltiplos transforma N insumos, descritos pelo vetor-consumo $x \in \mathfrak{R}_+^N$, em M produtos, descrito pelo vetor-produção $y \in \mathfrak{R}_+^M$, onde \mathfrak{R}_+^N e \mathfrak{R}_+^M , representam vetores N e M não negativos. Todo par $[x, y] \in \mathfrak{R}_+^{N+M}$ é chamado de plano de operação. A tecnologia pode ser definida como o conjunto de todas as alternativas viáveis do plano de operação que permitem determinar as combinações de x insumo(s) que pode(m) gerar(em) y produto(s). Uma tecnologia T representa o conjunto de todos os planos operacionais viáveis, ou seja, $T = \{ (x, y) \in \mathfrak{R}_+^{N+M} / y \text{ pode ser gerado por } x \}$. As diversas formas como esta relação de viabilidade (y pode ser gerado por x ou x pode gerar y) pode ser representada definem as diferentes tecnologias existentes, que são descritas em axiomas e propriedades associadas ao tipo de escala e de descarte.

A mensuração da eficiência produtiva fornece componentes suportes para a gestão de recursos e do processo produtivo, compreensão do processo de tomada de decisão técnica e econômica e identificação de estratégias ou práticas melhor adaptadas (benchmark ou benchlearn).

O termo eficiência tem sido empregado para descrever quão bem uma unidade organizacional executa a utilização dos recursos para gerar produtos ou resultados, dada uma tecnologia existente. O grau de eficiência pode ser definido como a razão entre a relação produto-insumo observada (realizada pela unidade em foco) e a relação produto-insumo ótima, definida pela isoquanta⁶ (eficiência técnica) e/ou pela linha de isocusto⁷ (eficiência alocativa). Neste contexto, a eficiência de uma unidade produtiva pode ser especificada em três tipos: técnica, alocativa e global (*Farrel, 57*).

A eficiência técnica considera as relações físicas entre insumos e produtos. Consiste na habilidade da unidade em produzir o máximo de produto possível para um dado conjunto de insumos e tecnologia sob as condições ambientais em que ela se situa.

A eficiência alocativa considera o sistema de preços e a substitutibilidade técnica, demonstrando a habilidade de escolha das proporções ótimas de insumos que maximizem a função renda líquida e/ou minimizem custos, ou seja, combinações para as quais a razão entre as rendas marginais de cada par de insumo iguale-se a razão entre seus preços.

A combinação que proporcione uma maximização de produto, dado um conjunto de insumos, minimizando seus custos é definida como eficiência global e consiste do produto entre a eficiência técnica e a eficiência alocativa. O presente estudo preocupa-se com a eficiência técnica.

Um alto grau de eficiência implica em esforços para a conservação de recursos e energia. Neste sentido, a eficiência técnica busca eliminar os desperdícios de recursos produtivos e energia, produzindo a mesma quantidade com o mínimo de recursos

⁶ Linha na qual todos os pontos representam combinações dos fatores que indicam a mesma quantidade produzida; pontos geométricos que permitem os consumos mínimos de insumos para um dado nível de produção, definido as relações de substituição técnica entre os fatores.

⁷ Linha onde todos os pontos indicadores das combinações de quantidades utilizadas dos fatores adquiridos pela firma representa sempre o mesmo custo total.

possíveis ou produzindo a máxima quantidade possível com os recursos disponíveis no menor tempo possível.

O conhecimento da eficiência no uso dos fatores pode indicar usos mais racionais dos mesmos e orientar os produtores na sua realocação, possibilitando maior produtividade por unidade do fator com conseqüente expansão da oferta de alimentos e matérias-primas para a indústria e conservação de recursos com redução dos impactos ambientais.

Comumente, as análises sobre eficiência na agricultura tem sido conduzidas considerando aspectos técnico-econômicos. As medidas de eficiência dos esforços para o incremento da produção agrícola, dados os padrões tayloristas/fordista, tem centrado suas análises em medidas econômicas (receita bruta, margem bruta, receita de operação agrícola, lucro, remuneração de capital, custos, etc.) e/ou em indicadores de produtividade média ou marginais física ou monetária (por área, por capital, por mão-de-obra, por tração mecânica, por rebanho, etc.), relações entre fatores, relações de quantidades de insumos e outros índices relacionais. Trabalhos como os de *Lopes dos Reis*, 86; *Hoffmann et al.*, 87; *Rufino;Andradre*, 89; *Gastal*, 89; e *Santos et al.*, 89, ao analisarem questões gerenciais, descrevem indicadores parciais para a mensuração da eficiência baseados em seus fatores condicionantes sob o ponto de vista técnico-econômicos (rendimento das culturas e criações, tamanho ou volume de negócios, combinação ou seleção das atividades e eficiência da mão-de-obra e das máquinas e equipamentos). Outros trabalhos como os de *Peixoto da Silva* (84), *Bravo-Ureta;Rieger* (90), *Paris* (91), *Aguiar et al.* (94), *Parikh; Shah* (94), *Avila; Emerson* (95), *Carvalho;Campos* (95), *Kumbhakar; Heshmati* (95), *Câmara* (95), *Toresan;Lanzer* (95), *Battese* (96), *Chavas; Cox* (97) e *Sturion* (97) também focalizam suas análises sob o ponto de vista técnico econômico, empregando indicadores agregados para mensuração da eficiência (índice de produtividade agregada ou abordagens de fronteira de produção paramétrica ou não-paramétrica).

Em trabalhos de extensão, com enfoque em auxílio gerencial, a identificação do estado de eficiência das unidades produtivas e dos benchmarks/benchlearns tem sido efetuado a partir de matrizes de comparação pontual de medidas parciais ou através de metodologia de comparação de grupo, onde os produtores são classificados em cabeça-média-cola, com base em uma medida parcial de eficiência (por ex. lucro/ha, no caso de

avaliação do sistemas, ou margem bruta/unidade ou produção física/ha, na avaliação por atividades). A partir dos produtores “cabeça” são construídos padrões de referência como custo variável por área ou unidade animal, quantidade de área por unidade de trabalho humano, entre outros. Programas de gestão agrícola como os conduzidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná – EMATER/PR utilizam a metodologia de comparação de grupo para a identificação das melhores práticas agrícolas, ou seja, dos produtores mais eficientes.

Com o avultamento da questão ecológica, a preocupação com a incorporação de princípios ecológicos às avaliações de eficiência das unidades agrícolas resultou no desenvolvimento da análise de desempenho através do fluxo de energia que as compõem (estudos de Hart, Hesles, Leach, Pimentel et al., Loomis et al. *apud Mello*, 86). *Odum* (86) discutindo aspectos ecológicos nos sistemas agrícolas, considera a questão energética um aspecto relevante na análise, apontando a raridade de balanços energéticos que avaliem o uso eficiente de energia na agricultura.

Até o final do século XIX, os aportes energéticos utilizados nos sistemas agrícolas eram a energia solar, animal e humana. O desenvolvimento científico-tecnológico aumentou o rendimento dos cultivos através de modificações genéticas e ambientais pelo emprego de energia fóssil de forma direta (combustível, secagem, irrigação, etc.) ou indireta (adubos, pesticidas, máquinas e implementos, etc.) (*Pimentel*, 82). A partir da crise mundial do petróleo na década de 70, houve uma crescente preocupação com a adoção de sistemas mais eficientes na conversão de insumos em produtos e a busca de novas alternativas energéticas (*Zaffaroni; Boursuk*, 95). A energia passa a configurar-se como um aspecto essencial de análise das organizações produtivas uma vez que agrega um referencial ecológico e de longo prazo às análises de eficiência na transformação de insumos em produtos.

A análise energética de agroecossistemas tem por objetivos descrever os fluxos energéticos e seu funcionamento e determinar o grau de eficiência energética a partir de medidas parciais. A análise de fluxo energético implica na hipótese da unificação de diferentes materiais, como máquinas, trabalho humano e combustível, em uma mesma unidade calórica (*Comitre*, 95) e acrescenta um referencial que não está sujeito à mudanças mercadológicas ou financeiras e espaço-temporais, mas submete-se às leis da

natureza (Mello, 86). Os fluxos são quantificados em termos de equivalentes energéticos (caloria, joule, tep). Trabalhos como Mello (86), Rodrigues et al. (89), Carmo et al. (93), Zaffaroni; Boursuk (95) e Comitre (95) são exemplos de análises energéticas de sistemas agrícolas no Brasil.

A operacionalização da mensuração da eficiência pode ser efetuada através de medidas parciais (índices de produtividade parciais: fator simples ou valor agregado) ou medidas agregadas (índices de produtividade agregada ou abordagens paramétrica ou não-paramétrica de fronteira de produção). As diversas formas de mensuração de eficiência podem ser reunidas em dois grandes grupos: medidas de índice de produtividade e abordagens de função de produção.

Os índices de produtividade, como forma de aferir a eficiência, podem ser parcial, quando a produção é relacionada a um fator apenas, como terra, trabalho ou capital, ou agregado, quando a produção é relacionada à combinação de todos os produtos e fatores envolvidos no processo. Segundo Chambers et al. (95), este tipo de abordagem tem a vantagem de ser simples e parcimoniosa em requerimento de dados.

Os sistemas de mensuração de eficiência baseados em índices de produtividade tem sido amplamente empregados na agricultura, quer seja em estudos econômico-financeiros, análises de aplicação e evolução no uso de recursos, ou em programas de assistência gerencial e econômica aos agricultores.

Os índices parciais mais utilizados na agricultura são a produtividade por unidade (área ou unidade animal) e por mão-de-obra. Trabalhos como os de Câmara (95) e Guerreiro (95) que analisam a evolução da eficiência no uso de fatores de produção na agricultura através da produtividade da terra, mão-de-obra e capital, ilustram o uso de índices de produtividade parcial. Os programas de gestão da extensão oficial que empregam a metodologia de comparação de grupo, como mencionados anteriormente, também utilizam índices de produtividade parciais.

As análises energéticas, como as efetuadas por Mello (86), Carmo et al. (93), Zaffaroni; Boursuk (95) e Comitre (95), também baseiam-se em índices de produtividade parciais, tais como: intensidade de exploração energética (saldo energético(kcal)/área (ha)), produtividade cultural (quantidade de produto (kg)/energia

cultural(cal)), eficiência energética (totais calóricos produzidos/totais calóricos despendidos), entre outros.

Os índices de produtividade agregados, obtidos pelo quociente entre um índice agregado de produto e um índice agregado de fatores de produção, tem sido aplicados na agricultura em análises de séries temporais, para avaliar a evolução da eficiência na aplicação dos recursos ou progresso tecnológico no tempo. A construção dos índices agregados é operacionalizada através de números-índices agregativos ponderados⁸ de quantidade: Índice de Laspeyers⁹ (1871), Índice de Paasche¹⁰ (1874), Índice de Fischer¹¹ (1921), Índice de Divisia¹² (1926), Índice de Malmqvist (1953) e Tornqvist¹³ (1976) (*Peixoto da Silva*, 84; *Sudit*, 95; *Carvalho; Campos*, 95).

Trabalhos como os de *Peixoto da Silva* (84) e de *Carvalho; Campos* (95) utilizaram o índice de Fischer encadeado¹⁴ na avaliação da evolução da eficiência de fatores na agricultura. Já *Avila; Everson* (95) utilizaram o Índice de Tornqvist.

As abordagens função fronteira de produção baseiam-se em sistemas de equações ($Y = f(X, t)$) para a construção de uma superfície limite referência que descreve a transformação eficiente de insumos em produtos (fronteira eficiente), quer seja do ponto de vista técnico (função de produção) ou do ponto de vista econômico (função custo). Dois conjuntos básicos de métodos são usados para definição da fronteira eficiente: métodos paramétricos e métodos não-paramétricos.

As *abordagens paramétricas* demandam especificações explícitas sobre a forma funcional de relação entre as variáveis dependente(s) e independentes e imposição de hipóteses sobre a distribuição dos termos de erro/distúrbios (*Norman; Stoker*, 91; *Sudit*,

⁸ Números-índices ponderados são definidos como medidas estatísticas utilizadas para interpretar variações de preços e quantidades dos bens/fatores com o emprego de pesos relativos para cada um deles. As bases de ponderação, definidas pela participação relativa (percentual) de cada bem no valor total, podem ser fixas (período base ou atual) ou variantes (alteram-se a cada período).

⁹ O Índice agregativo de quantidade de Laspeyres constitui-se de uma média aritmética ponderada relativa de quantidade com os pesos de ponderação fixados na época base (*Fonseca*, 85).

¹⁰ O Índice agregativo de quantidade de Paasche é calculado através de uma média harmônica, sendo o conjunto de pesos aferidos considerando o período atual (*Fonseca*, 85).

¹¹ O índice de Fischer consiste na raiz quadrada da média geométrica dos índices de Laspeyres e Paasche.

¹² O Índice de Divisia é expresso pela diferença entre as soma de alterações das ponderações em produtos e insumos, assume ponderações variantes no tempo

¹³ Tornqvist constitui uma versão de aproximação do Índice de Divisia que é exata para funções agregadas translog homogênea (*Fernandez-Conejo e Shumway*, 97).

¹⁴ Índices encadeados das taxas de ponderação, variando ano a ano, são considerados aproximações do Índice de Divisia, os quais buscam eliminar efeitos de substituição.

95; *Chavas;Cox*, 97). Tal abordagem conduz a medidas de tendência central (média) e emprega análises de regressão (técnicas de Verossimilhança Máxima e versões de Quadrados Mínimos Ordinariamente Corrigidos) para realização dos cálculos (*Bravo-Ureta;Rieger*, 90; *Sudit*, 95). Identifica-se duas formas de descrever os modelos aplicados: funções fronteira estatística¹⁵ e função fronteira estocástica.¹⁶ (*Atkinson;Cornwell*, 93; *Parikh et al.*, 95; *Sudit*, 95)

Trabalhos como os de *Bravo-Ureta;Rieger* (90), *Aguiar et al.* (94), *Parikh;Shah* (94), *Kumbhakar;Hesmati* (95), *Parikh et al.* (95), *Battese et al.* (96) e *Heshmati;Kumbhakar* (97) empregam abordagens paramétricas para a mensuração da eficiência em ambiente agrícola.

As *abordagens não-paramétricas* não requerem a explicitação da forma funcional para descrever o processo de produção, nem hipóteses de distribuição dos erros, sendo todos os desvios da fronteira construída atribuídos à ineficiência. A partir dos conceitos de função distância de Shephard e de medida de eficiência de Farrell e de técnicas de programação matemática diversos modelos tem sido desenvolvidos para a construção da fronteira eficiente baseada em dados de atividades produtivas (*Afrait, Hanoch, Charnes et al.*, *Diewert, Varian, Banker et al.* e *Färe* citados pela literatura). *Ferrir;Porter* (91), *París* (91), *Toresan;Lanzer* (95), *Chavas;Cox* (97), *Jonasson* (97), *Piot-Lepetit et al.* (97) e *Sturion* (97) aplicam abordagens não paramétricas na análise de eficiência na agricultura.

Dentre as abordagens não-paramétricas, a Análise de Envoltório de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) possui maior destaque e aplicações. Desenvolvida por *Charnes, Cooper e Rhodes* (78), a análise DEA consiste em uma técnica baseada em programação matemática linear para mensurar a eficiência relativa de unidades organizacionais para casos de múltiplos insumos e múltiplos produtos.

O presente estudo fixa-se na análise de desempenho organizacional interno, ou seja, na análise da eficiência de unidades de produção agrícola. Tendo em vista as considerações

¹⁵ A função é descrita como $y = f(x) + \varepsilon$, onde ε é o termo de erro idêntico e independentemente distribuído com média não-negativa e variância finita.

¹⁶ A função é descrita como $y = f(x) + v + \mu$, onde v contabiliza variações ao acaso para fatores fora do controle do agricultor (doenças, enchentes, clima, etc.), assume distribuição independente e normal; e μ reflete ineficiência ou fracassos da unidade em produzir o máximo de produto, assume distribuição independente normal ou gama.

realizadas acima, especula-se sobre sistemas de mensuração de eficiência técnica relativa parcial e agregada, considerando aspectos econômicos e energéticos, separada e conjuntamente, que forneçam componentes suportes para o planejamento estratégico, para análise da competitividade da unidade, para avaliação das combinações e quantificações de seus recursos e esforços, para o gerenciamento dos processos e técnicas buscando assegurar, a longo prazo, a sobrevivência, crescimento e sustentabilidade da organização, através da maior produtividade dos recursos e de eficiência da unidade.

Confronta-se as lógicas de abordagem, agroeconômica e agroenergética, as formas de mensuração parcial, através do método de comparação de grupo baseado em índices parciais, e agregada, através da Análise Envoltório de Dados – DEA, e o detalhamento da informação gerencial obtido pelos mesmos. Os diferentes sistemas de mensuração para determinação de eficiência produtiva são aplicados a um conjunto de produtores de arroz localizados no litoral-sul catarinense.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é explorar, sob o aspecto teórico e prático, a análise de desempenho de unidades de produção agrícola, relativo a eficiência produtiva. O estudo examina aspectos relacionados a lógica de enfoque (critérios agroeconômicos e agroenergéticos), as formas de mensuração (medidas parciais e agregadas) e ao nível de informação gerencial na identificação do grau de eficiência relativo das unidades e dos padrões de referência para as unidades ineficientes (benchmark/benchlearn).

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Levantamento bibliográfico dos estudos de eficiência produtiva na agricultura, considerando aspectos de sustentabilidade (econômicos e ecológico-energéticos);
- ✓ Conversão dos dados referentes as exigências físicas e financeiras do processo produtivo das unidades de produção agrícolas em unidades energéticas (kcal);

- ✓ Elaboração de escores de eficiência relativa de um conjunto de produtores de arroz irrigado, aplicando sistemas de mensuração parcial, através de índice de produtividade parcial, e agregado, através de abordagem de fronteira de produção não-paramétrica – Análise Envoltório de Dados – DEA, considerando aspectos agroeconômicos e agroenergéticos, separada e conjuntamente;
- ✓ Análise crítica dos sistemas de análise de eficiência produtiva e de identificação de unidades referência (benchmark/benchlearn), confrontando as dimensões econômica e energética e o detalhamento de informação gerencial.

1.3 Relevância do Estudo

O presente estudo justifica-se pela importância estratégica do setor agrícola e pela necessidade de métodos e instrumentais que auxiliem seus agentes na análise e aprimoramento de sua eficiência produtiva, considerando aspectos físico-econômico e ecológicos, na busca da manutenção, ampliação e melhoria de sua capacidade produtiva.

A agricultura constitui uma atividade econômica-social básica de toda nação. A diminuição gradual de sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) com o desenvolvimento do país, levou muitos a menosprezar sua relevância para o crescimento econômico do país. Contrariamente, a agricultura adquiriu uma nova dimensão, vindo a transformar-se no centro e motor de um sistema denominado Agronegócios, o qual é um dos principais empregadores e geradores de riqueza, com importante contribuição ao PIB (*Barriga, 95*).

O setor agrícola é responsável pelo suprimento de alimentos, pelo fornecimento de matérias-primas para a indústria e por parte substancial da receita das exportações, sendo também, um importante mercado consumidor de insumos metal-mecânicos e químicos.

Em Santa Catarina, o cultivo de arroz irrigado envolve aproximadamente 10 mil famílias rurais, na sua grande maioria, pequenas propriedades rurais. Seu cultivo está concentrado nas regiões Litoral Sul-catarinense e no Vale do Itajaí. O estado é o segundo maior produtor de arroz irrigado do Brasil, apresentando a maior produtividade física média (5,62 ton./ha). Na safra 1996/97, a área cultivada no estado foi de 129.870

ha com uma produção total de 730 mil toneladas (*Instituto CEPA, 97; Knoblauch; Schiocchet, 97*). O estado apresenta um grande potencial de expansão do cultivo do cereal.

O desenvolvimento do setor agrícola está vinculado a: (1) instrumentos de estímulo ao setor (crédito, taxa de juros e câmbio, pesquisa tecnológica e sua difusão, infra-estrutura de armazenagem e comercialização, etc.) relacionados a decisões políticas macroeconômicas sobre as quais os agricultores possuem pouco poder de influência; e (2) ação efetiva em nível interno da propriedade através do uso eficiente e gestão dos recursos (otimização dos fatores de produção, manejo adequado do processo tecnológico e econômico) (*Dossa; Caus, 95*).

As bases para a competitividade do setor são, então, decorrência da conjunção das vantagens comparativas de produção (condições edáficas e climáticas, dotação de recursos naturais, custos de mão-de-obra e de transportes, etc.) e competitivas do tipo macroeconômica, vinculados a eficiência do ambiente econômico (taxas de câmbio, impostos alfandegários, créditos, etc.) e do tipo microeconômica, vinculadas a eficiência organizacional (produtividade de mão-de-obra, produtividade de recursos naturais, alocação de fatores, etc.) (*Matuella et al., 94; Barriga, 95*).

Segundo *Rigatto (97)*, devido a redução da rentabilidade econômica da produção agrícola, setores como a rizicultura tem buscado a redução dos custos e o aumento da eficiência técnica e econômica da atividade. Para *Sanint (97)*, as novas tecnologias destinadas à cultura devem buscar maior eficiência para obter uma produção intensiva mas com baixo impacto ambiental, que seja rentável e assegure a competitividade em mercados internacionais. Para o autor, o cultivo de arroz passa pela conjugação de eficiência, produtividade, competitividade, equidade e proteção ao meio ambiente, ou seja, pela lógica da sustentabilidade. A produção de arroz irrigado é caracterizada por apresentar altos custos de produção, alta perturbação no ecossistema devido à grande movimentação de solo, características da área ocupada¹⁷, envolver intenso manejo de recursos hídricos e apresentar desperdícios de até 50% da energia aplicada na irrigação.

A agricultura é classificada como um ecossistema que depende da energia solar com subsídios antropogênicos, ou seja, sistemas produtores de alimentos e fibras, sustentado

¹⁷ Os cultivos localizam-se em várzeas e terreno alagados considerados “santuários” do ecossistema

por combustível auxiliar ou por outras formas de energia fornecidas pelo homem (Odum, 86). É portanto, uma atividade econômica que depende em alto grau do meio biofísico onde se desenvolve e onde, segundo Romeiro (96), os impactos ambientais gerados por sua atividade não representam apenas uma externalidade, mas degradam a sua própria base produtiva e, conseqüentemente, compromete sua própria eficiência.

Neste sentido, a competitividade do setor está estreitamente vinculada aos conceitos de sustentabilidade do sistema, o que implica na melhoria do uso de recursos, energia e espaço e na manutenção, no longo prazo, das funções potenciais da natureza, compatibilizando as dimensões econômica, ambiental e social. Portanto, a construção de um indicador de sustentabilidade de um sistema qualquer pressupõe a conjunção de diversos aspectos que permitam traduzir o estado destas dimensões (econômica, ambiental-ecológica e social).

O conceito de sustentabilidade pressupõe a harmonização entre as atividades sócio-econômicas e a gestão racional do meio ambiente biofísico natural constituído, buscando suprir as necessidades básicas da população (Seiffert, 96). Uma agricultura sustentável pressupõe: rentabilidade financeira positiva no médio e longo prazos, produtividade elevada, conservação da fertilidade dos recursos e distribuição equitativa dos recursos (Vergara, 93).

Segundo Plucknett apud Fernandes Filho, Francis (97), a sustentabilidade pode ser explicada em termos da integração complexa entre fatores biológicos (recursos genéticos, produtividade por área e por tempo, controle do uso de pesticidas ao longo prazo, sistemas de produção em equilíbrio entre agricultura e pecuária), físicos (gerência do uso do solo e água, uso de químicos agrícolas, mudanças atmosféricas e consumo de energia) e sócio-econômicos (rentabilidade, qualidade de vida).

A sustentabilidade equivale-se à idéia de persistência e durabilidade das características produtivas de um sistema produtivo. Segundo Neder, Cleper (97), duas noções estão estreitamente ligadas ao conceito: (a) produtividade: relação entre a produção obtida (*output*) por unidade de recurso (*input*); e (b) estabilidade: constância da produtividade frente às forças perturbadoras¹⁸ e choques¹⁹.

¹⁸ Processos de exaustão de natureza contínua e previsíveis, incrementais e de efeito acumulativo com grandezas reduzidas.

O conceito de sustentabilidade envolve a preocupação com a utilização e conservação da base dos recursos naturais, implicando não somente na conservação de seu potencial produtivo, mas também na melhoria de sua capacidade produtiva.

A análise dos fenômenos naturais através de fluxos energéticos permite descrever o estado de entropia dos sistemas e sua manutenibilidade no tempo e no espaço permitindo descrever o estado de um dado sistema sob a dimensão ambiental-ecológica. Dado a estreita dependência entre as atividades agrícolas e os fenômenos naturais, a análise através do fluxo energético permite identificar o estado do uso da capacidade produtiva do sistema do ponto de vista ecológico-ambiental.

A idéia de limites de crescimento por razões ecológicas, na década de 70, e a ampliação da discussão dos conceitos de desenvolvimento sustentável deflagrou a necessidade de que as análises de eficiência produtiva, de viabilidade e desenvolvimento de projetos e produtos, etc. conglomerasse em seus julgamentos critérios físico-econômicos, ecológicos e sociais, através de uma abordagem agregada das mesmas.

Grande parte das análises de eficiência tem-se fixado em aspectos agroeconômicos, quer seja por motivos metodológicos (amplo uso de índices parciais ou carência metodológica-instrumental), por ausência de dados ou por uma dita incompatibilidade entre economia, ecologia e social. No entanto, o desenvolvimento de diversas práticas agrícolas, como o plantio direto, pastoreio racional Voisin, sistemas agrosilvi-pastoril, entre outros tem demonstrado que é possível compatibilizar lucratividade e proteção ambiental, além do que é imperativo que o homem passe a contabilizar os custos ambientais na avaliação das suas atividades produtivas.

Na busca da persistência e durabilidade das características produtivas de um dado sistema produtivo, seus agentes necessitam de métodos e instrumentais que auxiliem no gerenciamento dos recursos, fornecendo-lhes elementos para o planejamento e controle do emprego dos mesmos, gerenciamento dos processos, eliminação de ineficiências do processo, análise de desempenho e competitividade do sistema produtivo e redução de impactos ambientais. Tais métodos devem identificar combinações dos elementos produtivos e de procedimentos técnico-gerenciais que conduzam a otimização e harmonização dos recursos e condições ambientais, contribuindo para poupança de

¹⁹ Forças relativamente grandes e imprevisíveis, tais como uma nova praga, uma seca ou súbito aumento

energia e recursos, elevação da produtividade, redução de resíduos e melhoria na qualidade dos produtos e do ambiente.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No presente capítulo, faz-se a apresentação do tema objeto desta dissertação, contextualizando-o teoricamente, discutindo-se os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

A base de dados empregada e os procedimentos metodológicos adotados são descritos no capítulo 2.

No capítulo 3, realiza-se a discussão dos resultados obtidos procedendo-se a análise sobre a lógica de análise, a forma de mensuração e o detalhamento da informação gerencial.

Finalmente, são apresentados no capítulo 4 algumas considerações finais, seguido de anexos e das referências bibliográficas, as quais deram suporte ao estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta a base de dados e os procedimentos metodológicos empregados para compor a análise dos sistemas de mensuração de eficiência.

2.1 Base de Dados

A base de dados primária utilizada no estudo compreende dados técnicos-econômicos de 19 propriedades agrícolas orizícolas, localizadas na região Litoral Sul Catarinense, integrantes do Projeto de Gestão Agrícola da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - EPAGRI.

Tais propriedades são classificadas como “predominantemente cereais e outros grãos”²⁰. Sua base produtiva é composta preponderantemente pelo cultivo de arroz irrigado, o qual é responsável por mais de 90% da renda bruta total global das propriedades. Os cultivos de milho e mandioca e a bovinocultura são desenvolvidos em algumas das propriedades com reduzida expressão. As propriedades constituem-se em unidades de produção familiar²¹ com uso de mecanização agrícola. Os solos são hidromórficos de relevo plano, sendo mais de 95% da área total das propriedades cultivadas.

Com o intuito de diminuir os efeitos de fatores climáticos nas relações insumo-produto e no grau de eficiência, os dados empregados na análise correspondem às médias dos anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97.

Os relatórios de resultados técnico-econômicos de cada propriedade e os quadros de comparação geral de grupo elaborados pelo Projeto de Gestão Agrícola, utilizados como

²⁰ Mais de 60% da renda bruta total global da propriedade provém de uma atividade, no caso um cereal, o arroz. (Tipificação adotada pela EPAGRI)

²¹ Mais de 50% da mão-de-obra empregada é familiar.

base de dados primários, a partir dos quais extraíram-se os dados de interesse, contemplam os seguintes aspectos:

- (a) resultados econômicos por área (ha): lucro; renda bruta total; custos variáveis, fixos, reais, calculados e totais; margem bruta; renda de operação agrícola; renda líquida; cessões internas; remuneração de mão-de-obra familiar e de capital; e diversas relações de patrimônio;
- (b) Dimensão da exploração: área total; superfície agrícola útil (SAU); área adicional; área total com pastagem; relação entre SAU e área total;
- (c) Utilização da SAU;
- (d) Composição da força de trabalho humana, animal e mecânica;
- (e) Composição do capital (funditário e de exploração fixo e circulante) por SAU;
- (f) Especificações da renda bruta : classes e formação;
- (g) Composição dos custos variáveis/SAU;
- (h) Detalhamento de renda bruta, custos variáveis e índices técnicos por atividade vegetal e animal.

A seguir, apresentam-se os **dados relativos aos fatores de produção** (terra, trabalho e capital) das unidades de produção agrícola (DMU²²), descrevendo-os posteriormente.

Propriedade	SAU (há)	UTH	Capital de exploração fixo (US\$)	Capital de expl. circulante (US\$)
DMU 01	36,6	1,02	35.689	8.009
DMU 02	58,1	2,47	43.238	10.367
DMU 03	26,5	1,10	9.068	9.045
DMU 04	56,0	2,28	51.271	13.486
DMU 05	48,4	1,68	43.482	7.593
DMU 06	57,6	2,63	36.510	12.791
DMU 07	50,8	2,00	104.718	9.743
DMU 08	47,3	3,00	54.283	9.803
DMU 09	58,0	2,70	52.414	13.228
DMU 10	38,0	2,20	20.676	10.599
DMU 11	43,8	4,30	72.910	11.619
DMU 12	41,9	2,30	31.469	4.804
DMU 13	55,0	1,50	34.784	8.203
DMU 14	16,6	0,70	9.128	3.923
DMU 15	17,0	1,00	9.128	3.352
DMU 16	48,0	1,30	44.041	9.433
DMU 17	45,0	2,50	11.500	4.136
DMU 18	46,0	1,50	51.091	10.498
DMU 19	107,5	2,20	64.722	13.067

Tabela 01 - Dados relativos a fatores de produção

²² Decision Making Unit – Unidade de Tomada de Decisão

Superfície agrícola útil – SAU. (ha): compreende as terras da propriedade que são exploradas efetivamente na produção, incluindo as terras com plantas de lavoura, olerícolas, floricultura, pastagens perenes e anuais, culturas perenes, quintal doméstico e área de pousio até dois anos. Excluem-se as áreas inaproveitáveis, banhados, estradas e área de construções (Soldatelli et al., 93).

Unidade de trabalho homem – UTH (UTH): descreve o esforço humano usado na produção de bens; uma unidade padrão de UTH corresponde a 2.400 horas de trabalho, ou seja, um adulto que trabalhe 8 horas/dias durante 300 dias.

Capital de exploração fixo (US\$): compreende animais de trabalho (capital de exploração fixo vivo), motores, máquinas e equipamentos (capital de exploração fixo inanimado) os quais intervêm no processo produtivo (Hoffmann et al., 87; Gastal, 89).

Capital de exploração circulante (US\$): capital utilizado apenas durante o ciclo produtivo, inclui o dinheiro para pagamento de sementes, agroquímicos, combustíveis, lubrificantes, salários, fretes, rações, entre outros itens (Hoffmann et al., 87; Gastal, 89 Soldatelli et al., 93).

Os **dados agroeconômicos** de interesse do estudo, obtidos através da sumarização dos relatórios e quadros, são apresentados na Tabela 02, sendo descrito a seguir seu significado.

Propriedade	Renda de Operação agrícola (US\$)
DMU 01	19.604
DMU 02	33.078
DMU 03	13.117
DMU 04	34.092
DMU 05	23.164
DMU 06	27.425
DMU 07	11.196
DMU 08	28.826
DMU 09	37.652
DMU 10	26.241
DMU 11	20.963
DMU 12	11.837
DMU 13	12.468
DMU 14	8.498
DMU 15	5.518
DMU 16	17.534
DMU 17	13.656
DMU 18	21.695
DMU 19	19.473

Tabela 02 - Dados agroeconômicos

Renda de operação agrícola - ROA (US\$): consiste na diferença entre a renda bruta e os custos reais²³, representando o ganho da unidade para sobrevivência e investimento (Soldatelli et al., 93). Segundo Konzen;Schuck (91), medidas de Renda de operação agrícola são indicadas na análise de estabelecimentos rurais familiares, nos quais é de importância primordial o conhecimento da renda familiar global e os resultados econômicos que correspondem a remuneração do conjunto de fatores.

As informações utilizadas no cálculo dos **dados agroenergéticos** foram obtidas nos relatórios individuais descritivos de dados de produção física e exigências físicas de insumos e outros itens de custo variável de cada propriedade.

2.2 Metodologia

A metodologia para o desenvolvimento do estudo compreende três procedimentos:

- ▶ Sistematização dos dados (fatores produtivos e dados agroeconômicos). A partir dos relatórios individuais e quadros de comparação de grupo elaborados pela EPAGRI resultantes do acompanhamento do ciclo agrícola 95/96 e 96/97 das unidades de produção orizícolas, procedeu-se a sistematização dos dados, com o cálculo das médias dos dois ciclos anuais.
- ▶ Conversão dos dados físicos e financeiros resultantes do processo produtivo em unidades energéticas e cálculo dos dados agroenergético;
- ▶ Elaboração dos escores de eficiência relativa agroeconômica, agroenergética e global parciais, através de índices de produtividade por área, e agregados, através de Análise Envoltório de Dados – DEA, os quais fundamentam a análise entre as dimensões de análise, as formas de mensuração e sobre o detalhamento de informação gerencial na identificação do desempenho da organização e de seus *benchmarks/benchlearns*.

²³ Custos da empresa agrícola, incluindo a depreciação com exceção da remuneração da mão-de-obra familiar, dos juros sobre o capital próprio e das cessões internas.

Análises de correlação por postos de Spearman²⁴ entre os escores de eficiência são efetuados para auxiliar a análise.

A seguir descreve-se detalhadamente a obtenção dos dados energéticos e a construção dos sistemas de mensuração.

2.2.1 Conversão Energética

Para a quantificação dos dados agroenergéticos das unidades utilizou-se as matrizes de produção e exigências físicas e financeiras para cada ciclo, extraídas dos relatórios individuais, a partir das quais procedeu-se as transformações para contabilizar as energias produzidas e consumidas no processo. A energia consumida restringiu-se a contabilização dos insumos externos aplicados ao processo produtivo (fluxo externo direto ou indireto) denominada “energia cultural”.

Os custos energéticos ou taxas de conversão empregados na transformação dos dados podem ser obtidos a partir dos seguintes métodos: análise de processo²⁵, análise insumo-produto²⁶ e conversão de unidades financeiras em energéticas²⁷ (Mello, 86).

No presente trabalho, no caso dos produtos vegetais produzidos nas unidades (arroz, milho e mandioca), inseticidas, herbicidas, fungicidas, sementes e fertilizantes químicos (nitrogênio, fósforo e potássio) utilizou-se índices de conversão existentes na literatura, resultantes de análise de processo.

No caso dos derivados de petróleo (óleo diesel, óleos lubrificantes e graxa) e energia utilizou-se o valor de poder calorífico específico apresentados no Balanço Energético Nacional (Brasil. Ministério das Minas e Energia, 97), acrescido, no caso dos derivados de petróleo, de um fator insumo-produção de 0,14 vezes seu poder calorífico relativo ao custo calórico de produção, como recomenda Serra *apud* Mello (86).

²⁴ SEIGEL, S. *Estatística Não-paramétrica*. McGraw-Hill, São Paulo, 1977.350p.

²⁵ Estima-se os custos energéticos de todos os fatores físicos envolvidos na obtenção do bem ou serviço pela análise detalhada da energia despendida na obtenção das matérias primas, transformação, transporte, etc.

²⁶ O bem ou serviço é analisado discretizado do setor específico da matriz.

²⁷ O índice é obtido através da divisão do consumos de energia primária do país por seu PIB e multiplicação deste fator pelo custo financeiro do insumo.

A taxa de conversão de outros custos externos expressos em termos financeiros foi obtida pela razão entre o consumo de energia primária nos anos de 1995 e 1996, extraídos do Balanço Energético Nacional (*Brasil. Ministério da Minas e Energia, 97*), pelo PIB dos respectivos anos. A Tabela 03 apresenta as taxas de conversão utilizadas no presente estudo.

Item	Taxa de conversão (95/96)	Taxa de conversão (96/97)
Arroz	3.504 kcal/kg	3.504 kcal/kg
Milho	3.627 kcal/kg	3.627 kcal/kg
Mandioca	1.320 kcal/kg	1.320 kcal/kg
Inseticidas ²⁸	74.245 kcal/l de p.a.*	74.245 kcal/l de p.a.*
Herbicidas ³¹	83.093 kcal/l de p.a.*	83.093 kcal/l de p.a.*
Fungicidas ³¹	48.970 kcal/l de p.a.*	48.970 kcal/l de p.a.*
Semente de arroz	7.008 kcal/kg	7.008 kcal/kg
Semente de milho	7.613 kcal/kg	7.613 kcal/kg
Nitrogênio (fórmula)	14.977 kcal/kg	14.977 kcal/kg
Nitrogênio (uréia)	6.917 kcal/kg	6.917 kcal/kg
Fósforo	3.384 kcal/kg	3.384 kcal/kg
Potássio	2.268 kcal/kg	2.268 kcal/kg
Óleo diesel	9.159 kcal/l	10.441 kcal/l
Óleo lubrificante	9.424 kcal/l	10.743 kcal/l
Graxa	9.331,20 kcal/kg	10.637 kcal/kg
Energia	3.132 kcal/Kwh	3.132 Kcal/Kwh
Unidades financeiras	2.953,7 Kcal/ US\$	2.996,5 kcal/ US\$

Tabela 03 – Taxas de conversão energética

* princípio ativo químico

A partir da transformação dos dados computaram-se a receita energética, energia cultural e balanço energético de cada propriedade para os dois ciclos, processando-se, posteriormente, o cálculo das médias para cada unidade. A seguir descreve-se o conceito dos indicadores utilizados.

Receita energética (kcal): conteúdo energético da produção física, corresponde a conversão dos produtos vegetais em caloria.

Energia cultural (kcal): quantidade de energia fóssil empregada no processo de produção agrícola obtida através da conversão de todos os insumos, diretos²⁹ e

²⁸ Os inseticidas, herbicidas e fungicidas possuem quantidades diferentes de princípios ativos, resultando taxas de conversão específicas, as quais são calculadas pela multiplicação da quantidade de princípio ativo do produto pela taxa de conversão especificada na tabela para o tipo de defensivo.

²⁹ Energia consumida diretamente no processo: combustível, derivados de petróleo, energia elétrica, etc.

indiretos³⁰, empregados em equivalente energéticos (caloria) (*Pimentel et al.*,82; *Zaffaroni;Boursuk*, 95).

Balanço energético (kcal): diferença entre o conteúdo energético da produção (receita energética) e a quantidade de energia demandada para a produção (energia cultural) (*Zaffaroni;Boursuk*, 95).

2.2.2 Construção dos Sistemas de Mensuração de Eficiência

O presente estudo apoiou-se na formulação e aplicação, junto a um conjunto de produtores orizícolas, de um sistema de mensuração de eficiência parcial, baseado em índice de produtividade parcial, e de um sistema de mensuração agregado, operacionalizado pela Análise Envoltório de Dados – DEA, confrontando as dimensões agroeconômica e agroenergética, separadamente e conjuntamente. A Figura 01 esboça a estrutura metodológica empregada.

Forma de Mensuração \ Dimensões de Abordagem	ANÁLISE AGROECONÔMICA	ANÁLISE AGROENERGÉTICO
<u>Mensuração parcial:</u> ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE	Intensidade de Exploração Agroeconômica (US\$/ha)	Intensidade de Exploração Agroenergética (kcal/ha)
<u>Mensuração agregada:</u> ANÁLISE ENVOLTÓRIO DE DADOS	DEA – Agroeconômico	DEA - Agroenergético
	DEA – Global	

Figura 01 – Sistemas de mensuração de eficiência utilizados

A seguir descreve-se a construção dos indicadores parciais, econômico e energético, e agregados, econômico, energético e global, tecendo-se alguns aspectos teóricos.

³⁰ Energia consumida em processo que não o analisado, indiretamente passa a fazer parte do fluxo global: produção de máquinas e implementos, produção de adubos químicos e pesticidas, etc.

2.2.2.1 Índice de Produtividade Parcial

A relação entre as quantidades de bens e serviços produzidos e de insumos empregados durante o processamento destes bens e serviços, em uma dada unidade produtiva e num determinado período de tempo, é denominada produtividade (*Dogramaci, 81; Carvalho; Campos, 95*).

Os programas de gestão agrícola conduzidos por entidades governamentais de extensão oficial com enfoque agroeconômico, baseados no método de comparação de grupo, como o Programa de Gestão Agrícola da EPAGRI, utilizam índices de produtividade parcial por área (produção física/ha, margem bruta/ha, lucro/ha, etc.), a partir dos quais analisa-se o desempenho interno da unidade e identificam-se os “melhores resultados”, classificando as propriedades em cabeça, média ou cola. Os 25% melhores resultados do índice adotado são classificados como cabeça (unidades benchmarks) e os 25% piores resultados, como cola. Baseado nas unidades cabeça elabora-se padrões administrativos de referências (p.ex.: custos variáveis por área, lucro por área, área de cultivo, dentre outros) para o grupo que correspondem a média dos valores apresentados por estas unidades.

O presente trabalho adota semelhante procedimento para compor o sistema de mensuração parcial agroeconômico e agroenergético. O cálculo do índice de produtividade parcial agroeconômico, referido como índice de intensidade de exploração agroeconômica ($IE_{\$}$), é efetuado pela razão entre a renda de operação agrícola (US\$) gerado pela unidade e a superfície de área útil (ha) da unidade.

$$IE_{\$} = \frac{ROA \text{ (US\$)}}{SAU \text{ (ha)}}$$

O índice de produtividade parcial agroenergético é calculado pela razão entre o balanço energético (kcal) resultante da atividade produtiva e a SAU (ha), sendo denominado de índice de intensidade de exploração agroenergética (IE_{kcal}).

$$IE_{kcal} = \frac{\text{Balanço Energético (kcal)}}{SAU \text{ (ha)}}$$

Os 25% melhores resultados são considerados eficientes e representam unidades de referência (benchmark/benchlearning), sendo compostas referências administrativas para o conjunto a partir destas unidades.

2.2.2.2 Análise Envoltório de Dados (DEA)

A Análise Envoltório de Dados – DEA é uma técnica de programação linear dirigida para mensuração de eficiência relativa de unidades de produção considerando múltiplos produtos e múltiplos insumos. A medida de eficiência de uma unidade, convencionalmente denominada de unidade de tomada de decisão (DMU), é definida pela sua posição relativa a fronteira empírica³¹ e estabelecida matematicamente pela razão da soma ponderada dos produtos pela soma ponderada dos insumos, sendo que tal razão deve ser menor ou igual a 1 para todas as unidades do conjunto analisado. O sistema de ponderações dos produtos e insumos é definido pelo modelo.³²

Segundo *Boussofiame et al.* (91) a análise DEA produz informações úteis para guiar melhorias de desempenho através da identificação de unidades referências e de práticas operacionais eficientes, avaliação de políticas estratégicas (planos de ação e programas), avaliação da evolução temporal de eficiência, identificação de níveis de insumos e produtos alvos e investigação de efeitos de realocação de recursos entre unidades.

A abordagem compara cada unidade alvo à “melhor prática”, gerando n programas de programação linear. A hipótese fundamental que norteia a análise é de que, considerando um conjunto de unidades homogêneas³³, se um produtor A é capaz de produzir $Y(A)$ unidades de produto(s) com $X(A)$ unidades de insumo(s), então outros produtores devem também ser hábeis em executar o mesmo se eles estão operando eficientemente.

Consideremos um conjunto de n DMUs sendo avaliado. Cada DMU_j ($j = 1, \dots, n$) consome quantidades variáveis (x_{ij}) de m diferentes insumos ($i = 1, \dots, m$) para produzir quantidades variáveis (y_{rj}) de s diferentes produtos ($r = 1, \dots, s$).

Segundo Charnes, Cooper e Rhodes (78), a eficiência relativa de uma DMU_j pode ser avaliada segundo um problema de programação fracional, o qual otimiza a relação

³¹ Definida pelo conjunto de combinações de melhores práticas observadas nos dados da amostra, sem requerer especificações a priori de delineamento de modelos funcionais ou hipóteses sobre a distribuição do erro.

³² Diferentes organizações atribuem diferentes valorações para seus produtos e insumos. A análise DEA permite que cada unidade adote um conjunto de pesos, considerando suas habilidades e situação, o qual mostra-se mais favorável para a unidade em comparação com outras unidades. A flexibilidade na escolha de pesos é considerada ao mesmo tempo uma limitação, por permitir encobrir ineficiência inerente pela escolha do sistema de ponderações; e uma vantagem, já que se a unidade for considerada ineficiente com os pesos que lhe são mais propícios, derroca os argumentos de escolha inadequada dos pesos.

produto-insumo da unidade alvo (DMU₁), com a restrição de que o escore de todas as unidades do conjunto de análise seja menor ou igual a um. Cada unidade pode adotar diferentes pesos para ponderação, já que as mesmas valoram diferentemente seus insumos e produtos. (Charnes et al., 96) Algebricamente:

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r1}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i1}} \\ \text{ST: } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \\ v_i, u_r &\geq 0 \quad \forall r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

onde, u_r e v_i , denominados de multiplicadores virtuais, são variáveis do problema.

Se $h_0 = 1$ a DMU alvo é eficiente relativamente as demais, mas se $h_0 < 1$ a unidade é considerada ineficiente.

Para operacionalizar a análise o modelo fracional foi linearizado³⁴:

$$\begin{aligned} \text{Min } h_0 &= \sum_{i=1}^m v_i x_{i1} \\ \text{ST: } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} &= 1 \\ - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\geq 0 \\ v_i, u_r &\geq 0 \quad \forall r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m^{35} \end{aligned}$$

A obtenção dos escores de eficiência do conjunto avaliado requer a solução de n problemas de programação linear³⁶. Os modelos apresentados sob a forma de multiplicadores fornecem o sistema de ponderação de insumos e produtos adotado por cada DMU para obter uma medida única virtual (“produto virtual” ou “insumo virtual”). No entanto, o problema dual associado a forma de multiplicadores, convencionalmente

³³ Unidades que desempenham as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, sob a mesma tecnologia.

³⁴ Quando a função objetivo é constituída pela maximização de uma fração é possível alcançar o resultado semelhante fixando o denominador a uma constante e maximizar o numerador, já que é a magnitude relativa que está em foco.

³⁵ Ao ser linearizado o modelo pode focar a orientação produto ou insumos. No caso, o modelo é produto-orientado.

³⁶ Para cada DMU é “rodado” um PL

denominado de forma de envelopamento, produz uma representação mais acessível, ao expressar a(s) faceta(s) suporte(s) em termos de combinações (linear ou convexa) das DMUs eficientes. A solução ótima do problema de envelopamento consiste de um vetor- s de folga de produto (s^l), um vetor- m de excesso de insumos (e^l) e um vetor- n λ que define o conjunto de unidades referência, e em alguns modelos³⁷ de um fator de contração (θ) dos insumos ou expansão (ϕ) dos produtos equiproporcional da produção, de acordo com a orientação focalizada (orientação insumo ou produto, respectivamente).

Os diversos modelos desenvolvidos a partir do modelo fracional buscam estabelecer os subconjuntos de DMUs que definem a linha envoltório, sendo a geometria do envelopamento prescrita pelo modelo adotado. Propriedades associadas ao tipo de escala³⁸ e de descarte³⁹ e os axiomas conduzem a diferentes configurações da fronteira de produção.

Os principais modelos DEA são: Aditivo CRS⁴⁰, Aditivo VRS⁴¹, Multiplicativo Variante, Multiplicativo Invariante, CCR⁴² insumo-orientado, CCR produto-orientado, BCC⁴³ insumo-orientado e BCC produto-orientado.

As diferenças fundamentais entre os vários modelos desenvolvidos relacionam-se a: superfície de envelopamento (tipo de combinações e suposições sobre o retorno de escala), o tipo de projeção do ponto à fronteira eficiente (orientação insumo, produto e insumo-produto) e o tipo de unidade de mensuração (variante ou invariante). O anexo A apresenta mais detalhadamente os conceitos e noções fundamentais na abordagem DEA e os diversos modelos e extensões do método.

A análise DEA caracteriza-se por:

- Focalizar suas análises em observações individuais efetuando comparações par a par;

³⁷ Modelos CCR e BCC.

³⁸ Forma de variação da produção em relação à alterações na disponibilidade dos insumos empregados na produção. Tais variações são descritas em termos de retornos de escala crescentes, constantes e decrescentes.

³⁹ Custos internos inerentes à decisões de armazenar, estocar, descartar e manter ociosos insumos e/ou produtos.

⁴⁰ Constant Returns to Scale (retornos de escala constante).

⁴¹ Variable Returns to Scale (retornos de escala variável).

⁴² Charnes, Cooper e Rhodes (1978).

- Projetar uma superfície envoltório, denominada função eficiente, a partir do conjunto analisado, identificando dois subconjuntos: unidades eficientes (unidades que repousam sobre a linha envoltório, formando o conjunto referência) e unidades ineficientes (que estão sob a linha envoltório);
- Fornecer uma medida de eficiência relativa única agregada para cada DMU do conjunto;
- Identificar focos de melhoria com a identificação de origens e grau de ineficiência relativa nas dimensões produto e insumo;
- Tratar simultaneamente múltiplos produtos e múltiplos insumos em diferentes unidades de medida;
- Permitir acomodar na análise variáveis exógenas, julgamentos e variáveis categóricas;
- Não requerer hipóteses sobre a forma funcional relacionando insumos e produtos e sobre a distribuição dos termos de erro.

Como limitações à metodologia DEA são apontados:

- ✓ Computação intensiva, uma vez que cria-se um programa linear separado para cada DMU (*Trick, 97; Anderson, 97*);
- ✓ Dificuldades computacionais e perda de precisão por mal condicionamento das matrizes de dados (ampla variação ou intervalos muito grandes nos valores) (*Toresan, 97*);
- ✓ Possibilidade de ocorrência de um número excessivo de bases degeneradas em casos com um número muito grande de fatores (s produtos + m insumos) considerados na análise, sendo recomendado que o número de observações n seja maior ou igual a três vezes o número de fatores ($s + m$) considerados (*Golani; Roll, 89; Ali; Seiford, 93*);
- ✓ Restringe-se a estimar eficiência relativa (*Trick, 97; Anderson, 97*);
- ✓ Não permite a realização de testes de hipóteses e estatísticos (*Trick, 97; Anderson, 97*);
- ✓ A flexibilidade de escolha dos pesos pode encobrir ineficiências inerentes;
- ✓ Geração de *outliers*;
- ✓ Necessidade de conhecimentos de Pesquisa Operacional para operacionalização da análise e interpretação dos resultados.

⁴³ Banker, Charnes e Cooper (1984).

A aplicação da análise DEA na agricultura é recente, restringindo-se a estudos acadêmicos. O presente trabalho, utiliza a Análise Envoltório de Dados para compor os índices agregados agroeconômico (DEA- agroeconômico), agroenergético (DEA – agroenergético) e global (DEA – agroeconômico-energético).

Empregou-se o modelo envoltório CCR produto-orientado, o qual pressupõe retorno de escala constante, descarte forte de insumos e produtos e superfície linear por partes. Como demonstrado por Gomes (87) em pesquisa empírica, e aceito como consagrado na literatura específica e em pesquisa operacional, não há evidências da existência de economias de escala na agricultura⁴⁴. No entanto, faz-se necessário registrar o trabalho de Barni (95) que aponta retornos crescentes para propriedades orizícolas, não relatando no entanto, a faixa de extrato envolvida na amostra. Assume-se no presente trabalho, dada a pouca significância da variação do tamanho das unidades da amostra e das formulações encontradas em literatura, o pressuposto de retornos constantes de escala para o conjunto das unidades analisadas.

O grau de ineficiência é calculado pela distância radial do ponto observado (combinação de insumos e produto da unidade analisada) à um ponto projetado na função fronteira, considerado ótimo Koopmans-Pareto na direção produto.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\theta, \lambda, s, e} \mathbf{Z}_0 &= \phi + \varepsilon(1s + 1e) \\ \mathbf{X}\lambda + \mathbf{e} &= \mathbf{X}_1 \\ \phi\mathbf{Y}_1 - \mathbf{Y}\lambda + \mathbf{s} &= \mathbf{0} \\ \lambda \geq 0, \mathbf{e} \geq 0, \mathbf{s} \geq 0, \phi &\text{livre} \end{aligned}$$

Onde:

z_0 = escore de eficiência relativa da unidade avaliada;

X = matriz ($m \times n$) de insumos;

Y = matriz ($s \times n$) de produtos;

X_1 = vetor-consumo da unidade avaliada;

Y_1 = vetor-produção da unidade avaliada;

s = vetor-folga de produtos, o qual indica o acréscimo viável específico para o(s) produto(s) para a unidade avaliada além da taxa de expansão radial (ϕ);

e = vetor-excesso de insumos, o qual indica o excesso remanescente específico para o(s) insumo(s) para que a unidade alcance a eficiência;

ε = infinitesimal não-archimediana;

⁴⁴ Segundo Gomes (87) propriedades com área entre 0 a 20 ha. apresentam ganhos de escala, enquanto propriedades com área igual ou maior a 20 ha. e menores de 1000ha. não apresentam ganhos de escala.

ϕ = grau de expansão radial possível para todos os produtos dado o nível de insumos observado;

λ = vetor que indica a combinação linear das unidades para formar o ponto projetado, informando as unidades referência (eficientes para a unidade analisada).

Em virtude da ampla escala de valores dos dados utilizados, para evitar a formação de matrizes mal condicionadas, os dados foram normalizados⁴⁵ para a aplicação do modelo.

Utilizou-se o software IDEAS versão 5.1 para obter as soluções ótimas dos modelos desenvolvidos para a análise.

⁴⁵ Os valores foram divididos pelo maior valor e multiplicado por 100.

Capítulo III

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo apresentam-se os resultados obtidos, tecendo-se algumas considerações.

3.1 Dados Energéticos e Análise Descritiva dos Dados

A tabela 04 apresenta os **dados agroenergéticos** obtidos através da metodologia descrita anteriormente. Somente os dados do Balanço Energético são utilizados para a construção das medidas de desempenho das unidade. Na análise utilizaram-se somente dados do balanço energético.

Propriedade	Receita energética (kcal)	Energia cultural (kcal)	Balanço energético (kcal)
DMU 01	732.534.300	126.520.562	606.013.738
DMU 02	1.058.281.800	221.696.768	836.585.032
DMU 03	568.201.500	106.502.424	461.699.076
DMU 04	1.178.392.200	222.287.974	956.104.226
DMU 05	734.600.100	215.127.742	519.472.358
DMU 06	1.081.045.800	171.146.907	909.898.893
DMU 07	745.490.400	205.392.045	540.098.355
DMU 08	1.155.857.910	227.456.912	928.400.998
DMU 09	1.081.666.800	210.962.075	870.704.725
DMU 10	780.945.720	138.625.387	642.320.333
DMU 11	668.337.900	177.423.021	490.914.879
DMU 12	416.100.000	38.352.663	377.747.337
DMU 13	394.200.000	55.010.855	339.189.145
DMU 14	258.420.000	28.218.512	230.201.488
DMU 15	144.540.000	39.754.654	104.785.346
DMU 16	666.811.200	53.659.955	613.151.245
DMU 17	236.520.000	29.618.568	206.901.432
DMU 18	754.236.000	59.751.346	694.484.654
DMU 19	710.698.800	87.887.478	622.811.322

Tabela 04 – Dados agroenergéticos

Como mencionando anteriormente, o conjunto de dados apresenta ampla escala de valores (valores de 1,02 a 956.104.226). A Tabela 05 exhibe análise de amplitude, média e desvio padrão para cada variável.

Variável	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão
SAU (ha)	16,6	107,5	47,3	19,2
Trabalho (UTH)	1,02	4,3	2,0	0,9
Capital fixo (US\$)	9.128	104.718	41.059	24.367
Cap. circulante (US\$)	3.352	13.486	9.142	3.214
Receita de operação agrícola (US\$)	5.518	37.652	20.318	9.135
Saldo energético (kcal)	104.785.346	956.104.226	576.393.926	253.403.672

Tabela 05 – Análise estatística dos dados

Como pode-se observar, os intervalos entre os valores mínimo e máximo das quantidades de produto e insumos são amplos. O conjunto apresenta uma gama variável de combinações e uma ampla dispersão de distribuição dos valores em relação a média para cada variável, com coeficientes de variação entre 35 a 59%. As quantidades de capital fixo e trabalho apresentam maior dispersão dos dados (coeficientes de variação de 59,4% e 45%, respectivamente).

3.2 Análise das Lógicas de Abordagem e das Formas de Mensuração

A Tabela 06 apresenta os resultado dos índices de produtividade parciais e as taxas de eficiência relativa obtidos. Não houve ocorrência de bases degeneradas ou presença de outliers na resolução dos PPLs. Os escores obtidos nas soluções ótimas dos PPL-DEA⁴⁶ foram relativizados para facilitar o entendimento, utilizando-se seus valores inversos. As taxas de eficiência relativa obtidas demonstram como a unidade está operando em relação à sua produtividade ótima.

Posteriormente, apresenta-se uma descrição dos resultados obtidos nos diferentes sistemas de mensuração, procedendo-se algumas comparações e comentários.

⁴⁶ Os escores de eficiência relativos obtidos nas soluções PPL-DEA são apresentados em anexo.

Unidades Produção	ANÁLISE AGROENERGÉTICA		ANÁLISE AGROECONÔMICA		ANÁLISE GLOBAL
	Int. de Expl. Agroenergética (Kcal/ha)	DEA – Agroenergética	Int. de Expl. Agroeconômica (US\$/ha)	DEA – Agroeconômico	DEA – Global
DMU 01	16.557.752	1,00	536	1,00	1,00
DMU 02	14.399.054	0,99	569	1,00	1,00
DMU 03	17.422.607	1,00	495	1,00	1,00
DMU 04	17.088.547	0,97	609	0,99	1,00
DMU 05	10.732.900	0,80	479	0,99	0,99
DMU 06	15.796.856	1,00	476	0,80	1,00
DMU 07	10.642.332	0,66	221	0,39	0,66
DMU 08	19.627.928	1,00	609	0,99	1,00
DMU 09	15.012.150	0,85	649	1,00	1,00
DMU 10	16.925.437	0,997	691	1,00	1,00
DMU 11	11.220.912	0,57	479	0,70	0,70
DMU 12	9.026.221	0,58	283	0,76	0,83
DMU 13	6.167.075	0,53	227	0,54	0,54
DMU 14	13.867.560	0,99	512	0,93	0,94
DMU 15	6.163.844	0,45	325	0,59	0,59
DMU 16	12.780.641	0,85	365	0,74	0,85
DMU 17	4.597.810	0,71	303	1,00	1,00
DMU 18	15.097.492	0,82	472	0,83	0,89
DMU 19	5.793.594	0,66	181	0,55	0,60

Tabela 06 – Escores de produtividade parcial e de eficiência relativa das análises agroenergética, agroeconômica e global.

Análise Agroenergética

Na análise de índices de produtividade parcial, as unidades 08, 03, 04, 10 e 01, nesta ordem, classificadas como “cabeça”, apresentam os maiores índices de intensidade de exploração agroenergética, sendo consideradas unidades com melhor prática agroenergética e referência para as demais. As DMUs 17, 19, 15, 13 e 12 apresentam os menores valores, sendo consideradas “cola”.

Pela Análise DEA – Agroenergética, 20% das unidades são eficientes relativas, ou seja, as DMUs 01, 03, 06 e 08 são consideradas eficientes relativas, apresentando taxa de eficiência relativa igual a 1. A demais unidades apresentam taxas menores que a unidade, mostrando em percentual o quanto às quantidades de produtos produzidas estão em relação às suas quantidades ótimas. Por exemplo, a DMU 11 opera a uma taxa de 0,57 (57%) da capacidade na qual a unidade pode ser considerada eficiente, ou seja, de sua capacidade ótima. As DMUs 08 e 01 são indicadas 14 e 12 vezes, respectivamente, como referência para as unidades ineficientes, configurando-as como

unidades que apresentam as melhores práticas agroenergética dentre as consideradas eficientes relativas.

Como mecanismo para auxiliar a análise, o Gráfico 01 esboça a classificação das unidades produtivas em cabeça (cor vermelha), média (cor amarela) e cola (cor azul) a partir dos índices de produtividade parcial agroenergéticos, e identifica no mesmo gráfico as unidades consideradas eficientes relativas, segundo a análise DEA-Agroenergética, através de tonalidade de cor mais intensa.

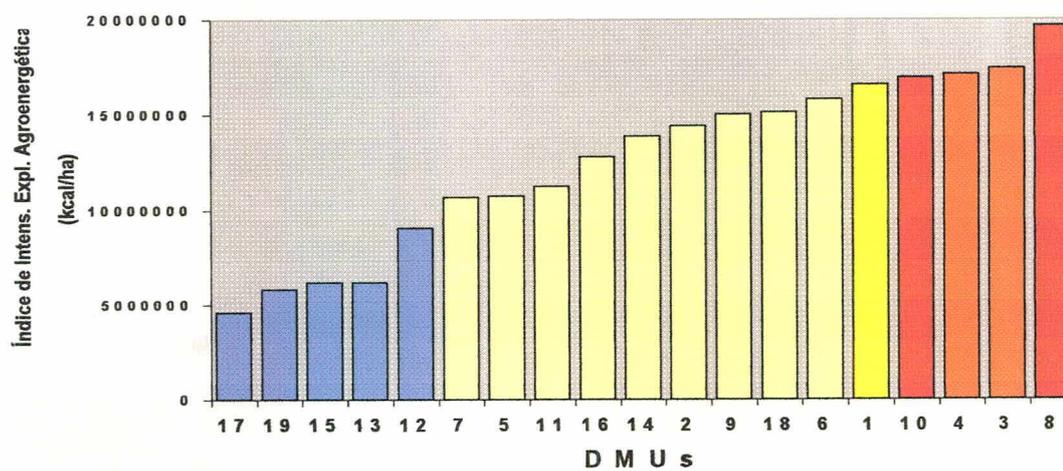


Gráfico 01 – Classificação das unidades segundo análise agroenergética

Conforme pode-se observar no Gráfico 01, três das unidades eficientes relativas DEA-Agroenergético (DMUs 08, 03 e 01) pertencem ao grupo cabeça e uma (DMU 06) ao grupo média. A análise de correlação por postos entre as medidas parciais (índices de produtividade parcial) e agregadas agroenergéticas (DEA) exprime a existência de correlação positiva alta (0,89), indicando uma aparente similaridade entre as formas de análise.

Análise Agroeconômica

Segundo a análise a partir de índices de produtividade parciais, as unidades 10, 09, 08, 04 e 02 constituem o grupo cabeça, apresentando os maiores valores de produtividade agroeconômica. As DMUs 19, 07, 13, 12 e 17 exibem os menores valores.

Pela análise DEA, as DMUs 01, 02, 03, 09, 10 e 17 (30%) são consideradas eficientes relativas agroeconomicamente, sendo as unidades 01 e 02 indicadas como referência para as unidades ineficientes 11 vezes.

Apesar das medidas parciais e agregadas agroeconômicas apresentarem uma correlação positiva considerada alta (0,78), pode-se observar uma diferença na classificação das unidades. Três das unidades consideradas eficientes relativas agroeconomicamente pelo método DEA (DMUs 10, 09 e 02) pertencem ao grupo cabeça, duas (DMUs 01 e 03) ao grupo média e uma (DMU 17) ao grupo cola, conforme pode-se observar no Gráfico 02.

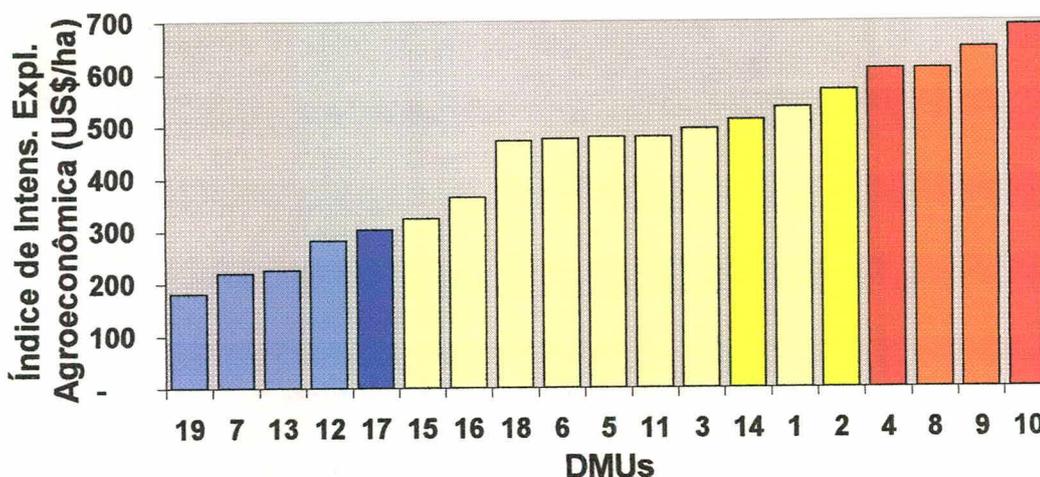


Gráfico 02 - Classificação das unidades segundo análise agroeconômica

É interessante denotar que a DMU 17 apresenta uma baixa relação ROA(US\$/SAU(ha)), no entanto, ao efetuar-se a análise considerando as relações entre a ROA e a superfície agrícola útil, o trabalho e os capitais fixos e circulante de modo integrado, a unidade apresenta combinação ótima de produto e insumos comparando-a com as das demais unidades.

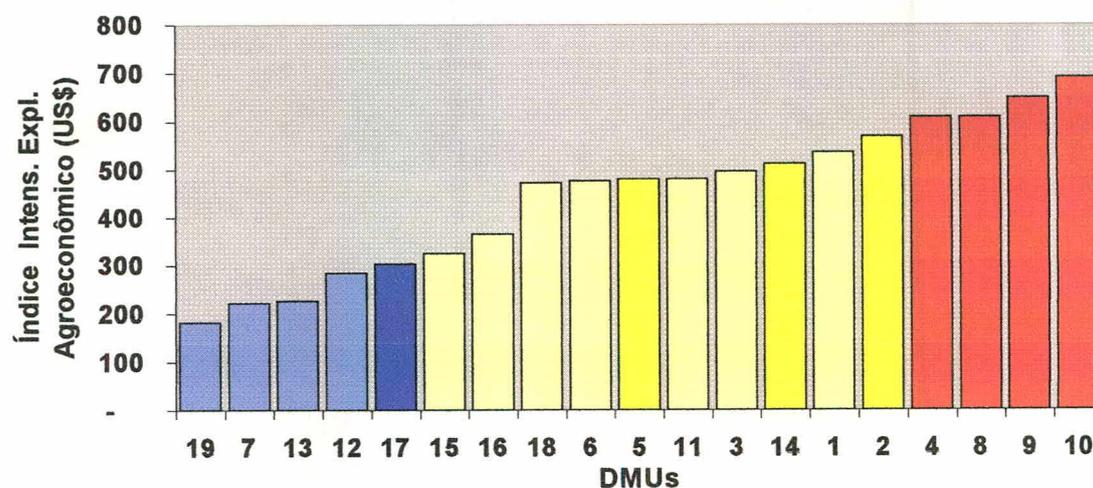
Análise Agroeconômica-Energética

A conjunção entre aspectos econômicos e energéticos foi operacionalizada somente através da análise DEA, denominada DEA-Global. Segundo tal análise, as DMUs 01, 02, 03, 04, 06, 08, 09, 10 e 17 (45%) são consideradas eficientes relativas agroeconômica-energicamente; sendo que as DMUs 01, 02 e 08 são indicadas o maior número de vezes (9, 7 e 7 vezes, respectivamente) como referências para as demais unidades ineficientes.

O Gráfico 03 esboça uma comparação entre a classificação das unidades pelo método de comparação de grupo com enfoque econômico (IE_s), comumente utilizados em programas de auxílio gerencial, e a pelo método DEA considerando aspectos

agroeconômico-energético (DEA-Global). Conforme pode-se observar no gráfico, quatro unidades pertencentes aos grupos cola e média são eficientes relativas agroeconômica-energeticamente.

Gráfico 03 – Classificação das unidades segundo a análise agroeconômica parcial e



DEA-Global

A Tabela 07 apresenta as unidades consideradas eficientes segundo a dimensão analisada e a forma de mensuração, evidenciando em negrito as que apresentam maior índice de produtividade ou que servem de referência o maior número de vezes para as consideradas ineficientes na análise DEA. A análise global (DEA) demonstra conseguir integrar e contemplar as diferentes dimensões e formas.

Intens. Expl. Agroenergética (kcal/ha)	DEA - Agroenergético	Intens. Expl. Agroeconômica (US\$/ha)	DEA - Agroeconômico	DEA - Global (agroeconômico-energético)
DMU 01	DMU 01	DMU 02	DMU 01	DMU 01
DMU 03	DMU03	DMU 04	DMU 02	DMU 02
DMU04	DMU 06	DMU 08	DMU 03	DMU 03
DMU 08	DMU 08	DMU 09	DMU 09	DMU 04
DMU10		DMU 10	DMU 10	DMU 06
			DMU 17	DMU 08
				DMU 09
				DMU 10
				DMU 17

Tabela 07 – Unidades eficientes relativas

Contrariamente ao que poderia-se imaginar, dado o aumento do rigor ao definir-se dois aspectos (econômico e energético) para a análise da eficiência, há o aumento do número de unidade consideradas eficientes na Análise DEA-Global ao invés da redução. Tal situação ocorre dado que a inclusão de mais uma linha num PPL conduz à expansão da

matriz solução ótima e a Análise DEA permite a substituição de ponderações para cada unidade⁴⁷. Uma análise mais rigorosa poderia ser efetuada através da restrição dos pesos dos insumos e do(s) produto(s).

Embora as correlações entre os sistemas de mensuração sejam positivas⁴⁸, indicando a possibilidade de construção de uma espécie de “ranking de eficiência” das unidades, a classificação das unidades de acordo com o estado de eficiência possui alterações nas diferentes dimensões de abordagem e formas de mensuração, como descritas anteriormente. A Tabela 08 apresenta a hierarquização das unidades segundo o tipo de análise.

	Intens. Expl. Agroenergética	DEA – Agroenergético	Intens. Expl. Agroeconômica	DEA – Agroeconômico	DEA – Global
1°	DMU 08	DMU 08	DMU 10	DMU 01 DMU 02	DMU 01
2°	DMU 03	DMU 01	DMU 09		DMU 02 DMU 08
3°	DMU 04	DMU 06	DMU 04 DMU 08	DMU 09 DMU 10	
4°	DMU 10	DMU 03			DMU 10
5°	DMU 01	DMU 10	DMU 02	DMU 17	DMU 03 DMU 06 DMU 09 DMU 17
6°	DMU 06	DMU 02	DMU 01	DMU 03	
7°	DMU 18	DMU 04	DMU 14	DMU 08	
8°	DMU 09	DMU 14	DMU 03	DMU 04	
9°	DMU 02	DMU 18	DMU 05 DMU 11	DMU 05	DMU 04
10°	DMU 14	DMU 09		DMU 14	DMU 05
11°	DMU 16	DMU 16	DMU 06	DMU 18	DMU 14
12°	DMU 20	DMU 12	DMU 18	DMU 06	DMU 18
13°	DMU 11	DMU 05	DMU 20	DMU 12	DMU 16
14°	DMU 05	DMU 20	DMU 16	DMU 16	DMU 12
15°	DMU 07	DMU 17	DMU 15	DMU 20	DMU 20
16°	DMU 12	DMU 07	DMU 17	DMU 11	DMU 11
17°	DMU 13	DMU 19	DMU 12	DMU 15	DMU 07
18°	DMU 15	DMU 11	DMU 13	DMU 19	DMU 19
19°	DMU 19	DMU 13	DMU 07	DMU 13	DMU 15
20°	DMU 17	DMU 15	DMU 19	DMU 07	DMU 13

Tabela 08 – Hierarquização das unidades segundo o sistema de mensuração

Como exemplo das diferenças na classificação, tomemos a DMU 17 que possui baixas relações parciais agroenergéticas (SE/ha) e agroeconômicas (ROA/ha) e apresenta-se

⁴⁷ Cada unidade escolhe o conjunto de pesos que lhe são mais convenientes.

⁴⁸ Correlações por postos entre DEA-Global e os índices de produtividade parciais a agroenergéticos (0,71) e agroeconômico (0,77) e DEA-Agroenergético (0,87) e DEA-Agroeconômico (0,93) apresentam-se altamente positivos.

ineficiente relativa na Análise Agroenergética DEA. No entanto, na Análise Agroecômica e Global DEA a DMU 17 é considerada eficiente relativa. Uma expansão da amostra poderia acentuar tais diferenças e permitir uma análise de maior significância.

De uma maneira geral, pode-se dizer que a análise DEA apresenta-se vantajosa na medida que, apoiando-se em relações de produtividade entre múltiplos produtos e múltiplos insumos, possibilita o estabelecimento de relações de *trade-off* e permite integrar as dimensões econômicas e energéticas, atendendo conceitos de sustentabilidade, mostrando-se capaz de avaliar o desempenho da unidade de forma sistêmica.

Uma análise de correlação entre as medidas das análises isoladas agroenergética e agroecômica, dentro da mesma forma de mensuração, apresentam correlações positivas altas de 0,81, no caso dos índices de produtividade parciais, e de 0,74, no caso da análise DEA.

Os Gráficos 04 e 05, que relacionam os resultados dos sistemas de mensuração de eficiência, demonstram a existência de uma correlação linear positiva entre as medidas de eficiência agroecômica e agroenergética dentre uma mesma forma de mensuração.

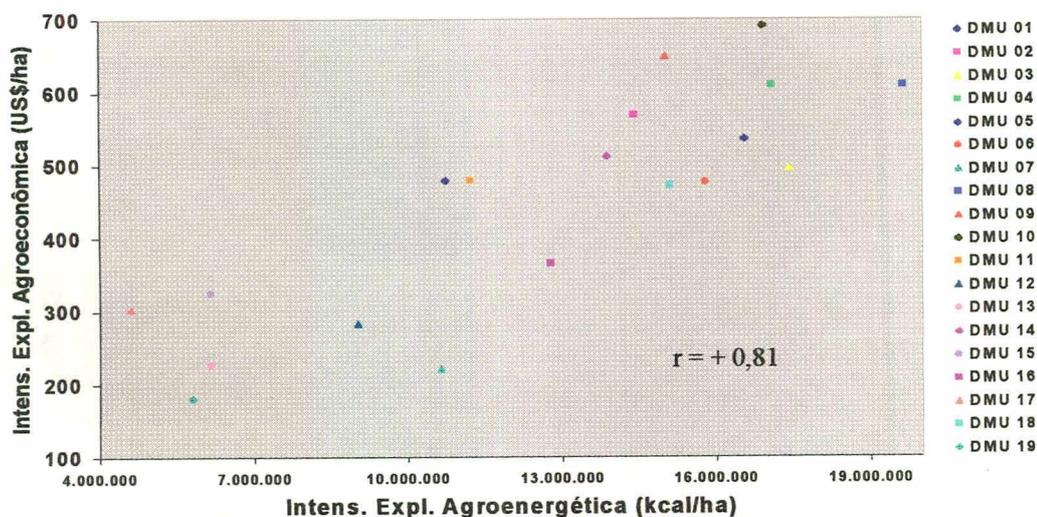


Gráfico 04 – Intensidade de exploração agroecômica (US\$/ha) x Intensidade de exploração agroenergética (kcal/ha)

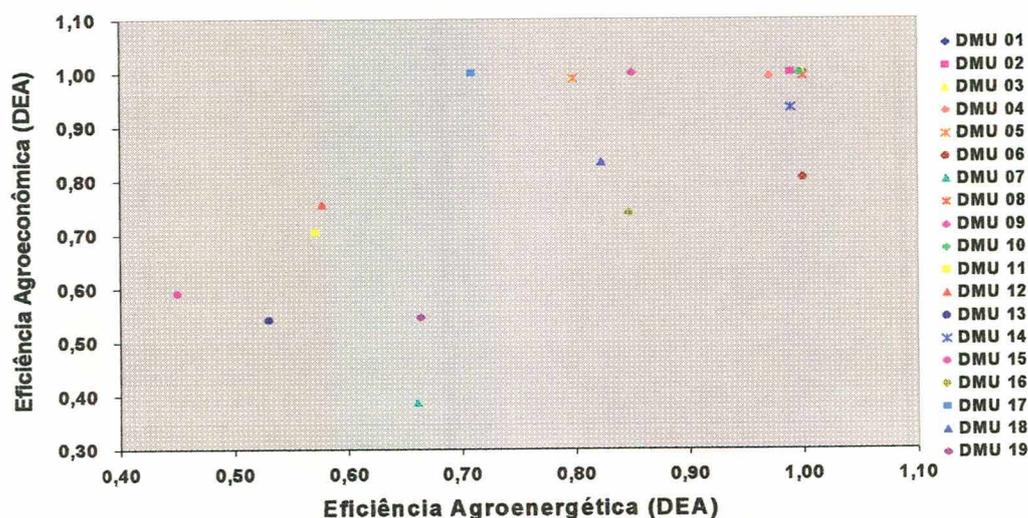


Gráfico 05 – Eficiência relativa agroeconômica x agroenergética (DEA)

A associação linearizada entre medidas econômicas e energéticas observadas nos gráficos 04 e 05 conduzem a hipótese de que o sistema de preços tem de alguma forma correspondido aos dispêndios energéticos, ou seja, que o setor econômico estaria incorporando os custos ambientais nos preços dado a necessidade de preservação dos recursos naturais.

Na tentativa de buscar elementos explicativos que conduzem a eficiência de uma unidade, a Tabela 09 apresenta algumas combinações entre insumos (relações parciais de insumos), utilizando-se das médias das mesmas para identificar algumas similaridades dentre as unidades consideradas eficientes relativas DEA-Global⁴⁹.

Conforme a Tabela 09, as DMUs eficientes relativas DEA-Global apresentam na maioria relações de superfície de área útil por unidade de trabalho homem (SAU/UTH) e Índices de Diversificação⁵⁰ (ID) menores que a média; e relações de capital circulante por superfície de área útil (KC/SAU), gastos energéticos por superfície de área útil (GE/SAU) e gastos energéticos por capital circulante (GE/KC) maiores que as médias. Em relação às combinações de capital fixo por superfície de área útil (KF/SAU) e superfície de área útil por unidade de trabalho homem (SAU/UTH) não há nenhuma tendência entre as DMUs eficientes.

⁴⁹ Para uma amostra

⁵⁰ O Índice de Diversificação mede o grau de especialização ou diversificação de uma propriedade. É definido pela expressão $I = 1 / \sum F_x^2$, onde F_x é a fração da renda bruta total proveniente da linha de exploração x .

	SAU/UTH	KF/SAU.	KC/SAU	GE/SAU	GE/KT	SAU/UTH	GE/KC	IND. DIV
DMU 01*	35,9	975	219	3.456.846	15.797	2,30	4.477	1,03
DMU 02*	23,5	744	178	3.815.779	21.385	3,04	5.180	1,03
DMU 03*	24,1	342	341	4.018.959	11.775	2,54	3.594	1,06
DMU 04*	24,5	916	241	3.972.975	16.483	2,07	4.009	1,09
DMU 05	28,8	898	157	4.444.788	28.331	2,99	5.412	1,09
DMU 06*	21,9	634	222	2.971.300	13.381	2,49	3.478	1,23
DMU 07	25,4	2.063	192	4.047.134	21.081	1,00	3.972	1,09
DMU 08*	15,8	1.148	207	4.808.814	23.202	1,01	4.356	1,11
DMU 09*	21,5	904	228	3.637.277	15.948	1,53	4.048	1,08
DMU 10*	17,3	545	279	3.652.843	13.079	3,55	4.087	1,06
DMU 11	10,2	1.667	266	4.055.383	15.270	1,05	3.732	1,54
DMU 12	18,2	752	115	916.432	7.983	3,41	1.471	1,14
DMU 13	36,7	632	149	1.000.197	6.706	2,96	1.663	1,60
DMU 14	23,7	550	236	1.699.910	7.194	0,97	2.474	1,04
DMU 15	17,0	537	197	2.338.509	11.860	0,99	3.617	1,70
DMU 16	36,9	918	197	1.118.498	5.689	1,85	1.990	1,04
DMU 17*	18,0	256	92	658.190	7.162	5,53	1.766	1,89
DMU 18	30,7	1.111	228	1.298.942	5.692	2,06	1.799	1,04
DMU 19	48,9	602	122	817.558	6.726	2,80	1.684	1,40
Média	25,2	852	203	2.775.281	13.407	2,32	3.306	1,22

Tabela 09 – Relações parciais fator-fator e índice de diversificação das DMUs

Relativo ao tamanho das DMUs, não há evidências de associação entre escala e eficiência.

Estudos adicionais comparativos destas unidades poderiam ser conduzidos de forma a identificar as diferenças ou similaridades que condicionam a eficiência/ineficiência das unidades. Por exemplo, verificar a utilização de técnicas especiais não refletidas no vetor insumo/produto (uso de cultivar X, uso de técnica de plantio Y, etc.) ou ocorrência de condições particularmente favoráveis de recursos naturais (tipo de solo, disponibilidade de água, etc.).

3.3 Informações Gerenciais

Na forma de mensuração parcial, as informações gerenciais são construídas em procedimento adicional referências administrativas a partir das médias de indicadores econômicos, energéticos, produção física, etc. das unidades (25%) com melhores resultados nos índices de produtividade, as quais servem como padrões indicativos para o grupo. A seguir apresenta-se alguns indicadores calculados a partir das unidades eficientes segundo a análise de índices de produtividade (Tabela 10).

Indicadores	Agroenergética	Agroeconômica
Trabalho humano	21,3 ha/ UTH	20,6 ha/UTH
Capital de expl. fixo	785 US\$/ha	851 US\$/ha
Capital de expl. circulante	258 US\$/ha	227 US\$/ha
Custos variáveis	528 US\$/ha	482 US\$/ha
% do item adubo nos custos	14,4 %	16 %
% do item agrotóxicos nos custos	15,4 %	13,8 %
% do item semente nos custos	7,2 %	7,4%
Custos fixos	448 US\$/ha	443 US\$/ha
Renda de operação agrícola	588 US\$/ha	626 US\$/ha
Lucro	338 US\$/ha	343 US\$/ha
% de remuneração de capital	18,7 %	15,5 %
Energia cultural	3.982.088	3.977.538 Kcal/ha
Balanco energético	17.524.454	16.610.623 kcal/há
Produção física de arroz	6.467 kg/ha	6.303 kg/ha

Tabela 10 – Indicadores de referência administrativa (Análise de Índice de Produtividade Parcial)

No método DEA, a solução do PPL associado a unidade alvo fornece padrões concretos (metas) para guiar as unidades ineficientes ao aumento da performance, definindo quantidades de acréscimo nos produtos e de redução nos insumos necessários para tornar a unidade ineficiente relativa uma unidade eficiente, fornecendo também unidades referências específicas para cada unidade ineficiente. A Tabela 11, tomando-se a análise global como referencial, apresenta os conjuntos referências para cada unidade,

Propriedade	Grupo Referência	Faceta
DMU 01	DMU 01	9
DMU 02	DMU 02	7
DMU 03	DMU 03	2
DMU 04	DMU 04	1
DMU 05	DMU 01; DMU 02	0
DMU 06	DMU 06	2
DMU 07	DMU 01; DMU 08	0
DMU 08	DMU 08	7
DMU 09	DMU 09	2
DMU 10	DMU 10	5
DMU 11	DMU 09; DMU 10	0
DMU 12	DMU 02; DMU 08	0
DMU 13	DMU 01; DMU 02, DMU 10	0
DMU 14	DMU 01; DMU 02; DMU 03; DM 10	0
DMU 15	DMU 02; DMU 10; DMU 17	0
DMU 16	DMU 01; DMU 08	0
DMU 17	DMU 17	2
DMU 18	DMU 01; DMU 08	0
DMU 19	DMU 01; DMU 08	0

Tabela 11 – Grupo de referência e facetas ocorridas (DEA – Global)

bem como o número de vezes que as unidades eficientes servem de referência para as unidades ineficientes (facetas ocorridas), identificando a(s) unidade(s) de melhor prática operacional dentre as eficientes e que podem tornar-se objeto de estudo.

A partir dos escores de eficiência e dos valores de folga/excesso obtidos pela resolução dos PPL associados ou das taxas de eficiência relativizadas, pode-se calcular os pontos projetados, os quais correspondem às quantidades ótimas de produtos e insumos para em que a unidade torna-se eficiente. A Tabela 12 exhibe os escores PPL-DEA, as taxas relativizadas de eficiência e os valores de folgas e excessos obtidos na solução ótima dos PPL DEA - Global

Propriedade	Taxa Relativ.	Escore PPL - DEA	Produtos		Insumos			
			ROA	BE	SAU.	UTH	KF	KC
DMU 01	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 02	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 03	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 04	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 05	0,99	1,01	-	8,62	6,56	-	10,95	-
DMU 06	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 07	0,66	1,51	24,02	-	4,84	-	54,19	-
DMU 08	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 09	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 10	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 11	0,70	1,42	-	2,35	-	44,07	42,9	-
DMU 12	0,83	1,20	-	-	17,24	19,57	4,94	-
DMU 13	0,54	1,85	-	0,99	12,84	-	-	-
DMU 14	0,94	1,06	-	-	1,73	-	-	-
DMU 15	0,59	1,69	-	4,34	-	2,67	-	-
DMU 16	0,85	1,18	6,99	-	4,45	-	1,4	-
DMU 17	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
DMU 18	0,89	1,13	1,91	-	-	-	4,88	3,57
DMU 19	0,60	1,68	1,04	-	43,8	-	3,08	-

Tabela 12 – Escores e taxas de eficiência e folgas/excessos de produtos e insumos (DEA-Global)

Como exemplo, tomemos a DMU 07, considerada ineficiente. A unidade opera numa taxa de 0,66 de sua eficiência, o que significa que as quantidades de produtos por ela obtidas correspondem a 66% do valor no qual a unidade é eficiente relativa. Para tornar-se eficiente, a unidade necessita de uma expansão equiproporcional dos seus produtos (ROA e SE) da ordem de $1/0,66$ (1,51) do seu valor atual. Além desta expansão

equiproporcional, a unidade apresenta a necessidade de uma adição de 24,02 % em sua renda de operação agrícola e de reduções de 4,84% na superfície agrícola útil e de 54,19% no quantidade de capital fixo para tornar-se eficiente, conforme observa-se na Tabela 12. A Tabela 13 exibe o cálculo para a obtenção dos valores eficientes (ponto projetado na fronteira), transformando os valores percentuais em valores reais, os quais foram normalizados para a aplicação da metodologia.

Variável	Valor real	%	Folga/ Excesso	Valor % Eficiente	Valor eficiente
ROA (US\$)	11.196	29,7	24,02	68,89	25.941
Balanço energ. (kcal)	540.098.355	56,5	-	85,61	816.240.519
SAU.(ha)	50,8	47,2	4,84	42,36	45,5
Trabalho (UTH)	2,0	46,5	-	46,5	2,0
Cap. fixo (US\$)	104.718	100	54,19	45,81	47.971
Cap. Circulante (US\$)	9.743	72,2	-	72,2	9.743

Tabela 13 – Cálculo das quantidades de produtos e insumos eficientes para a DMU 07

A Tabela 14 apresenta os pontos projetados eficientes para as unidades consideradas ineficientes na análise DEA-Global. Como pode-se observar, a análise DEA particulariza a informação para cada unidade, estabelecendo relações produto-insumo e insumo-insumo específicas para cada unidade.

Propriedade	ROA (US \$)	BE (kcal)	SAU. (ha)	UTH	KF (US \$)	KC (US \$)
DMU 05	23.164	606.772.425	41,3	1,7	31.991	7.593
DMU 07	25.941	816.240.519	45,5	2,0	47.971	9.743
DMU 11	29.760	718.461.652	43,8	2,4	27.960	11.619
DMU 12	14.164	452.438.081	23,3	1,5	26.347	4.804
DMU 13	23.006	636.029.214	41,2	1,5	34.784	8.203
DMU 14	9.054	245.168.070	14,7	0,7	9.128	3.923
DMU 15	9.365	219.445.042	17,0	0,9	9.128	3.352
DMU 16	23.354	723.790.977	43,2	1,3	42.620	9.433
DMU 18	25.139	781.592.258	46,0	1,5	45.992	10.011
DMU 19	33.095	1.045.672.070	60,4	2,2	61.490	13.067

Tabela 14 – Combinações eficientes de produtos e insumos para as unidades ineficientes segundo DEA-Global

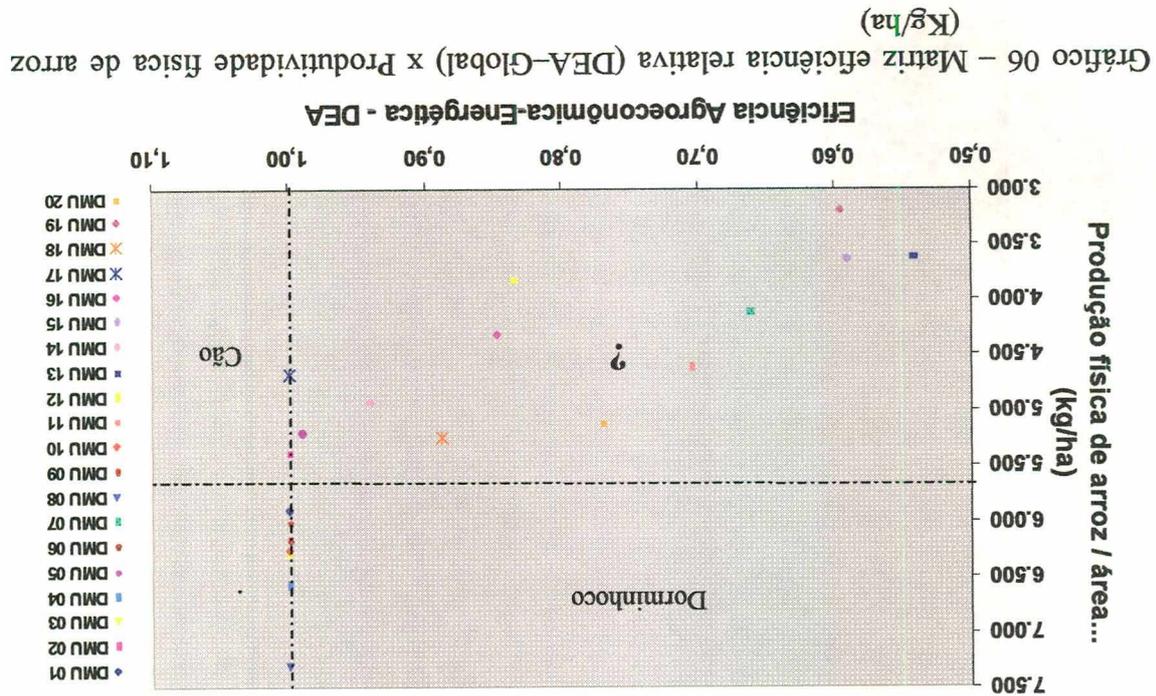
Comparando-se os somatórios dos valores reais de cada produto e de cada insumo do grupo com os somatórios dos valores ótimos eficientes, segundo a análise DEA – Global, poderia-se ter um acréscimo de 17% na Renda de operação agrícola e de 16% no Saldo energético, com uma redução de 10% da área utilizada, 6% do trabalho, 16% do quantidade de capital de exploração fixo e de 0,3% de capital circulante (Tabela 14),

o que resulta em economia de recursos com redução de custos globais da produção e de impactos ambientais.

	ROA	BE	SAU.	UTH	KF	KC
	(US \$)	(kcal)	(ha)		(US \$)	(US \$)
Valores ótimos	449.732	12.664.238,762	799,4	36	652.061	173.212
Valores reais	386.037	10.951.484,583	897,7	38	780.123	173.699
Diferença	63.695	1.712.754.179	- 98,3	- 2	- 128.062	- 487
%	16,5%	15,6%	- 11%	- 5,3%	- 16,4%	- 0,28%

Tabela 15 - Comparação entre os valores reais e os valores ótimos, segundo a análise DEA Global do grupo analisado

Através de uma matriz eficiência x produtividade física do arroz⁵¹, similiar a apresentada por *Boussoufiane et al.* (91)⁵², pode-se avaliar as unidades em termos de eficiência de gestão de seus fatores e rendimento da cultura, classificando-as segundo sua posição, conforme descreve-se a seguir.



Estrela (.): unidades com boas práticas operacionais e de gestão dos recursos com rendimento superior a média de produtividade física regional (5,6ton/ha). Pertencem a este grupo as unidades 01, 03, 04, 06, 08, 09 e 10.

⁵¹ Utilizou-se a produtividade física média regional (5,600kg/ha) como referência na análise.
⁵² Boussoufiane et al. (91) utiliza uma matriz eficiência x lucratividade.

Dorminhoco: O rendimento do cultivo estaria mais associado a condições ambientais do que a eficiência do gerenciamento. Nenhuma unidade apresenta tal comportamento.

Cão: são unidades eficientes mas com baixo rendimento dado ambiente desfavorável. Pertencem a este grupo as unidades 02, e 17.

?: unidades que apresentam baixa eficiência e baixo rendimento, necessitando melhorar sua performance. Pertencem a este grupo as unidades 05, 07, 11,12, 13, 14, 15, 16, 18, 19 e 20

Conforme pode-se constatar a maior parte das unidades eficientes (DEA- Global), com exceção das unidades 02 e 17, apresentam rendimento de cultivo do arroz superior a média regional, evidenciando uma relação direta entre a eficiência e o rendimento de cultivo.

Capítulo IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Nesta parte final do estudo, tecem-se algumas considerações sobre as dimensões de abordagem, as formas de mensuração e o detalhamento de informações gerencial na mensuração de eficiência produtiva; algumas limitações do estudo; e algumas recomendações para estudos futuros.

✓ *Quanto às dimensões de abordagem.*

Dada a reestruturação do sistema de produção nas últimas décadas pautada na internacionalização da economia e na idéia de integração entre sustentabilidade ecológica e crescimento econômico socialmente desejável; e a vinculação entre a competitividade e sustentabilidade nos sistemas agrícolas é imperioso que a avaliação da eficiência produtiva das unidades de exploração agrícola integre critérios físico-econômicos, ecológicos e social de forma sistêmica agregada.

Inúmeros esforços tem sido feitos para transpor a idéia de incompatibilidade entre eficiência ecológica e econômica. No presente trabalho, busca-se integrar critérios econômicos, através da consideração da Renda de operação agrícola, e ecológicos, através do Balanço energético, na análise da eficiência produtiva.

Outros indicadores econômicos, ecológicos e sociais, qualitativos e quantitativos, devem ser incorporados na análise, buscando adequar a análise de desempenho à complexidade dos sistemas produtivos agrícolas.

✓ *Quanto as formas de mensuração.*

Os índices de produtividade parciais incorporam, além das melhorias no uso do fator, fatores de substituição deste fator por outros, o que impõe limitações ao seu uso para casos de múltiplos produtos e múltiplos insumos na avaliação da eficiência (*Bonelli et al.*, 94; *Carvalho;Campos*, 95; *Sudit*, 95).

Os índices de produtividade total de fatores, apesar de apresentam maior abrangência da contribuição representativa de todos os fatores de produção mensuráveis envolvidos no processo produtivo, e permitir a eliminação dos efeitos de substituição, são de difícil operacionalização e podem subestimar ou superestimar os valores (*Peixoto da Silva*, 84; *Carvalho;Campos*, 95; *Sudit*, 95).

As abordagens paramétricas permitem que as hipóteses possam ser testadas com rigor estatístico (*Norman;Stoker*, 91), no entanto, diferentes hipóteses de distribuição dos termos de erro podem conduzir a diferentes estimativas de ineficiência e subestimação das possibilidades de produção, sendo que os termos podem não ser independentes das variáveis x (*Atkinson;Cornwell*, 93; *Sudit*, 95). Outras limitações do método dizem respeito a problemas de ponderação e perda de informações no espaço dos produtos (*Toresan*, 97) e o fato de requerem um conjunto de informações relativos a preços e comportamento da função de produção.

A análise DEA não requer dados sobre preços ou definições a priori de pesos e hipóteses sobre a forma funcional e distribuição de erros, identificando o grau de ineficiência relativo baseado em dados observados através de mensuração radial dos desvios da fronteira empírica, permitindo o tratamento simultâneo de insumos e produtos e de medidas de unidades diferentes (US\$, kcal, ha, etc.).

Neste sentido, os indicadores parciais, como os empregados no estudo e em trabalhos de auxílio gerencial, mostram-se incapazes de avaliar o desempenho da unidade como um todo. A análise DEA permite a conjunção de múltiplos produto e insumos, considerando diferentes dimensões na análise.

✓ *Quanto o detalhamento da informação gerencial.*

A análise DEA fornece indicações de subutilização de insumos e expansão de produtos relativas, além de unidades referência, individualizadas para cada unidade, mostrando-se mais apropriada ao auxílio gerencial.

A análise agregada DEA constitui um instrumental de maior precisão e abrangência para o apoio gerencial, permitindo a aglutinação de aspectos econômicos e energéticos na avaliação da eficiência produtiva, possibilitando o planejamento e controle do processo produtivo a partir de um referencial econômico-ecológico. A formulação de um (ou mais) software(s) que permitisse uma fácil conversão de dados brutos em informações econômicas e energéticas úteis e a determinação do estado de eficiência através do método DEA, possibilitaria a utilização de tal instrumento em trabalhos de assistência técnica-gerencial, conferindo uma aplicação prática do presente trabalho.

Como limitações e do estudo pode-se citar:

- ▶ Limitação das variáveis a serem consideradas e do número de unidades do conjunto avaliado dados os condicionantes estabelecidos de homogeneidade do conjunto a ser analisado, de possibilidade de ocorrência de soluções degenerativas, do estabelecimento do critério de que as unidades tivessem no mínimo dois anos de observação e da limitação de dados disponíveis;
- ▶ Inexistência de informações qualitativas, ambientais e sociais disponíveis;
- ▶ Fragilidade na análise energética dada a diversidade de taxas de conversão energéticas na literatura e a necessidade de um estudo adaptado às condições regionais.

Como recomendações para futuros estudos sobre o assunto, pode-se citar:

- ✓ Estudos de eficiência “sustentável” incorporando ao modelo de análise outras variáveis ecológicas e sociais, quantitativas e qualitativa, como: taxa de erosão, índice de biodiversidade, indicador de qualidade de produto, indicadores de qualidade de vida (gastos familiares mensais, bens domésticos, etc.), entre outros.
- ✓ Estudo relativo aos fatores que condicionam a eficiência produtiva das unidades, tais como:

- Fatores situacionais (idade, escolaridade, acessos à informação, etc.) e comportamentais (necessidades e determinações, valores, habilidade, criatividade, aversão ao risco, receptividade à inovação, estilo gerencial, etc.)
- Fatores internos (processo e tecnologia produtivos, análise qualitativo de fluxo energético, processo de comercialização, gestão financeira, sistemas de informação e controle, inovação tecnológica, estratégias de produção, de comercialização e financeira, capacitação e gestão de recursos humanos, entre outros), associando-os ao grau de eficiência das mesmas.
- ✓ Estudo referente a eficiência dos diferentes sistemas utilizados no cultivo de arroz: sistema convencional, cultivo mínimo, plantio-direto e pré-germinado.
- ✓ Formulação de um software de interface “amigável” para mensuração do estado de eficiência das unidades de produção agrícola considerando aspectos agroeconômicos agroenergéticos e sociais, utilizando o método DEA, para utilização nos programas de auxílio gerencial.
- ✓ Estimativas de redução potencial de insumos e, conseqüentemente, de impactos ambientais, através da aplicação análise DEA considerando as quantidades de insumos aplicados (adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos, calcário, pesticidas, combustíveis, etc.) nos processos produtivos agrícolas.
- ✓ Monitoramento da evolução de eficiência sob o tempo através da análise DEA, associando a inovações tecnológicas e organizacionais, políticas agrícolas, assistência técnica dentre outros aspectos.
- ✓ Limitação da variação dos pesos determinados pelo modelo, quer seja através de imposição de intervalos, estabelecimento de relações entre os pesos de insumos e de produtos, entre outras formas.
- ✓ Aplicação de outros modelos considerando retorno de escala variável, variáveis categóricas, mensuração não radial, entre outros aspectos, expandindo a análise inicial.

ANEXOS

ANEXO A : ANÁLISE ENVOLTÓRIO DE DADOS – DEA

1. Conceitos e Noções Fundamentais na Abordagem DEA

As diferentes possibilidades técnicas de produção, definida a tecnologia, são representadas através da função de produção que relaciona as quantidades de insumo e produto do processo produtivo. A função de produção ou fronteira de produção pode ser definida com relações matemáticas (equação, tabela ou gráfico) os quais descrevem a quantidade máxima de produto(s) que pode(m) ser produzido(s), num período de tempo determinado, a partir de um conjunto específico ou combinação de insumos utilizando a melhor técnica ou alternativa de produção disponível, dada uma tecnologia existente. (*Ferguson, 87; Portugal, 96*)

Na teoria microeconômica, a função de produção teórica delimita o conjunto de possibilidades de produção definido como ótimo teórico, fornecendo base para a construção das isoquantas e do mapa de produção¹. Dada a dificuldade de obter os ótimos teóricos, tem-se recorrido as fronteiras de produção empíricas, as quais correspondem a uma linha envoltório descrita a partir de respostas possíveis-reais (*outputs*) para uma dado conjunto de esforços conhecidos (*inputs*).

Uma função de produção reflete o estado tecnológico e é alterada com o progresso tecnológico. O conjunto de possibilidades de produção e do design da fronteira é definido pela tecnologia através de um conjunto de axiomas e propriedades.

A fronteira de produção construída corresponde a uma linha envoltório linear ou log-linear por partes formada pela combinação linear de atividades produtivas extremas, ou seja, unidades observadas eficientes tecnicamente relativo ao conjunto de unidades observadas. O grau de ineficiências existentes é manifestado pelos desvios em relação a esta fronteira empírica construída, sendo calculado pela distância (radial ou não radial)

¹ Família de isoquanta.

do ponto observado (combinação de insumos e produtos da unidade alvo) à um ponto projetado na função fronteira.

As noções de ótimo de Koopmans-Pareto, medidas de Farrell e função distância de Shephard configuram as bases para o desenvolvimento da Análise Envoltório de Dados.

O conceito de eficiência técnica em casos de múltiplos produtos e múltiplos insumos foi definido por Koopmans *apud Charnes et al.* (85), segundo o qual uma unidade de produção é tecnicamente eficiente se:

- (a) nenhum de seus produtos pode ser aumentado sem (1) aumentar um ou mais de seus insumos, ou (2) decrescer algum de seus outros produtos; ou
- (b) nenhum de seus insumos pode ser reduzido sem (1) decrescer algum de seus produtos, ou (2) aumentar algum de seus outros insumos.

O conceito de “função distância” foi desenvolvido nos trabalhos de Shephard e Malmqvist. Uma função distância $D(X,Y)$, dado o conjunto de insumos $L(y)$ e o conjunto de produção $P(x)$, é definida como $D(X,Y) = \min\{\phi : y/\phi \in P(x)\}$ ou $D(X,Y) = \max\{\theta : x/\theta \in L(y)\}$ ².

Farrell estabeleceu os fundamentos para a mensuração da eficiência técnica para casos de singular insumos e singular produtos. Farrel demonstrou que a eficiência global pode ser decomposta em eficiência técnica e alocativa.

Dado uma amostra de unidades produtivas, com função de produção linearmente homogênea, considerando dois insumos (I_1 e I_2) utilizados para produzir um produto P_1 . A curva QQ' representa a isoquanta-unitária e a linha CC' descreve o plano de minimização de custo – linha isocusto-unitária (Figura 01).

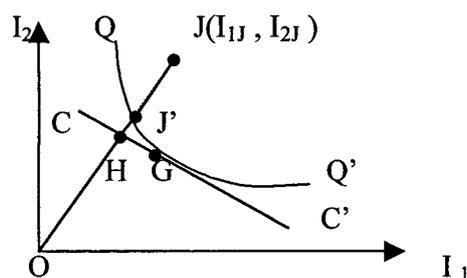


Figura 01 - Eficiência técnica e alocativa

² θ e ϕ podem ser interpretados como fatores de redução e expansão, respectivamente, do raio projetado entre o ponto observado e o ponto projetado na isoquanta-unitária ou linha isocusto-unitária passando pela origem

A eficiência técnica (T) da unidade J (ponto J descrito pela combinação de insumos (I_{1J}, I_{2J})) é mensurada como a distância radial do ponto J até a isoquanta, calculada pela razão entre a distância da origem à isoquanta-unitária e a distância da origem ao ponto J (combinação observada), $ET = OJ'/OJ$. A eficiência alocativa (EA) é dada pela razão entre a distância da origem à linha isocusto-unitária e a distância entre a origem e o ponto eficiente tecnicamente projetado na isoquanta-unitária (ponto J'), $EA = OH/OJ'$. A eficiência global (EG) é, então, definida como a combinação entre a eficiência técnica pura e a eficiência alocativa, $EG = ET * EA = OJ'/OJ * HO/OJ' = HO/OJ$ (Paris, 91; Norman;Stoker, 91).

A medida de eficiência técnica relativa é dada pelo inverso da função distância $D(X,Y)^{-} = 1/ D(X, Y)$ (BANNISTER et al., 95; BANKER et al., 84). A medida de eficiência técnica de Debreu-Farrel é definida como:

- com orientação-produto:

$DFo(X,Y) = \max\{\phi : \phi y \in P(x)\}$, $DFo(X, Y) \geq 1$, indicando a taxa de expansão da produção para um dado nível de insumo (Toresan, 97).

- com orientação insumo:

$DFi(X,Y) = \min\{\theta : \theta x \in L(y)\}$ $DFi(X,Y) \leq 1$, identificando a taxa de retração do nível de insumos para um dado nível de produção.

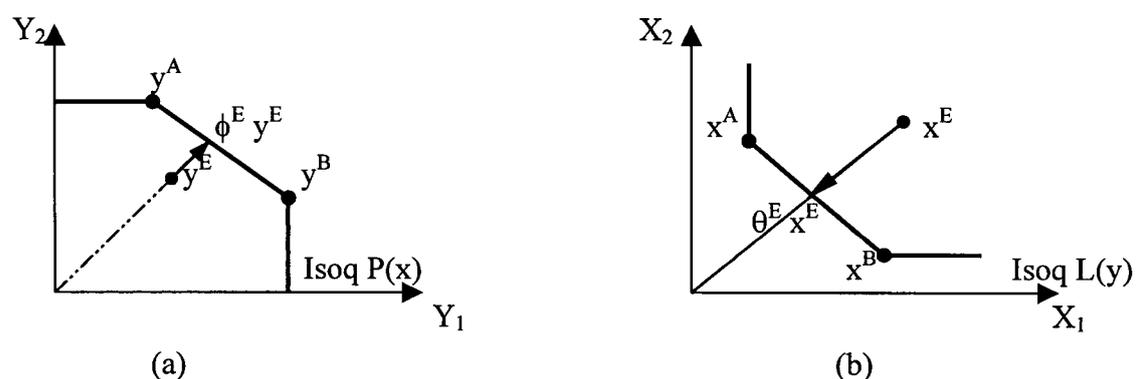


Figura 02 - Medidas de eficiência produto-orientado (a) e insumo-orientado (b)

2. Modelos DEA

As diferenças fundamentais entre os diversos modelos desenvolvidos relacionam-se a: superfície de envelopamento (tipo de combinações e suposições sobre o retorno de escala), o tipo de projeção do ponto à fronteira eficiente e o tipo de unidade de mensuração (variante ou invariante).

(1) *Tipo de combinação.* As medidas de eficiência relativa podem empregar combinações aditivas de insumos e produtos para formar a linha envoltório e o raio de projeção, resultando em superfície linear por partes (modelos aditivo, CCR e BCC); ou combinações multiplicativas de insumos e produtos, originando uma superfície log-linear por partes ou Cobb-Douglas por parte (modelos multiplicativos invariante ou variante) (Figura 03).

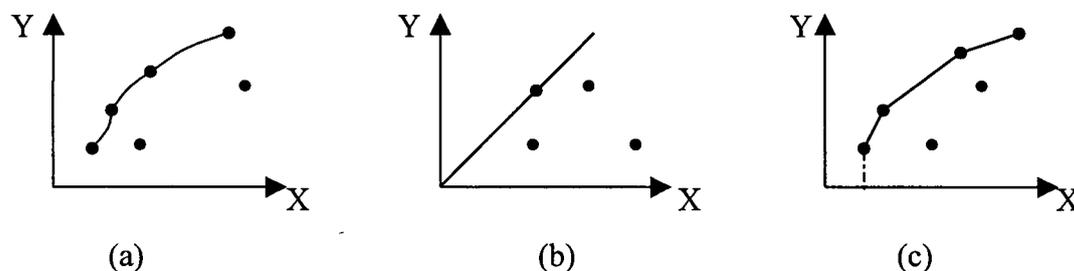


Figura 03 - Superfícies Coob-Douglas por partes (a) e Linear por parte ((b) e (c))

(2) *Tipo de retorno de escala*³. Os modelos podem descrever as relações de alteração de escala como retorno de escala constante (CRS⁴) ou retorno de escala variável (VRS⁵).

Em superfícies CRS, o envelopamento consiste de hiperplanos em \mathfrak{R}^{m+s} que forma, a partir dos ponto (Y_j, X_j) , facetas de casco cônico, onde todo hiperplano suporte passa pela origem⁶. O ponto projetado (\hat{Y}_1, \hat{X}_1) é uma combinação linear de unidades eficientes que repousam sobre a fronteira eficiente (Modelos multiplicativo variante e CCR) (Ali;Seiford, 93).

Em superfícies VRS, o envelopamento consiste de segmentos de reta ou superfície poligonal suporte em \mathfrak{R}^{m+s} que compõe facetas de casco convexo dos pontos observados (Y_j, X_j) , excluindo a origem ($w \neq 0$). O ponto projetado (\hat{Y}_1, \hat{X}_1) é obtido pela combinação convexa de unidades que encontram-se sobre a faceta de envelopamento $[\sum \lambda_j = 1]$ (Modelos multiplicativo variante e BCC) (Figura 04).

³ Implicações sobre a relação $x \rightarrow y$ devido à expansão ou retração na escala (dimensão) da produção.

⁴ Constant Returns to Scale

⁵ Variable Returns to Scale

⁶ A constante de intercepção, w , é considerada 0 e o hiperplano, definido por $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 0$

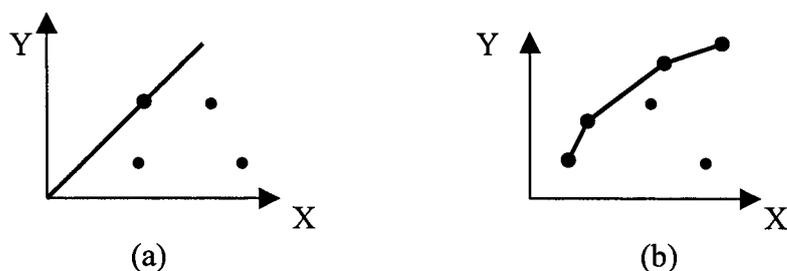


Figura 04 - Superfície CCR (a) e VRS (b)

(3) *Tipo de projeção.* A medida de ineficiência relativa (discrepância entre (Y_1, X_1) e (\hat{Y}_1, \hat{X}_1)) pode ser obtida a partir de projeções não radiais L do tipo L_1 ou e^{L_1} (modelos aditivo e multiplicativo) ou a partir de projeções radiais⁷ orientadas a insumos ou a produtos.

Em projeções insumo-orientadas, a projeção busca uma taxa de contração proporcional de insumos (θ); já em projeções produto-orientadas, busca-se uma taxa de ampliação da proporcional dos produtos (ϕ) (Figura 05). A execução de tais modelos pode ser efetuada em: (a) dois estágios, num primeiro estágio identifica-se um ponto intermediário ($[Y_1, \theta X_1]$ no modelo insumo-orientado ou $[\phi Y_1, X_1]$ no modelo produto-orientado) e num segundo, obtêm-se o ponto projetado ($[Y_1 + s_1, \theta X_1 - e_1]$ ou $[\phi Y_1 + s_1, X_1 - e_1]$); ou (b) num único passo através do emprego de uma constante archimediana (ϵ) para obter a solução seqüencial de um par de medidas (modelos CCR e BCC).

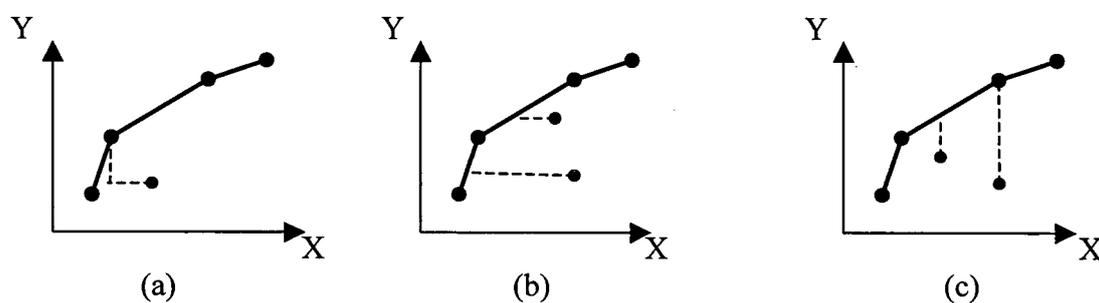


Figura 05 - Projeções L (a), insumo-orientada (b) e produto-orientada (c)

A seguir apresenta-se um quadro que sumariza as características dos diversos modelos (Tabela 01).

Modelo	Retorno de Escala	Superfície de Envolvimento	Projeção	Ponto Projetado	Unidade das variáveis	Escalar ε
Aditivo	Variável	Linear por partes	L_1 ($z \leq 0$)	$Y_0 \rightarrow Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow X_0 - e$	Variante	Não
Multiplicativo Invariante	Variável (Log-linear)	Coob-Douglas por partes	e^L_1 ($e^s \geq 1, 0 < e^e \leq 1$)	$Y_0 \rightarrow Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow X_0 - e$	Invariante	Não
Multiplicativo variante	Constante (Log-linear)	Log-linear por partes	e^L_1 ($e^s \geq 1, 0 < e^e \leq 1$)	$Y_0 \rightarrow Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow X_0 - e$	Variante	Não
CCR-insumo	Constante	Linear por partes	Radial ($\theta \leq 1$)	$Y_0 \rightarrow Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow \theta X_0 - e$	Invariante	Sim
CCR-produto	Constante	Linear por parte	Radial ($\phi \geq 1$)	$Y_0 \rightarrow \phi Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow X_0 - e$	Invariante	Sim
BCC-insumo	Variável	Linear por partes	Radial ($\theta \leq 1$)	$Y_0 \rightarrow Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow \theta X_0 - e$	Invariante	Sim
BCC-produto	Variável	Linear por partes	Radial ($\phi \geq 1$)	$Y_0 \rightarrow \phi Y_0 + s$ $X_0 \rightarrow X_0 - e$	Invariante	Sim

Tabela 01 - Comparação dos modelos DEA

Fonte: Charnes et al. (93)

3. Formulações Algébricas dos Modelos (Notação matricial)

Símbolos:

$h_0 = z_0$ = escore de eficiência relativa da DMU avaliada;

X = matriz ($m \times n$) de insumos;

Y = matriz ($s \times n$) de produtos;

X_1 = vetor-consumo da DMU avaliada;

Y_1 = vetor-produção da DMU avaliada;

μ = vetor s de pesos dado aos r produtos determinados pela solução do problema;

ν = vetor m de pesos dado aos i insumos determinados pela solução do problema;

w_0 = vetor que define as constantes de interceptação do eixo y ;

s = vetor-folga de produtos;

e = vetor-excesso de insumos;

ε = infenitesimal não-archimediana;

ϕ = grau de expansão radial possível para todos os produtos dado o nível de insumos observado;

θ = grau de contração radial possível para todos os insumos dado o nível de produtos observado;

λ = vetor que indica a combinação (linear ou convexa) das DMUs para formar o ponto projetado;

n = número de unidades;

s = número de produtos;

m = número de insumos;

o = subscrito que indica a DMU alvo.

⁷ As medidas radiais são obtidas através da projeção de um raio do vetor de produção (x_{ij}, y_{ij}) da DMU alvo, ou seja, a unidade em análise até a fronteira eficiente, obtendo-se uma taxa (proporcional) de expansão ou retração de produto ou insumo para alcançar a condição eficiente.

(1) Modelo Aditivo

Aditivo Multiplicador VRS:

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{h}_0 &= \mu \mathbf{Y}_1 - \nu \mathbf{X}_1 + \omega_1 \\ \mu, \nu, \omega \\ \mu \mathbf{Y} - \nu \mathbf{X} + \mathbf{1}\omega &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -1 \quad -\nu &\leq -1 \end{aligned}$$

Aditivo Envoltório VRS:

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{z}_0 &= -\mathbf{1s} - \mathbf{1e} \\ \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{s} &= \mathbf{Y}_1 \\ -\mathbf{X}\lambda - \mathbf{e} &= -\mathbf{X}_1 \\ \mathbf{1}\lambda &= \mathbf{1} \\ \lambda \geq 0 \quad \mathbf{e} \geq 0 \quad \mathbf{s} &\geq 0 \end{aligned}$$

Aditivo Multiplicador CRS:

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{h}_0 &= \mu \mathbf{Y}_1 - \nu \mathbf{X}_1 \\ \mu, \nu \\ \mu \mathbf{Y} - \nu \mathbf{X} &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -1 \quad -\nu &\leq -1 \end{aligned}$$

Aditivo Envoltório CRS

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{z}_0 &= -\mathbf{1s} - \mathbf{1e} \\ \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{s} &= \mathbf{Y}_1 \\ -\mathbf{X}\lambda - \mathbf{e} &= -\mathbf{X}_1 \\ \lambda \geq 0 \quad \mathbf{e} \geq 0 \quad \mathbf{s} &\geq 0 \end{aligned}$$

(2) Modelo Multiplicativo

Multiplicativo Invariante Envoltório

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{z}_0 &= -\mathbf{1s} - \mathbf{1e} \\ \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \text{Log } (\mathbf{Y})\lambda - \mathbf{s} &= \text{Log } (\mathbf{Y}_1) \\ \text{Log } (\mathbf{X})\lambda + \mathbf{e} &= \text{Log } (\mathbf{X}_1) \\ \mathbf{1}\lambda &= \mathbf{1} \\ \lambda \geq 0 \quad \mathbf{e} \geq 0 \quad \mathbf{s} &\geq 0 \end{aligned}$$

Multiplicativo Invariante Multiplicativo

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{h}_0 &= \mu \text{Log } (\mathbf{Y}_1) - \nu \text{Log } (\mathbf{X}_1) + \omega_1 \\ \mu, \nu, \omega \\ \mu \text{Log } (\mathbf{Y}) - \nu \text{Log } (\mathbf{X}) + \mathbf{1}\omega &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -1 \quad -\nu \leq -1 \quad \omega &\text{ livre} \\ \lambda \geq 0 \quad \mathbf{e} \geq 0 \quad \mathbf{s} &\geq 0 \end{aligned}$$

Multiplicativo Variante Envoltório

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{z}_0 &= -\mathbf{1s} - \mathbf{1e} \\ \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \text{Log } (\mathbf{Y})\lambda - \mathbf{s} &= \text{Log } (\mathbf{Y}_1) \\ \text{Log } (\mathbf{X})\lambda + \mathbf{e} &= \text{Log } (\mathbf{X}_1) \\ \lambda \geq 0 \quad \mathbf{e} \geq 0 \quad \mathbf{s} &\geq 0 \end{aligned}$$

Multiplicativo Variante Multiplicativo

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{h}_0 &= \mu \text{Log } (\mathbf{Y}_1) - \nu \text{Log } (\mathbf{X}_1) \\ \mu, \nu, \omega \\ \mu \text{Log } (\mathbf{Y}) - \nu \text{Log } (\mathbf{X}) &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -1 \quad -\nu \leq -1 \end{aligned}$$

(3) Modelo CCR

CCR Insumo-orientado - Envoltório :

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{z}_0 &= \theta - \varepsilon(\mathbf{1s} + \mathbf{1e}) \\ \theta, \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{s} &= \mathbf{Y}_1 \\ \theta \mathbf{X}_1 - \mathbf{X}\lambda - \mathbf{e} &= \mathbf{0} \\ \lambda \geq 0, \mathbf{e} \geq 0, \mathbf{s} \geq 0, \theta &\text{ livre} \end{aligned}$$

CCR Insumo-orientado - Multiplicativo:

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{h}_0 &= \mu \mathbf{Y}_1 \\ \mu, \nu \\ \nu \mathbf{X}_1 &= \mathbf{1} \\ \mu \mathbf{Y} - \nu \mathbf{X} &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -\varepsilon \mathbf{1} \quad -\nu &\leq -\varepsilon \mathbf{1} \end{aligned}$$

CCR Produto-orientado - Envoltório

$$\begin{aligned} \text{Max } \mathbf{z}_0 &= \phi + \varepsilon(\mathbf{1s} + \mathbf{1e}) \\ \phi, \lambda, \mathbf{s}, \mathbf{e} \\ \mathbf{X}\lambda + \mathbf{e} &= \mathbf{X}_1 \\ \phi \mathbf{Y}_1 - \mathbf{Y}\lambda + \mathbf{s} &= \mathbf{0} \\ \lambda \geq 0, \mathbf{e} \geq 0, \mathbf{s} \geq 0, \phi &\text{ livre} \end{aligned}$$

CCR Produto-orientado - Multiplicativo:

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{h}_0 &= \nu \mathbf{X}_1 \\ \mu, \nu \\ \mu \mathbf{Y}_1 &= \mathbf{1} \\ \mu \mathbf{Y} - \nu \mathbf{X} &\leq \mathbf{0} \\ -\mu \leq -\varepsilon \mathbf{1} \quad -\nu &\leq -\varepsilon \mathbf{1} \end{aligned}$$

(4) Modelo BCC

BCC Insumo-orientado - Envoltório

$$\begin{aligned} \underset{\theta, \lambda, s, e}{\text{Min}} \quad & z_0 = \theta - \varepsilon(\mathbf{1s} + \mathbf{1e}) \\ & \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{s} = \mathbf{Y}_i \\ & \theta \mathbf{X}_i - \mathbf{X}\lambda - \mathbf{e} = \mathbf{0} \\ & \mathbf{1}\lambda = \mathbf{1} \\ & \lambda \geq 0, \mathbf{e} \geq 0, \mathbf{s} \geq 0, \theta \text{ livre} \end{aligned}$$

BCC Insumo-orientado - Multiplicativo:

$$\begin{aligned} \underset{\mu, v}{\text{Max}} \quad & \mathbf{h}_0 = \mu \mathbf{Y}_i + w \\ & v \mathbf{X}_i = 1 \\ & \mu \mathbf{Y} - v \mathbf{X} + \mathbf{1}w \leq \mathbf{0} \\ & -\mu \leq -\varepsilon \mathbf{1} \quad -v \leq -\varepsilon \mathbf{1} \end{aligned}$$

BCC Produto-orientado - Envoltório

$$\begin{aligned} \underset{\theta, \lambda, s, e}{\text{Max}} \quad & z_0 = \phi - \varepsilon(\mathbf{1s} + \mathbf{1e}) \\ & \mathbf{X}\lambda + \mathbf{e} = \mathbf{X}_i \\ & \phi \mathbf{Y}_i - \mathbf{Y}\lambda + \mathbf{s} = \mathbf{0} \\ & \mathbf{1}\lambda = \mathbf{1} \\ & \lambda \geq 0, \mathbf{e} \geq 0, \mathbf{s} \geq 0, \phi \text{ livre} \end{aligned}$$

BCC Produto-orientado- Multiplicativo:

$$\begin{aligned} \underset{\mu, v}{\text{Min}} \quad & \mathbf{h}_0 = v \mathbf{X}_i + w \\ & \mu \mathbf{Y}_i = 1 \\ & -\mu \mathbf{Y} + v \mathbf{X} + \mathbf{1}w \geq \mathbf{0} \\ & \mu \geq \varepsilon \mathbf{1} \quad v \geq \varepsilon \mathbf{1} \end{aligned}$$

4. Extensões

Inúmeros ajustes tem sido desenvolvidos para acomodar situações específicas de análise. Tais ajustes, denominados de extensões dos modelos desenvolvidos, buscam adaptar as formulações algébricas para incluir variáveis ou condições particulares do conjunto avaliado ou acondicionar inconsistência ou complementaridade dos dados (Ali; Seiford, 93).

A literatura apresenta as seguintes extensões (Charnes et al., 93; Ali; Seiford, 93):

(1) *Uso de variáveis categóricas.* O modelo construído acomoda a existência de categorias ou classes no conjunto de DMUs avaliado, permitindo a incorporação de variáveis discretas (ex.: estrutura fundiária –faixas de área de propriedade) ou binárias (ex.: mecanização ou não-mecanização) as quais definem as categorias e condicionam a avaliação da DMU segundo sua categoria.

(2) *Uso de variáveis não controláveis.* Pressupondo a existência de subconjunto de variáveis controláveis e não-controláveis, os modelos são formulados omitindo da função objetivo as folgas de produtos e excessos de insumos dos quais a unidade não tem domínio (ex.: características de solo e topografia, nível de precipitação).

(3) *Incorporação de julgamentos ou conhecimentos.* Julgamentos, preferência e conhecimentos podem ser adidos ao modelo através de restrição sobre flutuações nos valores (imposição de limites inferior e superior ou relações entre os pesos (razões ou

diferenças)) e/ou hierarquização dos pesos, para gerar maior grau de precisão real na análise.

(4) *Análise de janela*. Permite a análise da evolução da eficiência relativa no tempo ou de progresso tecnológico, uma vez que considera os dados de uma DMU em diferentes períodos como uma DMU diferente, construindo intervalos temporais para análise, denominados de janelas.

(5) *Relaxamento da condição de convexidade na definição da tecnologia*. O modelo relaxa a restrição de convexidade de $P(x)$ e $L(y)$ e mantém descarte forte dos insumos e produtos, sendo a fronteira eficiente constituída por pontos eficientes (Free Disposal Hull).

ANEXO B : ESCORES DE EFICIÊNCIA RELATIVA DEA (PPL)

Unidades Produção	DEA - Agroenergética	DEA – Agroeconômico	DEA – Global
DMU 01	1,00	1,00	1,00
DMU 02	1,01	1,00	1,00
DMU 03	1,00	1,00	1,00
DMU 04	1,03	1,01	1,00
DMU 05	1,25	1,01	1,01
DMU 06	1,00	1,24	1,00
DMU 07	1,51	2,58	1,51
DMU 08	1,00	1,01	1,00
DMU 09	1,18	1,00	1,00
DMU 10	1,003	1,00	1,00
DMU 11	1,75	1,42	1,42
DMU 12	1,21	1,32	1,20
DMU 13	1,89	1,85	1,85
DMU 14	1,10	1,07	1,06
DMU 15	2,22	1,69	1,69
DMU 16	1,18	1,35	1,18
DMU 17	1,41	1,00	1,00
DMU 18	1,12	1,20	1,13
DMU 19	1,68	1,83	1,68
DMU 20	1,31	1,37	1,30

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J. L. P. et al. Análise da eficiência técnica em zonas agroecológicas brasileiras. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 32, Brasília/DF, 1994. **Anais**. Brasília : SOBER, 1994. v.2 : 257-275.
- ALI, A. I.; SEIFORD, L. M. The mathematical programming approach to efficiency analysis. In: FRIED, A. H. et al. **The measurement of productive efficiency: Techniques and applications**. New York : Oxford University Press, 1993 : 120-159.
- ANDERSON, T. A **data envelopment analysis (DEA)** Homepage (http://www.emp.pdx.edu/dea/homedea.html#Related_Internet_Sites), 1997.
- ARAÚJO, A. L. M. Indicadores de qualidade e produtividade como instrumento de apoio à decisão no processo de expedição de veículos. **Produção**, 7(2) nov. 1997 : 139-157.
- ATKINSON, S. E.; CORNWELL, C. Measuring technical efficiency with panel data. **Journal of Econometrics**. 59(1993) : 257-261.
- ÁVILA, A. F. D.; EVERSON, R. E. Total factor productivity growth in brazilian agriculture and the role of agricultural research. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v 1 : 631-657.
- BANKER, R. D. et al. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, 30(9) 1984 : 1078-1092.
- BARNI, E. J. et al. **Economias de escala na produção de arroz irrigado em Santa Catarina**. Florianópolis : EPAGRI, 1995. 19p. (EPAGRI. Documentos, 159).
- BARRIGA, C. Tecnologia e competitividade em agronegócios. **Revista de Administração**, 30 (4) 1995 : 83-90.

- BATTESE, G. E. et al. An investigation of technical inefficiencies of production of wheat farmers in four districts of Pakistan. **Journal of Agricultural Economics**, 47(1) 1996 : 37-49.
- BONELLI, R. et al. Indicadores microeconômicos do desempenho competitivo. **Revista de Administração**, 19(2)1994 : 3-19.
- BOUSSOFIANE, A. et al. Applied Data Envelopment Analysis, **European Journal of Operational Research**, 52(1991) : 1-15.
- BRASIL.MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional**. Brasília, 1997. 153p.
- BRAVO-URETA, B. E.; RIEGER, L. Alternative production frontier methodologies and dairy farm efficiency. **Journal of Agricultural Economics**, 41(1990) : 215-226.
- CÂMARA, S. F. Análise das mudanças nas eficiências dos fatores de produção na agricultura cearense de 1985 a 1992. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.1 : 584-596.
- CARMO, M.S. et al. Eficiência energética da produção agrícola e do refinamento do óleo de amendoim. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31, Ilhéus/BA, 1993. **Anais**. Brasília : SOBER, 1993. v.2 : 605-617.
- CARVALHO, R. B.; CAMPOS, R. T. Evolução da produtividade de fatores de produção da cajucultura do nordeste. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.1 : 567-583.
- CHAMBERS, R. G.; RULON, D. P. Aggregate Productivity Measures **American Journal of Agricultural Economics**, 78 (December) 1995 : 1360-1365
- CHARNES, A. et al. **Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications**. 2^a ed. Massachusetts : Kluwer Academic Publishers, 1996. 513p.
- q CHAVAS, J. P. ; COX, T. L. Production Analysis: a non-parametric time series application to US agriculture. **Journal of Agriculture Economics**. 48(3) 1997 : 330-348.

- COMITRE, V. A eficiência energética na atividade florestal. **Informações Econômicas**. São Paulo, 25(10) 1995 : 61-67.
- DOGRAMACI, A. **Productivity analysis – A range of perspective**. Boston : Martinus Nijhoff Publishing, 1981. 177p.
- DOSSA, D.; CAUS, S. Avaliação técnica-econômica e rentabilidade de 8 propriedades agrícolas no Paraná. O método de comparação entre produtores. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.1 : 597-617.
- FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series A 120, part.III, 1957 : 253-290.
- FERGUSON, C. E. **Microeconomia**. 10.ed. Rio de Janeiro : Forense, 1987. 610p.
- FERNANDES FILHO, J. F.; FRANCIS, D. G. Agricultura familiar nos cerrados da região Monte Carmelo e a questão da sustentabilidade. In: CHIKI, S.; GRAZIANO, J.; ORTEGA, A. C. (Org.) **Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**, Uberlândia : FEPAMIG, 1997 : 229-243.
- FERNANDEZ-CONEJO, J. e SHUMWAY, C. R. Research and productivity in Mexican Agriculture. **American Journal Agricultural Economics**. 79(August 1997) : 738-753.
- FERNANDEZ-CONEJO, J.; SHUMWAY, C. R. Research and productivity in Mexican agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, 79 (August) 1997 : 738-753.
- FERRIR, G. D.; PORTER, P. K. The productive efficiency of US milk processing cooperatives. **Journal of Agricultural Economics**, 42(2) 1991 : 161-173.
- FONSECA, J. S. et al. **Estatística aplicada**. 2.ed. São Paulo : Atlas, 1991. 267p.
- GASTAL, E. F. Administração rural. Planejamento a nível de unidade de produção. SEMINÁRIO DE MODERNIZAÇÃO DA EMPRESA RURAL. 1987, Brasília/DF. **Anais**. Brasília : BINAGRI, 1989. v.2 : 75-110.
- GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, 17(3) 1989 : 237-250.

- GOMES, J. M. **Avaliação de economias de escala no setor agropecuário de Santa Catarina**. Porto Alegre : UFRGS, 1987. Dissertação de Mestrado. IEPE (Centro de Estudos e Pesquisas Economicas), UFRGS, 1987. 113p.
- GUERREIRO, E. Produtividade do trabalho e da terra na agropecuária paranaense. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.2 : 831-849.
- HESHMATI, A.; KUMBHAKAR, S. C. Estimation of technical efficiency in Swedish crop farms: a pseudo panel data approach. **Journal of Agricultural Economics**, 48(1) 1997: 22 –37.
- HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. 5ªed. São Paulo : Pioneira, 1987. 325p.
- HOLZ, E. Gestão Agrícola. SEMANA DE ATUALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO RURAL, 1991, Lages. **Anais**. Florianópolis : EPAGRI, 1992 : 113-132.
- INSTITUTO CEPA/SC Arroz – cotações em alta no preço da colheita **Informe Conjuntural**, Florianópolis, 15(637) 1997 : 3.
- ☛JONASSON, L. A policy oriented multi-input and multi-output measure of overall efficiency and its decomposition. **Journal of Agricultural Economics**. 48(1) 1997: 52-64.
- KNOBLAUCH, R.; SCHIOCCET, M. A. Diagnóstico da estrutura de produção de arroz irrigado em Santa Catarina. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, Balneário Camboriú, 1997. **Anais**. Florianópolis : EPAGRI, 1997 : 533-535.
- KONZEN, O. G.; SCHUCK, J. H. Aspectos teóricos de contabilidade aplicada a análise agrícola. SEMANA DE ATUALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO RURAL, 1991, Lages. **Anais**. Florianópolis : EPAGRI, 1992 : 107-125.
- KUMBHAKAR, S. C.; HESHMATI, A. Efficiency measurement in Swedish dairy farms: an application of rotating panel data, 1976-88. **American Journal of Agricultural Economics**, 77 (August) 1995 : 660-674.
- LOPES DOS REIS, D. Estudo técnico e econômico da propriedade rural. **Informe Agropecuário**, 12(143) 1986 : 23-36.
- MATUELLA, J. L. et al. Competitividade em mercados agro-industriais integrados. **Documento para Estudo**. n.15/94, PPGA/UFRGS, Porto Alegre, 1994. 16p.

- MELLO, R. **Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina.** Florianópolis : UFSC, 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1986. 138p.
- MONDAINI, I. et al. A rentabilidade da atividade leiteira: um caso de produtores no médio Paraíba do Estado do Rio de Janeiro. **Cadernos de Administração Rural**, 9(1) Jan./Jun. 1997 : 47:60.
- MOREIRA, D. A. **Os benefícios da produtividade industrial.** São Paulo : Pioneira, 1994, 108p.
- NEDER, H. D.; CLEPER Jr.; J. Agroindústria e sustentabilidade. In: CHIKI, S.; GRAZIANO, J.; ORTEGA, A. C. (Org.) **Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**, Uberlândia : FEPAMIG, 1997 : 199-233.
- NORMAN, M.; STOKER, B. **Data Envelopment Analysis: the assessment of performance.** Chichester : Wiley, 1991. 262p.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro : Guanabara, 1986. 422p.
- PARIKH, A. et al. Measurement of economic efficiency in Pakistani agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, 77 (August) 1995 : 675-685.
- PARIKH, A.; SHAH, K. Measurement of technical efficiency in the North-West Frontier Province of Pakistan. **Journal of Agricultural Economics**, 45(1) 1994 : 132-138.
- PARIS, Q. **An economic interpretation of linear programming.** Ames : Iowa State University Press, 1991. 332p.
- PEIXOTO DA SILVA, G. L. S. **Produtividade agrícola, pesquisa e extensão rural.** São Paulo: FIPE/USP. 1984 (Ensaio Econômico, 40). 121p.
- PIMENTEL, D. et al. **Produção de alimentos e crise energética.** Tradução Tânia M. C. Bianchini. Documentos n.14. EPAGRI, Florianópolis, 1982. 24p.
- PIOT-LEPETIT, I. et al. Agriculture's environmental externalities: DEA evidence for French agriculture. **Applied Economics**, v.29, 1997 : 331-338.
- PORTUGAL, M. S. Oferta da firma. In: SOUZA, N. J. (Coord.) et al. **Introdução à Economia.** São Paulo : Atlas, 1996. 509p.

- REGIS, J. A. **Desempenho organizacional: uma análise comparativa das companhias estaduais de saneamento básico.** Florianópolis: UFSC, 1991. Dissertação (Mestrado em Administração) Programa de Pós-graduação em Administração, UFSC, 1991. 154p.
- RIBAS, C. Critérios de desempenho organizacional: o caso da UFSC. ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 15, Salvador/BA, 1991. **Anais.** Salvador : ENANPAD. v.6 : 215-228.
- RIGATTO, P. Determinação dos coeficientes técnicos de produção que diferenciam os custos entre os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo, plantio pré-germinado e plantio convencional na cultura do arroz irrigado. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, Balneário Camboriú/SC, 1997. **Anais.** Florianópolis: EPAGRI, 1997.
- RODRIGUES, A. S. et al. **Análise agroeconômica, ecoenergética e sócio-econômica de três unidades de exploração agrícola no município de Rio Azul, Paraná: proposta de sistemas modificados.** IAPAR : Londrina, 1989. 176p. (IAPAR, Boletim Técnico, 18)
- ROMEIRO, A. R. Agricultura sustentável, tecnologia e desenvolvimento rural. **Agricultura Sustentável**, 3(1/2) 1996 : 34-41.
- RUFINO, J. L. S.; ANDRADE, J. G. Índice de administração rural como medida de eficiência da empresa agrícola. SEMINÁRIO DE MODERNIZAÇÃO DA EMPRESA RURAL. 1987, Brasília/DF. **Anais.** Brasília : BINAGRI, 1989. v.1 : 67-74.
- SANINT, L. R. Evolución tecnológica, perspectivas futuras y situación mundial del arroz. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, Balneário Camboriú/SC, 1997. **Anais.** Florianópolis: EPAGRI, 1997 : 7-35.
- SANTOS, A. C. et al. A percepção de empresários rurais aos fatores que influenciam os resultados econômicos de empresas rurais. **Cadernos de Administração Rural**, 1(2) 1989 : 55-73.
- SEIFFERT, N. F. **Uma contribuição ao processo de otimização do uso de recursos ambientais em microbacias hidrográficas.** Florianópolis: UFSC, 1996. Tese

- (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1996. 253p.
- SOLDATELLI, D. et al. Glossário de termos de administração rural. SEMINÁRIO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 2, Concórdia/SC, 1992,. **Anais**. Florianópolis : EPAGRI, 1993 : 75-105.
- √ STURION, L. **Uma avaliação do potencial da análise envoltório de dados (DEA) no diagnóstico da produtividade de unidades de produção agropecuária**. Florianópolis: UFSC, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1997. 42p.
- SUDIT, F. E. Productivity measurement in industrial operations. **European Journal of Operational Research**, 85(1995) : 435-453.
- √ TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura – uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. Florianópolis: UFSC, 1997. Exame de Qualificação (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1997. 128p.
- √ TORESAN, L.; LANZER, E. A. Avaliação da eficiência relativa das propriedades agrícolas típicas de Santa Catarina. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.1 : 559-565.
- TRICK, M. **Data envelopment analysis for consultants**. (<http://www.mat.gsia.cmu.edu/mstc/dea.html>) 1997.
- VERGARA, N. F. Desenvolvimento rural, condições de sustentabilidade, avaliação de impactos e auxílio a tomada de decisões tecnológicas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31, Ilhéus/BA, 1993. **Anais**. Brasília : SOBER, 1993. v.2 : 721-133.
- ZAFFARONI, E.; BOURSUK, L. C. Avaliação econômica e energética de sistemas de cultivo no município de Capão Leão/RS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33, Curitiba/PR, 1995. **Anais**. Brasília : SOBER, 1995. v.1 : 619-629.