

DJALMA BELTRÃO DA COSTA FARIAS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO *MULTIPLE DATA ENVELOPMENT*
ANALYSIS NA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ASSENTAMENTOS
DA REFORMA AGRÁRIA**

RECIFE-PE – MARÇO/2012.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTIPLE DATA ENVELOPMENT
ANALYSIS NA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ASSENTAMENTOS
DA REFORMA AGRÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Estatística Não Paramétrica

Orientador: Prof. Dr. BORKO STOSIC

RECIFE-PE – MARÇO/2012.

Ficha catalográfica

F224a Farias, Djalma Beltrão da Costa
Aplicação do método multiple data envelopment analysis
na avaliação de eficiência de assentamentos agrários /
Djalma Beltrão da Costa Farias. -- Recife, 2012.
63 f. : il.

Orientador: Borko Stosic.

Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística
Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Estatística e Informática, Recife, 2012.
Referências.

1. MDEA 2. Assentamentos 3. Eficiências
I. Stosic, Borko, orientador II. Título

CDD 310

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTIPLE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS NA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA

Djalma Beltrão da Costa Farias

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 08/03/2012 pela Comissão Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. Borko Stosic
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Tatijana Stosic
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Cláudia Helena Dezotti
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Tales Wanderley Vital
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho à minha mãe, Nadia Beltrão (em memória), às minhas filhas Emanuela, Mariana e Nathália, à minha irmã Susana, a meu irmão Acyone e em especial à minha esposa Nize Maria, maior incentivadora de toda essa trajetória.

Agradecimentos

Para a realização de um projeto desse nível muitas pessoas deram sua contribuição e me é muito difícil elencar todos e as suas contribuições específicas.

Para não ser exaustivo e também não esquecer de nomes ,agradeço a todos que me acolheram no departamento, professores , funcionários e colegas de turma, porém não poderia deixar de citar alguns nomes que me foram muito próximos durante esses dois anos e que considero de fundamental importância para a conclusão dessa etapa de minha vida.

Professores como Borko Stosic, Tatijana Stosic, Moacyr Cunha Filho, Eufrázio de Souza, Gabriel Rivas de Melo, Cláudia Helena Dezotti e Tiago Alessandro Espínola Ferreira. Nosso secretário Marco Santos sempre nos ajudando em tudo e como não poderia deixar de ser, a grande Zuleide, cuidando do nosso bem estar.

Aos colegas, aqueles com quem mais convivi e me deixaram boas lições não poderia deixar de fazer referência a Dennis, Samuel, Diego, Rodrigo, Rivelino, Milton, Cíntia, Anderson, Josimar e Lázaro. A vocês, muito obrigado pela experiência vivenciada.

A todas as outras pessoas que direta ou indiretamente participaram da realização desse sonho agradeço de coração.

RESUMO

Nesse trabalho de dissertação refazemos os cálculos das eficiências relativas de 90 assentamentos agrários, no estado do Rio Grande Sul, feitos por Leonardo Melgarejo, João Neiva de Figueiredo e Carlos Ernani Fries (2009), que aplicaram um método estatístico não paramétrico DEA (*Data Envelopment Analysis* ou Análise Envoltória de Dados). Nesse método são selecionadas variáveis de entradas (insumos ou *inputs*) e saídas (produtos ou *outputs*), e através de programação linear chega-se a valores sugeridos para as variáveis, que maximizam a eficiência das DMU's (*Decision Making Units* ou Unidades Tomadoras de Decisão), nome dado pelo método aos assentamentos. Em seguida utilizamos um outro método não paramétrico, o MDEA (*Multiple Data Envelopment Analysis*) que consiste em dividir todo o espaço das variáveis em subespaços através de todas as combinações possíveis entre as entradas e as saídas e em cada uma dessas combinações o DEA é aplicado, gerando um grande número de valores de eficiências para cada DMU. Calculamos a média desses valores, que consideramos a forma mais justa de representarmos a eficiência de uma DMU, pois essa média envolve todos os contextos entre as entradas e as saídas. No artigo *A decision support methodology for increasing public investment efficiency in Brazilian agrarian reform*, publicado por MELGAREJO et. al., (2009), foram selecionadas 8 variáveis de entrada e 4 de saída em um conjunto de mais de 100 escolhidas. Foram medidos os valores de três tipos de eficiência, a produtiva, a técnica e a de manejo. Em face dos resultados apresentados, em que 47% dos assentamentos mostraram eficiência unitária em todas as três consideradas, vê-se um baixo poder discriminatório no método DEA. Em nosso trabalho de dissertação verificamos os valores projetados sugeridos pelo método MDEA para suas variáveis, extraímos médias, medianas, e modas das sugestões, fazemos comparações com o método DEA aplicado no artigo de MELGAREJO et. al., e algumas simulações, chegando à conclusão de que o método proposto em nossa dissertação (MDEA), tem um maior poder discriminatório, não apresenta eficiências unitárias e dos valores projetados sugeridos pelo método, a mediana é o melhor a ser seguido.

Palavras chave: MDEA, assentamentos, eficiências.

Abstract

In this dissertation we retrace the calculations of the relative efficiencies of 90 agricultural settlements in the state of Rio Grande do Sul, made by Leonardo Melgarejo, Joao Neiva de Figueiredo and Carlos Ernani Fries (2009), who applied a nonparametric statistical method DEA (Data Envelopment Analysis). This method select inputs and outputs variables, and using linear programming comes to suggest values for the variables that maximize the efficiency of DMU's (Decision Making Units), name given by the method to the settlements. Then using another nonparametric method, the MDEA (Multiple Data Envelopment Analysis) which consists in dividing the entire space of the variables in subspaces across all possible combinations of inputs and outputs and in each of these combinations the DEA is applied, generating a large number of efficiencies values for each DMU . We calculate the average of these values that we believe it's the fairest way to represent the efficiency of a DMU, because this average involves all contexts between the inputs and outputs. In the article *The decision-support Methodology for Increasing public investment efficiency in Brazilian agrarian reform*, published by MELGAREJO et. al. (2009), 12 variables were selected. Four inputs and eight outputs, in a set of more than 100. Values were determined for three types of efficiency, production, technology and management. From the results presented in that 47% of the settlements showed unitary efficiency in all three considered ones showing a low discriminating power in DEA. In our dissertation we check the suggested projected values by the method MDEA for its variables, we extracted mean, median, and mode of the suggestions, we make comparisons with the DEA method applied in the article of MELGAREJO et. al., and some simulations are done and we conclude that the method proposed in our paper (MDEA) has a greater discriminatory power, there's no unitary efficiency and of all projected values suggested by the method, the median is the best to be followed.

Keywords: MDEA, settlements, efficiencies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Medida de eficiência produto-orientado	6
Figura 2.2: Medida de eficiência insumo-orientado	7
Figura 2.3: Gráfico de dois insumos por unidade de produto	9
Figura 2.4: Eficiência alocativa e econômica	10
Figura 2.5: Gráfico de dois produtos por unidade de insumo	11
Figura 2.6: Fronteiras VRS e CRS	18
Figura 2.7: Mapa do Brasil e do estado do Rio Grande do Sul.....	23
Figura 2.8: Componente principal, no caso de duas variáveis (a) <i>loadings</i> são os cossenos dos ângulos do vetor direção; (b) <i>scores</i> são as projeções das amostras (1-6) na direção do componente principal , Melgarejo et. al. (2009).....	25
Figura 4.1: Eficiências das 90 DMU's , DEA (CRS) Trabalho e DEA (CRS) Artigo	43
Figura 4.2: Eficiências das 90 DMU's , DEA (VRS) Trabalho e DEA (VRS) Artigo.....	44
Figura 4.3: Eficiências das 90 DMU's , MDEA (CRS) Trabalho e DEA (CRS) Artigo.....	45
Figura 4.4: Eficiências das 90 DMU's , MDEA (VRS) Trabalho e DEA (VRS) Artigo	45
Figura 4.5: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU11	46
Figura 4.6: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU11	47
Figura 4.7: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU11	47
Figura 4.8: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU11	48
Figura 4.9: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU11	48
Figura 4.10: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU11.....	49
Figura 4.11: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU11	49
Figura 4.12: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU11.....	50

Figura 4.13: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU7	50
Figura 4.14: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU7	51
Figura 4.15 Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU7	51
Figura 4.15: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU7	52
Figura 4.16: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU7	52
Figura 4.17: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU7.....	53
Figura 4.18: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU7	53
Figura 4.19: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU7.....	54
Figura 4.20: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU 83.....	54
Figura 4.21: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU 83	55
Figura 4.22: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU 83	55
Figura 4.23: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU 83.....	56
Figura 4.24: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU 83	56
Figura 4.25: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU 83.....	57
Figura 4.26: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU 83	57
Figura 4.27: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU 83.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Medida de eficiência produto-orientado.....	5
Tabela 2.2: Medida de eficiência insumo-orientado	7
Tabela 2.3: Exemplo com dois insumos e um produto.....	8
Tabela 2.4: Exemplo com um insumo e dois produtos.....	11
Tabela 2.5: Exemplo com dois insumos e dois produtos.....	12
Tabela 2.6: VRS versus CRS.....	18
Tabela 2.7: Descrição do conjunto de variáveis dos 90 assentamentos.....	27
Tabela 2.8: Variáveis de entrada e saída selecionadas	29
Tabela 2.9: Valores das entradas , saídas e eficiências produtiva, técnica e alocativa das 90 DMU's do artigo	30
Tabela 2.10: Expansão e Projeção dos Planos de Produção da DMU11 Considerando as Eficiências de Manejo, Técnica e Produtiva	34
Tabela 4.1: Resultados do método DEA (CRS e VRS) da dissertação e do artigo.....	38
Tabela 4.2: Resultados comparativos DEA Artigo e as Médias do MDEA da Dissertação ...	40
Tabela 4.3 : Comparação das medianas, modas e valores observados das DMU's 7 e 83 .	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALIMpond	Indica a qualidade da alimentação no assentamento.
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes.
CRS	Constant Returns of Scale – Retornos Constantes de Escala.
DEA	Data Envelopment Analysis - Análise Envoltória de Dados.
DMU	Decision Making Unit – Unidade Tomadora de Decisão.
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural.
FALMTOK	Número de famílias com alimentação adequada no assentamento.
FGL	Färe, Grosskopf e Lovell
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
LAV\$VE	Receita de vendas de produtos agrícolas do assentamento.
MDEA	Multiple Data Envelopment Analysis – Análise Envoltória de Dados Múltipla
MST	Movimento dos Sem Terra.
PCA	Principal Components Analysis – Análise dos Principais Componentes.
PEC\$VE	Receita de vendas de produtos da pecuária do assentamento.
PIB	Produto Interno Bruto.
PPL	Problema de Programação Linear
VRS	Variable Returns of Scale – Retornos Variáveis de Escala.

.

.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2.1. Eficiência	4
2.2. DEA	12
2.2.1. Método insumo-orientado.	13
2.2.2. Método produto-orientado.....	15
2.2.3. Retornos de Escala, Constantes e Variáveis	17
2.3. Aplicações do DEA na agronomia	20
2.4. Artigo de Melgarejo, Figueiredo e Fries.	22
2.4.1. Dados sociais e geográficos	22
2.4.2. Escolha das variáveis de entrada e saída para o DEA	24
2.4.2.1. Conceitos do PCA	24
2.4.2.2. Conceitos do método stepwise usado por Norman e Stoker.....	25
2.4.2.3. Variáveis de entrada e saída	26
2.4.3. Aplicação do DEA.....	29
3. MÉTODO	35
3.1. MDEA	35
4. RESULTADOS	38
4.1. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU11	46
4.2. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU 7.....	50
4.3. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU 83.....	54
5. CONCLUSÕES	60
6. REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores programas de inclusão social, geração de empregos, produção de alimentos e distribuição de renda é a reforma agrária. No Brasil esse programa consiste na doação de terras anteriormente improdutivas a famílias de baixa renda para que delas essas famílias retirem seu alimento além de produzir renda.

Podemos afirmar que a reforma agrária é sem dúvida um grande instrumento de combate a pobreza, como confirma a pesquisa do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) realizada em 2010, referente ao período de 2003 a 2010 (Jornal do INCRA, Dezembro de 2010). Nesse período foram criados 3551 novos assentamentos, 48,3 milhões de hectares se incorporaram ao programa, beneficiando assim 614 mil novas famílias.

O programa Brasileiro de reforma agrária inclui fundos para a compra de terras e posterior distribuição, linhas de crédito para o financiamento de produção e investimentos em infra-estrutura.

A aquisição de terras para a reforma agrária no Brasil é feita pelo governo federal, geralmente através de processos onerosos tais como: desapropriações ou compras diretas para implantação de assentamentos de trabalhadores rurais. Existem casos em que esses processos não são onerosos aos cofres públicos no que diz respeito à aquisição de terras tais como: o reconhecimento de territórios ou a destinação de terras públicas. Porém em qualquer dos casos existe um gasto muito elevado quer na infra-estrutura quer nos financiamentos para a produção.

Nos últimos oito anos, o governo federal através de suas linhas de crédito destinou R\$ 6,4 bilhões para o desenvolvimento das atividades produtivas dos assentamentos da reforma agrária. Esses valores passaram de R\$ 191 milhões em 2003 para R\$ 881 milhões em 2010 (Jornal do INCRA, Dezembro de 2010). Toda essa quantia foi destinada ao fomento da produção nos assentamentos para gerar trabalho e renda, como também a reforma e construção de moradias.

Apesar de todo esse investimento para garantir o sucesso dos assentamentos, pouco menos de 10% das famílias assentadas recebem o título de posse da terra (MELGAREJO et. al. 2009), que é conseguido quando o assentamento atinge um

determinado nível de independência, atividade econômica auto sustentável e integração com o mercado econômico. Além disso, mais de 25% das famílias abandonam a propriedade recebida por não conseguirem o sustento e a renda esperados.

Com todo esse investimento público e a necessidade da permanência das famílias na terra recebida deve - se ter meios satisfatórios e confiáveis de medir a eficiência de cada assentamento para que se possa aperfeiçoar sua produção e atingir o objetivo das famílias que é a obtenção do título definitivo de posse da terra.

Em um artigo publicado em 2009 na revista *International Transactions in Operational Research*, sob o título “A decision support methodology for increasing public investment efficiency in Brazilian agrarian reform” (Um suporte metodológico de decisão para aumentar a eficiência do investimento público na reforma agrária brasileira), Leonardo Melgarejo, João Neiva de Figueiredo e Carlos Ernani Fries, descrevem como mediram a eficiência de 90 assentamentos agrários no estado do Rio Grande do Sul utilizando um método não paramétrico de alto poder discriminatório, o *Data Envelopment Analysis*, DEA (Análise Envoltória de Dados), associado ao PCA, *Principal Component Analysis* (Análise do Componente Principal), método utilizado para a escolha das variáveis de entrada e saída e ainda aliado ao método *stepwise*, de Norman e Stoker (1991), sugerindo, no fim do trabalho, mudanças no *modus operandi* de cada um dos assentamentos ineficientes, para que em pouco tempo eles atingissem a auto suficiência e conseqüentemente as famílias conseguissem o título de posse da terra.

No artigo citado, os autores mediram três eficiências diferentes, correspondendo a três variações do método DEA: eficiência produtiva, eficiência técnica e eficiência de manejo, que são vistas com mais detalhes no capítulo 2.

De um total inicial de mais de 100 variáveis econômicas e sociais consideradas, foram utilizadas no processo apenas 12, oito entradas e quatro saídas, que foram consideradas as mais significativas. O método DEA, aplicado no artigo de MALGAREJO et. al. apresentou o seguinte resultado: 47% dos assentamentos atingiram a eficiência produtiva unitária, 67% deles a eficiência técnica unitária e por fim 80% atingiram a eficiência de manejo unitária, mostrando nesse caso um baixo poder discriminatório.

Esse trabalho de dissertação tem como objetivo a aplicação de uma extensão do método DEA, chamada de *Multiple Data Envelopment Analysis* (MDEA), para medir as eficiências produtiva e técnica e verificar se esse novo método apresenta um melhor poder discriminatório.

Primeiramente é feita uma comprovação dos resultados obtidos pelo método DEA, capítulo 4, tabela 4.1, só então se aplica o método MDEA e se verifica as diferenças entre os resultados, capítulo 4 tabela 4.2. Como esse novo método baseia-se nas várias combinações possíveis entre as entrada e as saídas, sendo o resultado final a eficiência média dessas combinações, nenhuma eficiência tem valor unitário, significando que todos os assentamentos terão subsídios para analisarem os setores que podem ou devem ser melhorados.

Como descrito anteriormente, com o método DEA um grande número de assentamentos atingiram eficiências unitárias e com isso não tem mais o que melhorar. Com a aplicação do método MDEA isso não ocorre e essa é a grande vantagem desse método, criar condições para que todos os assentamentos possam melhorar a produtividade de algum ou vários setores.

No capítulo 2, faz-se uma revisão de literatura sobre medidas de eficiência, o método DEA, apresenta-se alguns trabalhos na área de agronomia utilizando o DEA e descreve-se com detalhes o trabalho de MELGAREJO et. al.(2009).

Em seguida, no capítulo 3, apresenta-se o modelo MDEA e no capítulo 4 são mostrados os resultados encontrados de sua aplicação juntamente com os dados do trabalho de Melgarejo et. al.(2009). Faz-se as comparações necessárias, uma ampla discussão e no capítulo 5 chega-se a conclusão de que o método MDEA, tem um maior poder discriminatório e a mediana dos valores sugeridos para as variáveis é o melhor a ser aplicado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Eficiência

A avaliação da eficiência no emprego de insumos para a transformação em produtos é hoje, sem sombras de dúvidas, um dos mais importantes temas no gerenciamento de qualquer negócio onde cada vez mais se combate o desperdício de recursos.

Vivemos em uma época de alta competitividade e no agronegócio não é diferente principalmente quando se trata de negócios gerados por assentamentos agrários, com financiamento público e que devem ser bem administrados e eficientes não só pelo lado monetário como também pela visão social porque antes de tudo a reforma agrária é um programa de inclusão.

Um método muito utilizado para medir e comparar eficiências é o DEA (*Data Envelopment Analysis*), que é a sigla em inglês para Análise Envoltória de Dados. O DEA é um poderoso método não paramétrico utilizado na comparação de eficiências dentro de um conjunto de organizações que executam a mesma atividade. Comparado com métodos paramétricos tradicionais para medida de eficiências, sua vantagem reside no fato de que ele não exige a priori conhecimento de forma funcional relacionando *inputs* (entradas ou insumos) e *outputs* (saídas ou produtos), nem precisam de escolha arbitrária de pesos estatísticos (importância relativa) para diferentes variáveis.

Os fundamentos da ideia de medição de eficiência foram introduzidos por Farrell no artigo *The Measurement of Productive Efficiency* publicado no *Journal of the Royal Statistical Society* em 1957 e duas décadas mais tarde Charnes, Cooper e Rhodes (1978) aperfeiçoaram a ideia e desenvolveram um método introduzindo técnicas de programação linear e o denominaram de DEA.

Para Charnes, Cooper e Rhodes a eficiência técnica é a capacidade de se produzir o máximo de produto utilizando-se um dado número de insumos. No método DEA, as organizações a serem comparadas recebem o nome de DMU's (*Decision Making Units*), Unidades Tomadoras de Decisão e através de um problema de

programação linear utilizando os insumos e os produtos a eficiência de cada DMU é calculada. Após esse cálculo pode-se comparar as eficiências e planejar melhorias nas DMU's menos eficientes.

Esse método ganhou grande impulso nas últimas décadas através do fácil acesso a tecnologia computacional e é empregado em diversas áreas de atividades econômicas e sócias.

Veremos a seguir alguns exemplos de como esse método funciona e relacionaremos vários trabalhos já realizados na área da agricultura inclusive na área da reforma agrária. Todos os exemplos descritos nas secções 2.1 e 2.2 foram extraídos do trabalho Análise Envoltória de Dados, (Notas de Aula) do professor Dr. Borko Stosic (2009).

Consideremos um exemplo simples com cinco DMU's, um único insumo e um único produto sendo a medida de eficiência produto-orientado. Esse tipo de eficiência é medida quando não se tem muita oportunidade de se mexer nos insumos e sim nos produtos.

Tabela 2.1: Medida de eficiência produto-orientado

	x	y	y/x	Eficiência
DMU1	2	1	0,50	0,38
DMU2	2	2	1,00	0,75
DMU3	5	3	0,60	0,45
DMU4	3	4	1,33	1,00
DMU5	6	2	0,33	0,25
Máximo $y/x = 1,33$				

Vamos fazer a representação gráfica desses dados usando o x com insumo e o y como produto e colocar esses pontos em um plano cartesiano de pares (x, y) correspondentes a cada DMU.

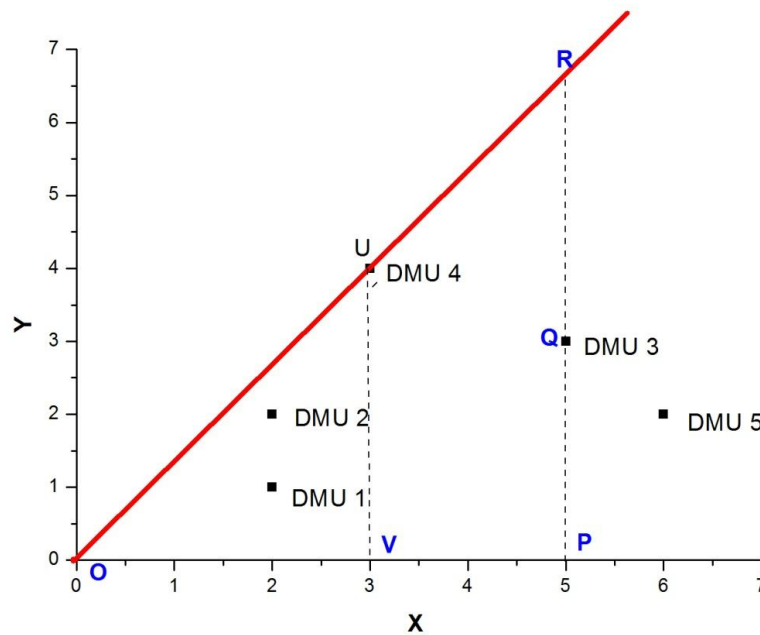


Figura 2.1: Medida de eficiência produto-orientado

Para cada DMU, a inclinação da reta que passa no ponto (0,0) e no ponto (x, y) da DMU considerada, é y/x .

A reta vermelha no gráfico tem inclinação $4/3 = 1,33$ que é o índice máximo do grupo e em sendo assim, define a “fronteira de eficiência”. Vale salientar que qualquer ponto nesta reta tem eficiência igual a da DMU4, ou seja, 1,0 e todos os pontos abaixo tem eficiências menores, que são obtidas dividindo-se a razão y/x de cada DMU pela razão máxima.

O ponto R representa a projeção da DMU3 na fronteira de eficiência e tem a mesma razão y/x da DMU4.

A eficiência da DMU3 pode ser escrita como:

$$E3 = \frac{\frac{QP}{OP}}{\frac{UV}{OV}} = \frac{\frac{QP}{OP}}{\frac{RP}{OP}} = \frac{QP}{RP}$$

A Tabela 2.1 mostra as eficiências, que são calculadas dividindo-se cada razão y/x de cada DMU, pela maior delas.

Esta medida de eficiência é conhecida na literatura como *medida produto-orientado*, porque representa o aumento em produto necessário para que a DMU3

chegue à fronteira de eficiência, mantendo o mesmo nível de insumo, (produzir de maneira que fique com a mesma razão produto/insumo da DMU4).

Da forma análoga pode ser introduzida a medida da eficiência *insumo-orientado*, que significa a diminuição em insumo, mantendo o nível de produto constante, necessária para uma DMU chegar à fronteira de eficiência.

Considere a Tabela 2.2 com os mesmos valores de insumos e de produtos da Tabela 2.1.

Tabela 2.2: Medida de eficiência insumo-orientado

	x	y	x/y	Eficiência
DMU1	2	1	2,00	0,38
DMU2	2	2	1,00	0,75
DMU3	5	3	1,67	0,45
DMU4	3	4	0,75	1,00
DMU5	6	2	3,00	0,25

Mínimo $x/y = 0,75$

Na Figura 2.2 é representado o mesmo conjunto das DMU's, com a projeção da DMU3 para o ponto S na fronteira de eficiência.

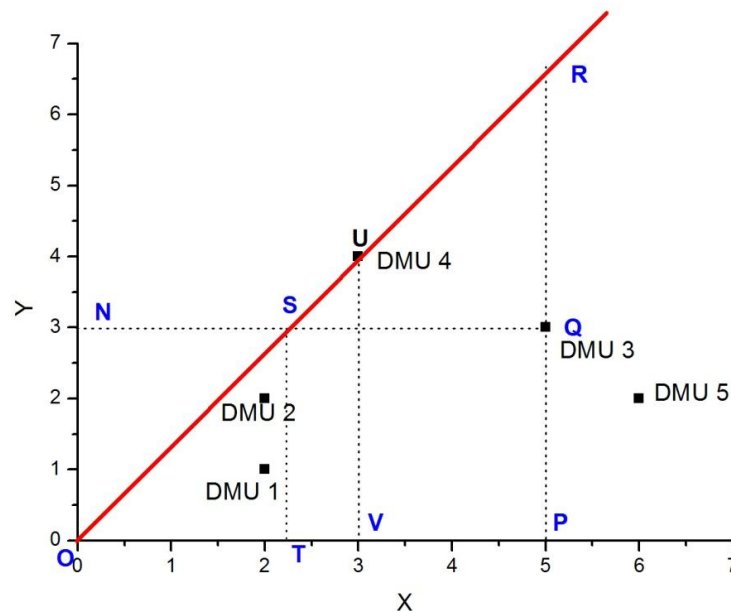


Figura 2.2: Medida de eficiência insumo-orientado

A eficiência insumo-orientado da DMU3 agora pode ser definida como:

$$E3 = \frac{NS}{NQ}$$

e do gráfico segue

$$NQ = OP, NS = OT, ON = ST = QP \text{ e } \frac{UV}{OV} = \frac{ST}{OT}$$

e temos

$$E3 = \frac{OT}{OP} = \frac{\frac{OT}{ST}}{\frac{OP}{QP}} = \frac{\frac{OV}{UV}}{\frac{QP}{OP}}$$

A Tabela 2.2 mostra as eficiências insumo-orientado que são calculadas dividindo-se a menor razão x/y por cada uma das razões x/y das DMU's consideradas.

Considere agora que tenhamos dois insumos e um único produto. A Tabela 2.3 mostra os valores de cada insumo por unidade de produto e em seguida esses dados são mostrados no gráfico da Figura 2.3.

Tabela 2.3: Exemplo com dois insumos e um produto.

	$x1$	$x2$	y	$x1/y$	$x2/y$
DMU1	2	2	1	2,00	2,00
DMU2	3	1	2	1,50	0,50
DMU3	5	3	3	1,67	1,00
DMU4	3	6	4	0,75	1,50
DMU5	6	3	2	3,00	1,50

Na Figura 2.3 pode-se perceber que a DMU4, que define a fronteira de eficiência do exemplo anterior, é mais eficiente no uso do insumo $x1$, mas é menos eficiente do que as DMU2 e DMU3 em relação ao uso do insumo $x2$. Da mesma maneira, a DMU2 é mais eficiente no uso do insumo $x2$, e é menos eficiente do que a DMU4 no uso do insumo $x1$.

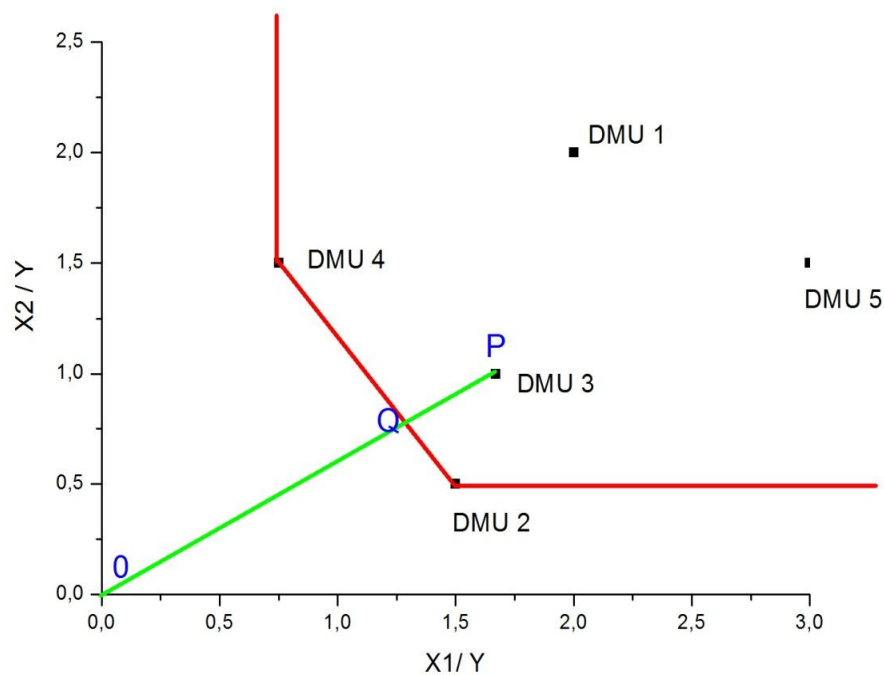


Figura 2.3: Gráfico de dois insumos por unidade de produto

O método proposto por Farrell em 1957 baseia-se no fato das DMU2 e DMU4 serem as unidades mais eficientes de todas as DMU's observadas definindo assim a fronteira de eficiência representada na Figura 2.3 pela linha vermelha que liga essas DMU's citadas acima (DMU's mais próximas dos eixos) e que se estende paralela aos eixos até o infinito.

A eficiência técnica da DMU3 é definida em relação a sua projeção Q na fronteira, e representa a diminuição de insumos necessária para transferir a DMU3 do ponto P para o ponto Q . Chamando a eficiência técnica de ET , para a DMU3 teremos:

$$ET_3 = \frac{OQ}{OP}$$

Essa definição não depende de unidades e tem valores entre 0 e 1.

Outras medidas de eficiência como alocativa e econômica podem ser definidas quando se conhece a razão entre os preços dos insumos, como mostrado pela linha AA' da Figura 2.4.

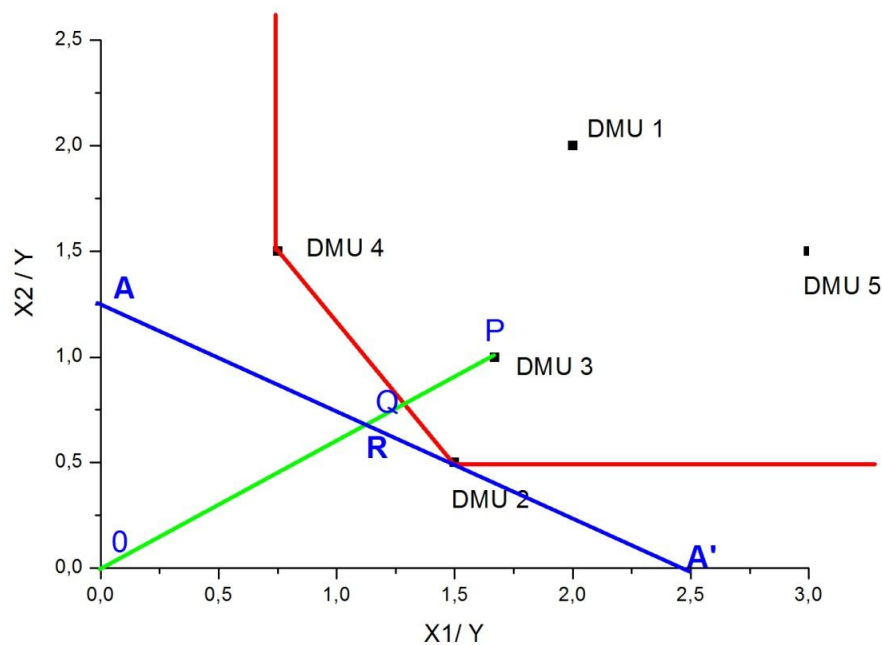


Figura 2.4: Eficiência alocativa e econômica

A eficiência alocativa da DMU3 é definida como:

$$EA3 = \frac{OR}{OQ}$$

onde RQ representa a redução de custos de produção.

No ponto em que se encontra a DMU2, ela é eficiente tanto alocativamente quanto tecnicamente.

A eficiência econômica da DMU3 é definida como:

$$EE3 = \frac{OR}{OP}$$

onde a distância RP pode ser considerada como redução de custos.

Uma relação interessante entre as eficiências técnica, alocativa e econômica é dada por:

$$EE3 = \frac{OR}{OP} = \left(\frac{OR}{OQ}\right)\left(\frac{OQ}{OP}\right) = (EA3)(ET3)$$

E todas essas eficiências tem valores entre 0 e 1.

No caso de termos apenas um insumo e dois produtos, calcula-se o valor de cada produto por unidade de insumo com mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Exemplo com um insumo e dois produtos

	x	y_1	y_2	y_1/x	y_2/x
DMU1	2	1	2	0,50	1,00
DMU2	3	2	1	0,67	0,33
DMU3	5	3	3	0,60	0,60
DMU4	3	4	2	1,33	0,67
DMU5	6	2	4	0,33	0,67

Esses dados colocados no gráfico da Figura 2.5 mostram a fronteira de eficiência definida pelas DMU1 e DMU4, que possuem as maiores quantidades de produtos por insumo.

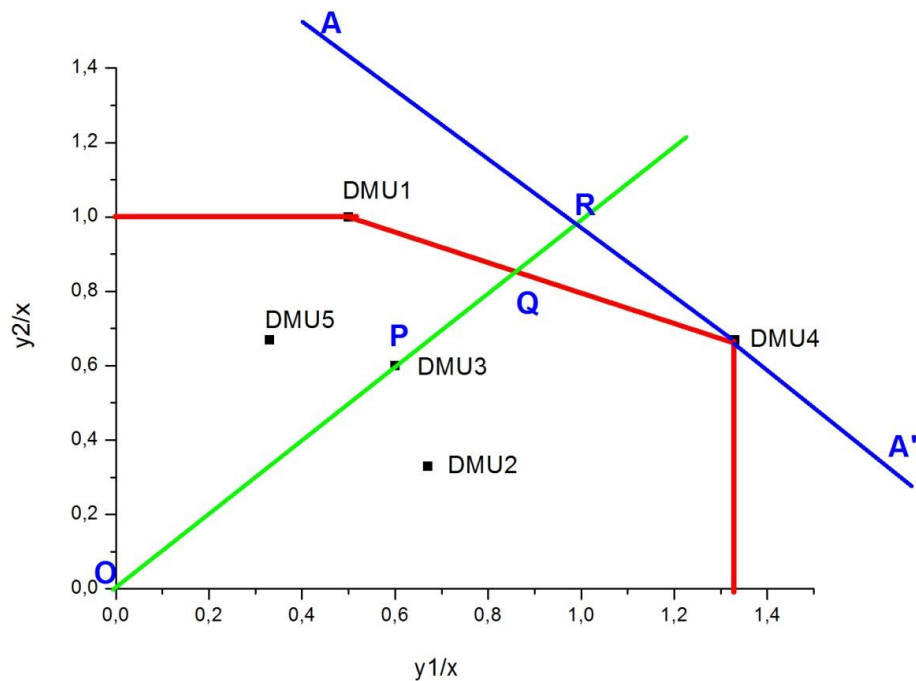


Figura 2.5: Gráfico de dois produtos por unidade de insumo

A eficiência técnica da DMU3 é definida agora como o aumento de produtos necessário para transferi-la do ponto P para o ponto Q , na fronteira de eficiência e é representada por:

$$ET3 = \frac{OP}{OQ}$$

Analogamente a eficiência do caso anterior (insumo-orientado), quando se conhece a relação entre os preços dos produtos, reta AA' , a eficiência alocativa da DMU3 pode ser definida como

$$EA3 = \frac{OQ}{OR}$$

e a eficiência econômica como

$$EE3 = \frac{OP}{OR}$$

e a relação entre as três medidas de eficiência passa a ser

$$EE3 = \frac{OP}{OR} = \left(\frac{OP}{OQ}\right) \left(\frac{OQ}{OR}\right) = (ET3)(EA3).$$

2.2. DEA

Todos os exemplos mostrados na secção anterior podem ser generalizados para vários insumos e um único produto ou para o caso de vários produtos e um único insumo. Se tivéssemos, por exemplo, três insumos e um produto, poderíamos construir um gráfico tridimensional dos insumos por unidade de produto e a fronteira de eficiência passaria a ser uma superfície convexa formada por faces planas cujos vértices seriam as DMU's mais eficientes.

A eficiência de cada DMU seria calculada com relação a sua projeção radial para a fronteira.

Agora vamos analisar a situação em que estão envolvidos vários insumos e vários produtos. Suponhamos um caso em que tivéssemos dois insumos e dois produtos como mostrado na Tabela 2.5 abaixo.

Tabela 2.5: Exemplo com dois insumos e dois produtos

	x_1	x_2	y_1	y_2	y_1/x_1	x_2/x_1	y_1/x_2	y_2/x_2
DMU1	2	2	1	2	0,50	1,00	0,50	1,00
DMU2	3	1	2	1	0,67	0,33	2,00	1,00
DMU3	5	3	3	3	0,60	0,60	1,00	1,00
DMU4	3	6	4	2	1,33	0,67	0,67	0,33
DMU5	6	3	2	4	0,33	0,67	0,67	1,33

Como se observa, podemos calcular quatro índices diferentes de produtos por unidade de insumo, mas a representação gráfica não pode ser implementada como nos exemplos anteriores.

Sabe-se que o trabalho de Farrell (1957) foi pouco utilizado durante duas décadas depois da sua publicação, até quando Charnes, Cooper e Rhodes (1978) (CCR) introduziram uma técnica baseada em Programação Linear, denominada por eles de “*Data Envelopment Analysis*” (DEA).

O método desenvolvido por CCR, ao invés de calcular índices individuais leva em consideração o conceito de escalonamento. Para cada DMU procura-se um conjunto de multiplicadores positivos denominados de fatores de escala, um para cada variável insumo ou produto os quais maximizam a razão entre a combinação linear de todos os produtos e a combinação linear de todos os insumos. Nenhuma dessas razões para as outras DMU's (com os mesmos fatores de escala), deve ultrapassar a unidade. Matematicamente o processo funciona da seguinte maneira:

2.2.1. Método insumo-orientado.

Consideremos um conjunto de K DMU's, cada uma com N insumos x_{kn} ; com $n = 1, \dots, N$ e M produtos y_{km} ; com $m = 1, \dots, M$. Vale salientar que tanto os insumos quanto os produtos devem ser expressos em números reais positivos.

A proposta de Charnes, Cooper e Rhodes define a eficiência da k – ésima DMU como:

$$\max_{u,v} h_k = \frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{km}}{\sum_{n=1}^N v_n x_{kn}}$$

sujeito a

$$\frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{jm}}{\sum_{n=1}^N v_n x_{jn}} \leq 1$$

$$J = 1, 2, \dots, k, \dots, K; u_m > 0; m = 1, \dots, M e v_n > 0; n = 1, \dots, N$$

É evidente que essa formulação fracionária tem infinitas soluções porque qualquer conjunto de u 's e de v 's que satisfaça as condições acima pode ser substituído por outro que também satisfaça, basta multiplicar tudo por uma mesma constante.

Tudo isso pode ser evitado impondo uma condição adicional,

$$\sum_{n=1}^N v_n x_{kn} = 1$$

Desta forma podemos definir a eficiência da k – ésima DMU como

$$\max_{u,v} h_k = \sum_{m=1}^M u_m y_{km}$$

sujeito a

$$\sum_{n=1}^N v_n x_{kn} = 1$$

$$\sum_{m=1}^M u_m y_{jm} - \sum_{n=1}^N v_n x_{jn} \leq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, k, \dots, K; u_m > 0; m = 1, 2, \dots, M \text{ e } v_n > 0; n = 1, 2, \dots, N$$

Esse modelo é chamado de insumo-orientado, devido aos valores de eficiência menores do que um representarem o percentual de diminuição (o que falta para um) de insumos necessário para que uma DMU atinja a fronteira de eficiência.

A formulação matemática mostrada acima (formulação multiplicativa ou *multiplicator form*), é um típico Problema de Programação Linear (PPL), que pode ser facilmente resolvido pelo método Simplex, junto com o algoritmo numérico correspondente. Ver Press, Teukolsky, Vetterling e Flannery (1992).

Todo Problema de Programação Linear (PPL) tem duas formulações diferentes e a formulação dual do problema mostrado acima, é também chamada de formulação envoltória (*envelopment form*).

Essa formulação facilita a resolução desse problema e representa o método DEA (*Data Envelopment Analysis*), insumo-orientado, mais comum na literatura.

A formulação dual segue o modelo:

$$\theta_k = \min_{\theta, \lambda}(\theta)$$

sujeito a

$$\theta x_{kn} \geq \sum_{j=1}^K \lambda_j x_{jn}; n = 1, 2, \dots, N$$

$$y_{km} \leq \sum_{j=1}^K \lambda_j y_{jm}; \quad m = 1, 2, \dots, M$$

$$\theta, \lambda_j \geq 0 \text{ e } j = 1, 2, \dots, K$$

No sistema de inequações acima, λ_j são constantes positivas que devem ser ajustadas para cada DMU k , para minimizar θ_k . Nessa formulação elas são usadas no lugar dos fatores de escala u_m e v_n da formulação multiplicativa.

Considerando o exemplo da Tabela 2.3, a eficiência técnica da DMU3 pela formulação descrita acima seria calculada da seguinte maneira

$$\theta_3 = \min(\theta)$$

sujeito a:

$$5\theta \geq 2\lambda_1 + 3\lambda_2 + 5\lambda_3 + 3\lambda_4 + 6\lambda_5$$

$$3\theta \geq 2\lambda_1 + \lambda_2 + 3\lambda_3 + 6\lambda_4 + 3\lambda_5$$

$$3 \leq \lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 + 4\lambda_4 + 2\lambda_5$$

em que θ e λ_j , $j = 1, 2, \dots, 5$ são valores reais positivos.

Não é uma tarefa fácil encontrar os valores de θ e de λ_j que satisfaçam o sistema acima, mas o algoritmo Simplex de Programação Linear trata de soluções de problemas desse tipo de uma maneira numericamente direta e poderosa.

Esse procedimento funciona em situações com vários insumos e vários produtos, quando o método direto geométrico (como o exemplo mostrado na Figura 2.3), não é possível.

Vale salientar que o método Simplex de Programação Linear deve ser aplicado para determinar os coeficientes λ para cada DMU sendo dessa maneira um trabalho computacional intenso.

2.2.2. Método produto-orientado

De maneira análoga a mostrada na secção 2.2.1, (método insumo orientado), impomos a condição

$$\sum_{m=1}^M u_m y_{km} = 1$$

e então definimos a eficiência da k – ésima DMU como:

$$\min_{uv} g_k = \sum_{n=1}^N v_n x_{kn}$$

sujeito

$$\sum_{m=1}^M u_m y_{km} = 1$$

$$\sum_{m=1}^M u_m y_{jm} - \sum_{n=1}^N v_n x_{jn} \leq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, k, \dots, K; u_m > 0 \text{ e } m = 1, 2, \dots, M; v_n > 0 \text{ e } n = 1, 2, \dots, N$$

Novamente aqui como o Problema de Programação Linear tem formulação dual e fica mais fácil de resolver o problema da seguinte forma

$$w_k = \max_{w\lambda}(w)$$

sujeito:

$$j = 1, 2, \dots, k, \dots, K$$

$$w y_{km} \leq \sum_{j=1}^K \lambda_j y_{jm}; m = 1, 2, \dots, M$$

$$x_{kn} \geq \sum_{j=1}^K \lambda_j x_{jn}; n = 1, 2, \dots, N$$

$$w \text{ e } \lambda_j \geq 0 \text{ e } j = 1, 2, \dots, K$$

Os valores de w são maiores do que 1 então a eficiência técnica da k – ésima DMU é dada por $\theta_k = \frac{1}{w_k}$.

Considerando novamente o exemplo da Tabela 2.3 com dois insumos e um produto, a eficiência técnica da DMU3 pela formulação descrita acima seria calculada da seguinte maneira:

$$w_3 = \max(w)$$

$$3w \leq \lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 + 4\lambda_4 + 2\lambda_5$$

$$5 \geq 2\lambda_1 + 3\lambda_2 + 5\lambda_3 + 3\lambda_4 + 6\lambda_5$$

$$3 \geq 2\lambda_1 + \lambda_2 + 3\lambda_3 + 6\lambda_4 + 3\lambda_5$$

em que w e λ_j , $j = 1, 2, \dots, 5$, assumem valores reais positivos.

2.2.3. Retornos de Escala, Constantes e Variáveis

Em todos os exemplos anteriores das medidas de eficiência, insumo-orientado e produto-orientado, os resultados tem o mesmo valor. Isso se deve ao fato da suposição utópica de que a produção pode ser aumentada infinitamente com o aumento dos insumos e reduzida continuamente até zero com a redução dos mesmos. Essa suposição é chamada de Retornos Constantes de Escala, que é o método descrito nas secções 2.2.1 e 2.2.2, chamado de CRS (*Constant Returns to Scale*) ou ainda CCR em homenagem aos seus criadores, Charnes, Cooper e Rhodes pelo trabalho de 1978, onde o nome “*Data Envelopment Analysis*” foi introduzido baseado em técnicas de programação linear.

Quando o conjunto de DMU's tem tamanhos diversos, quer seja representado pelo tamanho do seu ativo, competições imperfeitas, faturamento ou restrições a créditos, elas tendem a ter rendimentos de escala diferentes.

Dessa maneira, após a criação do método CCR, foram desenvolvidas algumas extensões do método básico.

Um desses métodos foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper em 1984, que passou a ser chamado de VRS (*Variable Returns to Scale* – Retornos Variáveis de Escala), ou BCC (Banker, Charnes e Cooper).

Para entender o conceito VRS, consideremos o exemplo da a seguir com apenas um insumo, um produto e a eficiência produto-orientado (CRS) mostrada na última coluna.

Tabela 2.6: VRS versus CRS

	x	y	y/x	Eficiência
DMU1	2	1	0,50	0,38
DMU2	3	2	0,67	0,50
DMU3	5	3	0,60	0,45
DMU4	3	4	1,33	1,00
DMU5	6	5	0,83	0,63

Máximo $y/x = 1,33$

Observemos agora o gráfico da Figura 2.6.

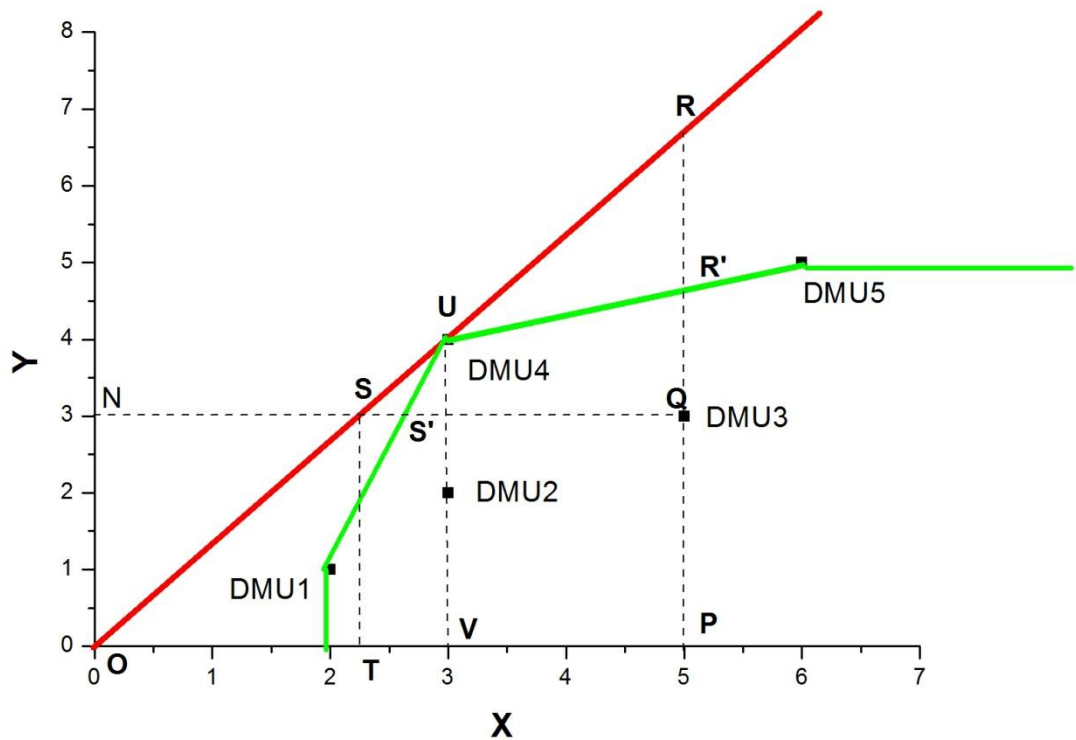


Figura 2.6: Fronteiras VRS e CRS

A reta vermelha da Figura 2.6 representa a fronteira de eficiência CRS. Como mostrado na secção 2.1, a eficiência técnica produto-orientado da DMU3 é calculada através da sua projeção R para a fronteira de eficiência, como:

$$ET3_p = \frac{QP}{RP}$$

Ao passo que a eficiência técnica insumo-orientado da mesma DMU pode ser calculada através de sua projeção S para a fronteira de eficiência, como:

$$ET3_i = \frac{NS}{NQ} = \frac{OT}{OP} = \frac{OT \cdot \left(\frac{ST}{OT}\right)}{OP \cdot \left(\frac{RP}{OP}\right)} = \frac{ST}{RP} = \frac{QP}{RP} = \dots = ET3_p$$

Como já comentado no início dessa secção, no método CRS as eficiências técnicas produto-orientado ($ET3_p$) e insumo-orientado ($ET3_i$) são iguais, como comprovado.

A linha verde do gráfico da Figura 2.6 representa a fronteira de eficiência VRS. Essa variação do método CRS considera situações em que abaixo de certos valores de insumos não temos produção e também que aumentando os insumos chegaremos a um nível em que até as DMU's mais eficientes não aumentarão mais sua produção. As DMU's que definem a fronteira de eficiência VRS são as DMU1, DMU4 e DMU5.

A eficiência insumo-orientado VRS da DMU3 é calculada com base na sua projeção S' para a fronteira, que para essa DMU é definida pelas DMU1 e DMU4, já a eficiência produto-orientado VRS dessa mesma DMU3 é definida pela projeção R' para a fronteira, nesse caso determinada pelas DMU4 e DMU5.

Quando trabalhamos com múltiplos insumos e produtos, Banker, Charnes e Cooper mostraram que o método DEA, VRS pode ser implementado, impondo uma restrição adicional:

$$\sum_{j=1}^K \lambda_j = 1$$

de formas que:

$$\theta_k = \min(\theta)$$

sujeito a:

$$\theta x_{kn} \geq \sum_{j=1}^K \lambda_j x_{jn}; n = 1, 2, \dots, N$$

$$y_{km} \leq \sum_{j=1}^K \lambda_j y_{jm}; m = 1, 2, \dots, M$$

$$\sum_{j=1}^K \lambda_j = 1; \theta, \lambda_j \geq 0 \text{ e } j = 1, 2, \dots, K$$

Essa formulação representa o DEA, VRS (ou BBC) insumo-orientado. A representação abaixo:

$$w_k = \max (w)$$

sujeito a:

$$wy_{km} \leq \sum_{j=1}^K \lambda_j y_{jm}; m = 1, 2, \dots, M$$

$$x_{kn} \geq \sum_{j=1}^K \lambda_j x_{jn}; n = 1, 2, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^K \lambda_j = 1$$

com:

$$\theta, \lambda_j \geq 0 \text{ e } j = 1, 2, \dots, K$$

representa DEA, VRS (ou BCC) produto-orientado.

Essa restrição deixa o envelope mais apertado do que o envelope CRS e com isso produz valores de eficiências maiores ou iguais aos desse modelo.

Existem outros modelos com outras restrições que são usados em situações diversas que podem ser explorados em trabalhos futuros.

2.3. Aplicações do DEA na agronomia

Na literatura encontram-se inúmeras referencias sobre o uso do DEA na análise da eficiência em agricultura, tais como:

- Townsend e colaboradores, (1998) testaram na África do Sul, as relações existentes entre o tamanho de quatro fazendas produtoras de vinho e a produtividade das mesmas, concluindo que não há tamanho ótimo e sim uma distribuição ótima de tamanhos.

- Yuk-Shing ,no fim dos anos 90, avaliou a eficiência da agricultura chinesa. Devido ao seu trabalho tomaram-se direções estratégicas que promoveram o crescimento contínuo da agricultura na China.
- Gulati e Mishra (1999), nos Estados Unidos, analisaram a eficiência e os retornos de escala em plantações de algodão, concluindo que a diferença nas eficiências em função das áreas das plantações estavam relacionada com o valor obtido pela venda de produtos e com fatores de localização geográfica das DMU's.
- Sharma (1999), realizou na China, um estudo sobre a avaliação da eficiência econômica e tamanho da população de diferentes espécimes de peixes. Esse trabalho indicou os espécimes cuja população deveria ser aumentada e as que deveriam ser diminuídas.
- Fraser e Cordina (1999) avaliaram 50 fazendas produtoras de leite na Austrália, identificando os fatores socioeconômicos como fatores que causam ineficiência.
- Reinhard et.al. (1999/2000) , estimaram medidas de eficiência ambiental para 613 fazendas de produção de leite na Holanda.
- Krasachat (2002), estudou o impacto do desmatamento na mudança da produtividade, já que essa prática pode causar mudanças nas características do solo. Seu trabalho resultou em um grande aumento das áreas cultivadas na Tailândia provocando um grande crescimento agrícola.
- Reig-Martinez e Picazo-Tadeo (2004) aplicaram o DEA para identificar oportunidades de aumentar a eficiência de fazendas de cultivo de laranjas na Espanha.
- A análise da eficiência de tratores agrícolas dos Estados Unidos foi um estudo efetuado por Claar e Stokes (2004). Como inputs, considerou o consumo de combustível, a aderência e o centro de gravidade. Como output, considerou o preço de revenda. Deste estudo os autores concluíram que os tratores John Deere eram mais eficientes que os restantes.
- Lanzik e Reinhard (2004) usaram o DEA para investigar as possibilidades de melhorar a eficiência das fazendas de criação de porcos na Alemanha.

No Brasil muitos autores tem usado o método DEA em diversas áreas da agronomia:

- Gomes (1999) utilizou o DEA para comparar os produtores de leite no Brasil por meio de indicadores técnicos e econômicos, classificando-os em eficientes e ineficientes, segundo os recursos disponíveis, os perfil tecnológico e os resultados alcançados.
- Ferreira (2002) e Ferreira Júnior (2004), utilizaram o DEA como forma de avaliar a eficiência de diferentes sistemas de produção quanto ao grau de sangue do rebanho bovino.
- Helfand e Levine (2004) usaram o DEA para encontrar uma relação não linear entre o tamanho de fazendas e eficiência, na região central do Brasil.

Inúmeros outros trabalhos na área de agronomia podem ser encontrados em dissertações e teses produzidas nas diversas universidades do Brasil. Na próxima seção realizamos uma descrição detalhada do artigo publicado por Melgarejo, Figueiredo e Fries (2009), já citado na introdução, e objeto de trabalho dessa dissertação.

2.4. Artigo de Melgarejo, Figueiredo e Fries.

2.4.1. Dados sociais e geográficos

Esse trabalho de MELGAREJO et. al.(2009) foi desenvolvido com a finalidade de medir a eficiência relativa de 90 assentamentos agrários situados no estado do Rio Grande do Sul e com isso comparar os assentamentos eficientes com os não eficientes , identificando ações que pudessem ajudar a aumentar a probabilidade de sucesso dos mesmos, sugerindo medidas a serem adotadas pelos assentamentos ineficientes para que em tempo hábil se tornassem mais eficientes nesta e em outras regiões do Brasil.

Com uma área de 282 mil quilômetros quadrados e com uma população em torno de 9,5 milhões de habitantes (24% dos quais na área rural), o Rio Grande do Sul é o quarto maior estado do Brasil tanto em termos do PIB (Produto Interno Bruto)

como em renda per capita. Os indicadores socioeconômicos do Rio Grande do Sul são significativamente melhores do que a média nacional.

Até 2005 o programa de reforma agrária Brasileira tinha criado, instalado e consolidado 294 assentamentos no estado, perfazendo um total de 11.400 famílias alocadas, das quais apenas 627 obtiveram o título definitivo de posse da terra.

No artigo em estudo os autores examinaram 90 diferentes assentamentos da reforma agrária, cada um representando uma unidade produtiva, que em DEA chamamos de DMU, sigla bastante mencionada nas secções anteriores, com um total de 3600 famílias.

Esses assentamentos foram arbitrariamente agrupados pelos autores em três regiões distintas (Figura 2.7):

A primeira região chamada de Pioneira é a mais populosa, fica situada no norte do estado e possui 37 assentamentos. A segunda região é a de mais baixa densidade populacional, fica no extremo sul do estado é chamada de Expansão, possuindo 34 assentamentos. A terceira e última região tem o nome de Contraste, fica localizada entre as outras duas guarda, algumas características de ambas e conta com 19 assentamentos.

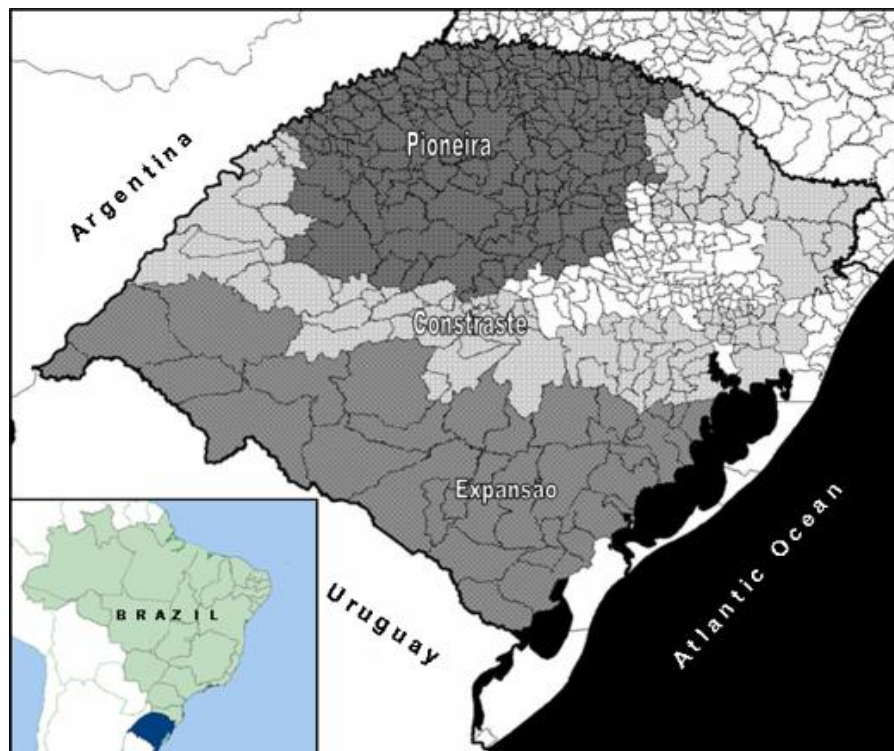


Figura 2.7: Mapa do Brasil e do estado do Rio Grande do Sul

2.4.2. Escolha das variáveis de entrada e saída para o DEA

Como em todo trabalho que utiliza o método DEA, uma vez definida as DMU's passa-se para a fase de escolha das variáveis, inputs e outputs (entradas e saídas ou insumos e produtos). Para essa seleção, Golany e Roll (1989) sugerem uma abordagem em três etapas. A primeira etapa é qualitativa, ou seja, usa um critério de seleção de tal maneira que as variáveis selecionadas não sejam redundantes ou tenham informações conflitantes, mas que ao mesmo tempo contribuam para a avaliação da eficiência. A segunda etapa é uma fase de análise estatística quantitativa, usando análise de correlação, *principal component analysis* (PCA) e / ou outros métodos de análise multivariada para identificar relações existentes entre as entradas e entre as saídas escolhidas na primeira etapa. A terceira etapa utiliza o próprio método DEA para fazer uma última análise e refinar ainda mais o grupo de entradas e saídas escolhidas.

A primeira etapa é extremamente dependente de julgamento de analistas, e nesses casos a disponibilidade de um grupo de especialistas no assunto tratado, para ajudar na seleção das entradas e saídas, é muito vantajosa. Na segunda etapa se utiliza muitas técnicas estatísticas e torna-se necessários outros especialistas. Os métodos estatísticos usados nessa etapa, análise de correlação e PCA, realizam uma avaliação estatística quantitativa dos dados para reduzir o número de variáveis. Para reduzir ainda mais o número de variáveis na terceira etapa usa-se também o método *stepwise* de Norman e Stoker (1991).

2.4.2.1. Conceitos do PCA

O método PCA (*principal component analysis*) é uma ferramenta poderosa para se analisar grandes quantidades de dados porque é um método que permite a redução da dimensão de uma massa de dados com a menor quantidade possível de perda de informação sobre os mesmos. Os principais componentes (PCs) de um conjunto X de variáveis originais são combinações lineares não correlacionadas de X que detêm a maior quantidade de informação possível contida nas variáveis originais. Essas variáveis originais são representadas como o produto de *scores* e *loading vectors*, respectivamente t_h e p_h . Esses *scores* e *loadings*, podem ser calculados interativamente através da seguinte relação: $X = t_1p'_1 + t_2p'_2 + \dots + t_hp'_h$.

Considere o exemplo da Figura 2.8 abaixo:

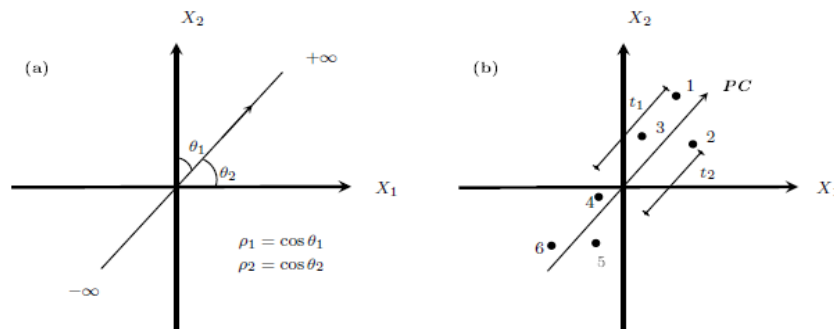


Figura 2.8: Componente principal, no caso de duas variáveis (a) loadings são os cossenos dos ângulos do vetor direção; (b) scores são as projeções das amostras (1-6) na direção do componente principal , MELGAREJO et. al. (2009).

A Figura mostra duas variáveis X_1 e X_2 . A Figura 2.8(a) mostra um componente principal que é o vetor na direção de maior poder de informação nas amostras da Figura 2.8(b).

Os scores t_h são as projeções das amostras na direção do componente principal e os loadings p_h são os cossenos dos ângulos entre cada componente e cada variável.

Os componentes principais são extraídos em ordem de importância, do maior para o menor de acordo com o seu poder de informação sobre o conjunto X .

O número de componentes é geralmente o mesmo que o número de variáveis, porém alguns dos componentes (os principais) são responsáveis pela maior parte do poder de informação e eles podem ser selecionados como representantes do conjunto de dados original. Uma introdução abrangente sobre PCA pode ser encontrada em Johnson e Wichern (1982).

2.4.2.2. Conceitos do método *stepwise* usado por Norman e Stoker

Os autores apresentam esse método como uma abordagem gradual para um ajuste fino do conjunto de variáveis de entrada e saída que examina não apenas a correlação entre as medidas de eficiência e as variáveis de entrada e saída, individualmente, mas a existência de causalidade entre cada variável e a medida de eficiência.

O que acontece na realidade é que essa abordagem combina a análise estatística, através do exame de correlações, com análise de julgamento de causa e efeito socioeconômicos.

O primeiro passo do método *stepwise* usado por Norman e Stoker é a escolha da mais representativa variável de entrada e variável de saída. Feito isso, aplica-se o método DEA para encontrar a eficiência relativa e determina-se as correlações existentes entre cada variável e a medida da eficiência correspondente. Nas próximas etapas, uma ou algumas poucas variáveis são incluídas (ou excluídas) do conjunto entrada/saída.

Variáveis com alta correlação e forte relação de causa e efeito com as medidas de eficiência, são candidatas a serem incluídas no modelo enquanto que variáveis com baixa correlação e fraca relação de causa e efeito com as medidas de eficiência são candidatas a serem excluídas a cada etapa. Esse processo continua até que todas as correlações significativas tenham sido consideradas e todas as relações de causa e efeito contabilizadas.

Após todas essas etapas a adição de novas variáveis de entrada ou saída no conjunto definido não altera substancialmente o resultado das eficiências calculadas.

2.4.2.3. Variáveis de entrada e saída

Os autores do artigo em estudo, MELGAREJO et.al., obtiveram os dados de cada um dos assentamentos por meio das três maiores instituições envolvidas na reforma agrária do estado. O INCRA, a EMATER do RS (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do RS) e o MST (Movimento dos Sem Terra), organização local, como também dados dos próprios assentamentos.

Um grupo foi formado por representantes dessas três instituições mais importantes: 13 representantes do MST, 9 do INCRA e 12 da EMATER. Esse grupo, através do processo Delphi, que é um procedimento utilizado para identificar parâmetros e variáveis de importância na opinião de um grupo de especialistas (Milkovich et. al.,1972), elegeram em comum acordo uma lista de importantes variáveis envolvendo vários setores tais como:

- Indicadores quantitativos, incluindo saídas, investimentos, fatores de produção, infra-estrutura e uso de tecnologia.

- Indicadores qualitativos, incluindo história dos colonos, cidadania, relacionamento com instituições, comunidade em geral e qualidade de vida.

Inicialmente essa lista continha em torno de 100 variáveis para descrever os assentamentos. Através da eliminação de variáveis que mostravam grau significativo de redundância e também com combinações de variáveis, (sempre que apropriadas e possíveis), a lista inicial de variáveis foi reduzida para 54.

Essas variáveis remanescentes foram agrupadas em algumas categorias como mostrado na Tabela 2.7 abaixo:

Tabela 2.7: Descrição do conjunto de variáveis dos 90 assentamentos

(a) Produção / vendas e consumo.	(b) Dados sobre as famílias e oferta de trabalho no assentamento.
LAV\$VE – receita de vendas de produtos agrícolas do assentamento. STOT\$V – receita de vendas de sementes do assentamento. PEC\$VE – receita de vendas de produtos da pecuária do assentamento. CT\$LP – consumo interno de produtos agropecuários. LAV\$TOT – produção agrícola total (venda e consumo) (*). PEC\$TOT – produção pecuária total (venda e consumo) (*).	FAMILIAS – número de famílias do assentamento. PESSOAS – número de indivíduos do assentamento (*). ADULTO -- número de adultos do assentamento. FCSAOKrel--porcentagem de famílias com habitação adequada. FKPROP – número de famílias que chegam ao assentamento com recursos iniciais significativos
(c) Dados sobre a oferta de terra por assentamento, incluindo área e qualidade do solo.	(d) Dados sobre a tecnologia, ou seja, grau de mecanização e uso de fertilizante.
HATOTAL – área total do assentamento em hectares. HAAGRIC – área útil para a agricultura no assentamento, em hectares (*). LOTES – número de lotes de terra no assentamento (geralmente o mesmo que FAMILIAS) (*). HACULT – número de hectares com atividade agrícola produtiva no assentamento. LMENOR – número de lotes no assentamento menores do que o tamanho padrão do INCRA (*). INAPHA – área em hectares que não é utilizada para a atividade produtiva (*). CSOLOpond – variável indicativa da qualidade do solo do assentamento.	CAMINHAO – número de caminhões no assentamento. TRATOR – número de tratores no assentamento. JTBOI – número de pares de animais (por exemplo, bois) utilizados para tração no assentamento. AUTO – número de automóveis no assentamento. HP (trator) – potência do trator do assentamento. ADBRGHA – número de hectares com adubo orgânico. ADQUIHA – número de hectares utilizando fertilizantes químicos. PCHA – número de hectares plantados com práticas conservacionistas. CALHA – número de hectares tratados com óxido de cálcio.

Cont. Tabela 2.7

(e) Dados sobre infra-estrutura, incluindo logística e acesso aos mercados.	(f) Dados financeiros.
FCALUZ – número de casas com energia elétrica no assentamento (*). FHRTDOM – número de famílias com horta para consumo próprio. FPMARD – número de famílias com pomar para consumo próprio. FAGFONT – número de famílias com fácil acesso a água potável (*). FAPC, ART – número de famílias com poço artesiano (*). FAPC, RS – número de casas com poço raso (*). I\$TINC – total de financiamento de infra-estrutura individual do assentamento (investimento do INCRA). STRADpond – variável qualitativa que indica as condições da estrada do assentamento. PMERCpond – variável qualitativa que indica as condições de acesso aos mercados durante todo o ano.	C\$TINC – total de capital de giro do assentamento, fornecido pelo INCRA. C%EMAOK – porcentagem de famílias que recebem crédito de capital de giro em tempo hábil. I%EMAOK – porcentagem de famílias que recebem crédito para infra-estrutura em tempo hábil. IC%EMAOK – famílias que recebem crédito para capital de giro e investimento em tempo hábil. PDIVDA – nível de endividamento do assentamento (*).
(g) Dados sobre o nível de conhecimento coletivo, experiência e nível de organização no assentamento.	(h) Dados sobre variáveis socioeconômicas.
IDADE – idade do assentamento em anos. PORGpond – variável qualitativa que descreve o nível de organização no assentamento. FGRLFAM – número de famílias que participam de grupos mas exploram seus lotes individualmente (*). FINDIVL – número de famílias trabalhando individualmente e independentemente (não estão em grupos). FEPAJ – número de famílias que tem experiência anterior na região do assentamento. FGRORG – porcentagem de famílias que participam de grupos organizados (*).	CRIANÇS – número de crianças no assentamento (*). ALUNOS – número de crianças no assentamento que frequentam a escola (*). ANALF – número de analfabetos no assentamento (*). FALMTOK – número de famílias com alimentação adequada no assentamento. ALIMpond – variável qualitativa indicando a qualidade da alimentação no assentamento. PRELACIOpond – variável qualitativa- qualidade do relacionamento com a prefeitura e comércio local. PCIDpond - variável qualitativa, nível coletivo de cidadania e responsabilidade social com o assentamento.

Análises de correlação e aplicações do processo Delphi, foram usados para reduzir essa lista de variáveis mais uma vez. As variáveis marcadas com um asterisco na Tabela 2.7, foram removidas nesta última etapa, resultando numa lista com 37 variáveis remanescentes.

Nos 90 assentamentos (DMU's), usando essas 37 variáveis, MELGAREJO et.al. aplicaram o PCA usando o software XLSTAT. Com o resultado do PCA fizeram uso do método *stepwise* de Norman e Stoker e chegaram a lista definitiva de variáveis que seriam usadas na aplicação do DEA. Essa lista é composta de 12 variáveis, 4 de saída e 8 de entrada. A relação dessas variáveis é mostrada na Tabela 2.8.

Tabela 2.8: Variáveis de entrada e saída selecionadas

SAÍDAS	ENTRADAS
FALMTOK (socioeconômica) Número de famílias com alimentação adequada no assentamento.	HACULT (oferta de terra) Número de hectares com atividade agrícola produtiva no assentamento.
ALIMpond (socioeconômica) Indica a qualidade da alimentação no assentamento.	ADULTOS (oferta de trabalho) Número de adultos do assentamento.
LAV\$VE (produção / vendas e consumo) Receita de vendas de produtos agrícolas do assentamento.	JTBOI (tecnologia) Número de pares de animais (por exemplo: bois) utilizados para tração no assentamento.
PEC\$VE (produção / venda e consumo) Receita de vendas de produtos da pecuária do assentamento.	C\$TINC (financeiro) Total de capital de giro do assentamento, fornecido pelo INCRA.
	PCHA (tecnologia) Número de hectares plantados com práticas conservacionistas.
	I\$TINC (infra-estrutura) Total de financiamento de infra-estrutura individual do assentamento (investimento do INCRA).
	FINDIVL (conhecimento e organização) Número de famílias trabalhando individualmente e independentemente (não estão em grupos).
	CALHA (tecnologia) Número de hectares tratados com óxido de cálcio.

2.4.3. Aplicação do DEA

O modelo DEA escolhido para o cálculo das eficiências nesse artigo de Melgarejo et.al. foi o produto-orientado, devido ao fato dos assentamentos (DMU's) não terem poder de decisão para alterar significativamente seus insumos (tamanho por exemplo) e com isso não poderem aumentar os valores de suas entradas.

O que os assentamentos podem fazer é alterar a diversificação da produção, ou seja, escolher o que produzir com a disponibilidade existente. Os assentamentos também não tem poderes para aumentar significativamente seus tamanhos para atingir a escala que permitiria maior produtividade, o que favorece o uso de DEA VRS (retornos variáveis de escala).

O *General Algebraic Modeling System* (GAMS), segundo Olsen e Petersen (1996) foi o software escolhido para aplicar os modelos DEA (CRS, VRS, FGL). As entradas, saídas e as eficiências calculadas para cada um dos 90 assentamentos (DMU's) são mostradas na Tabela 2.9 a seguir:

Tabela 2.9: Valores das entradas , saídas e eficiências produtiva, técnica e alocativa das 90 DMU's do artigo

Região	DMU	ENTRADAS							SAÍDAS				EFICIÊNCIAS			
		HACULT	ADULTOS	JTABOI	CŞTINC	PCHA	IŞTINC	FINDVIL	CALHA	FALMTOK	ALIMpond	LAVŞVE	PECŞVE	Produtiva	Técnica	Manejo
	1	900	337	70	185,856	650,000	562,124	51,000	150,000	17,000	0,400	164,373	38,443	0,260	0,580	0,660
	2	80	11	2	-	80,000	-	5,000	50,000	8,000	0,730	15,651	32,898	1,000	1,000	1,000
	3	113	33	8	8,000	70,000	53,819	4,000	70,000	9,000	0,600	32,042	34,262	0,840	0,860	0,860
	4	840	180	18	-	800,000	245,729	13,000	800,000	50,000	0,600	264,422	134,639	1,000	1,000	1,000
	5	140	69	18	6,548	5,000	64,926	2,000	40,000	2,000	0,370	10,761	10,389	0,660	0,680	0,810
	6	750	148	21	43,000	750,000	767,913	37,000	600,000	45,000	0,600	344,335	57,223	0,690	1,000	1,000
	7	543	80	9	33,000	543,000	590,091	6,000	543,000	35,000	0,670	149,653	193,017	1,000	1,000	1,000
	8	420	108	13	25,730	420,000	356,852	16,000	420,000	21,000	0,570	133,801	122,544	0,760	0,830	1,000
	9	674	183	30	34,200	600,000	262,546	39,000	120,000	11,000	0,410	159,964	27,237	0,340	0,590	0,730
	10	260	159	28	39,050	42,000	434,182	0,000	40,000	27,000	0,630	45,116	6,233	0,900	0,950	0,980
	11	500	174	28	43,000	150,000	568,223	35,000	100,000	22,000	0,500	77,422	13,841	0,300	0,570	0,690
	12	950	262	25	131,200	800,000	460,837	8,000	400,000	45,000	0,650	199,934	65,638	0,580	0,950	1,000
	13	200	81	12	22,000	80,000	281,544	25,000	60,000	10,000	0,470	29,154	5,835	0,340	0,590	0,970
	14	690	200	5	68,400	690,000	302,428	12,000	690,000	21,000	0,600	179,397	24,103	0,700	1,000	1,000
Pioneira	15	800	280	28	111,200	700,000	426,393	0,000	700,000	38,000	0,530	122,045	95,236	0,600	0,940	1,000
	16	1400	342	48	153,900	400,000	804,916	64,000	600,000	49,000	0,830	287,166	74,684	0,320	1,000	1,000
	17	806	246	38	51,802	520,000	643,027	30,000	410,000	52,000	0,620	78,503	75,386	0,450	0,870	1,000
	18	510	234	28	67,533	200,000	258,530	4,000	150,000	30,000	0,670	27,920	35,659	0,500	0,880	1,000
	19	350	95	25	23,394	280,000	290,399	0,000	220,000	28,000	0,670	47,222	47,619	1,000	1,000	1,000
	20	120	80	23	30,070	0,000	173,093	0,000	20,000	23,000	0,670	43,340	-	1,000	-	1,000
	21	2175	379	95	230,151	1600,000	2,321,791	58,000	2175,000	136,000	0,530	175,775	167,334	0,680	1,000	1,000
	22	120	86	25	23,616	14,000	128,533	0,000	40,000	11,000	0,530	20,209	-	0,720	0,820	1,000
	23	378	41	0	-	120,000	49,126	18,000	120,000	18,000	1,000	74,201	72,253	1,000	1,000	1,000
	24	80	46	8	5,000	25,000	93,405	9,000	60,000	7,000	0,600	22,823	3,592	0,880	0,920	1,000
	25	1403	151	45	76,500	900,000	444,165	34,000	1430,000	62,000	0,750	364,044	151,456	0,790	1,000	1,000
	26	1400	163	50	68,400	900,000	507,684	36,000	1400,000	53,000	0,750	408,665	187,461	0,790	1,000	1,000
	27	190	66	0	18,362	150,000	-	0,000	65,000	14,000	0,570	28,656	29,202	1,000	1,000	1,000
	28	250	94	30	28,000	80,000	281,633	4,000	80,000	12,000	0,470	9,144	10,301	0,300	0,610	0,730
	29	350	122	17	96,286	340,000	508,533	0,000	340,000	23,000	0,830	101,304	306,854	1,000	1,000	1,000
	30	153	38	13	21,767	70,000	65,926	4,000	140,000	13,000	0,670	55,330	50,618	1,000	1,000	1,000

Cont. Tabela 2.9

Região	DMU	ENTRADAS							SAÍDAS				EFICIÊNCIAS			
		HACULT	ADULTOS	JTABOI	CŞTINC	PCHA	IŞTINC	FINDVIL	CALHA	FaLMTOK	ALIMpond	LAVŞVE	PECŞVE	Produtiva	Técnica	Manejo
Contraste	31	299	85	10	55,482	70,000	255,604	0,000	180,000	9,000	0,450	37,501	11,609	0,400	0,660	1,000
	32	180	77	7	15,400	90,000	-	5,000	180,000	13,000	0,720	60,047	26,396	1,000	1,000	0,700
	33	370	205	20	90,000	80,000	355,604	0,000	120,000	50,000	0,670	72,870	6,681	1,000	1,000	1,000
	34	181	102	17	50,351	0,000	104,011	0,000	0,000	0,000	0,000	100,095	49,167	1,000	1,000	1,000
	35	432	71	31	37,860	280,000	405,656	0,000	120,000	25,000	0,530	0,000	43,780	1,000	1,000	1,000
	36	140	52	8	20,400	90,000	41,630	3,000	140,000	12,000	0,730	40,193	23,440	0,940	1,000	1,000
	37	2000	648	32	233,000	2000,000	1562,178	118,000	2000,000	139,000	0,530	169,176	89,871	0,490	1,000	1,000
	38	150	48	2	7,139	0,000	135,807	2,000	10,000	22,000	0,670	49,595	31,740	1,000	1,000	1,000
	39	170	37	7	23,269	0,000	39,564	7,000	80,000	10,000	0,600	95,884	6,681	1,000	1,000	1,000
	40	795	85	9	86,000	170,000	1054,591	22,000	142,000	0,000	0,000	379,614	16,819	1,000	1,000	1,000
	41	205	220	22	79,792	100,000	654,625	43,000	150,000	54,000	0,570	29,663	23,248	1,000	1,000	1,000
	42	80	41	14	16,430	18,000	90,501	0,000	8,000	7,000	0,570	5,760	-	1,000	1,000	1,000
	43	226	75	12	20,719	2,000	-	17,000	20,000	9,000	0,450	51,593	8,405	1,000	1,000	1,000
	44	54	28	5	5,226	3,000	10428,000	6,000	14,000	3,000	0,430	3,748	13,060	0,890	1,000	1,000
	45	150	83	36	31,000	0,000	326,266	0,000	100,000	17,000	0,630	84,869	5,079	1,000	1,000	1,000
	46	40	27	3	-	7,000	49,505	0,000	7,000	0,000	0,380	1,241	4,694	1,000	1,000	1,000
	47	450	116	8	87,396	200,000	314,117	6,000	400,000	46,000	0,670	116,244	69,919	0,870	1,000	1,000
	48	66	41	4	11,700	10,000	146,193	0,000	25,000	7,000	0,500	17,494	4,177	1,000	1,000	1,000
	49	145	67	15	13,500	120,000	106,377	0,000	50,000	10,000	0,570	13,792	9,244	0,880	1,000	1,000
	50	371	90	7	30,629	20,000	121,562	4,000	10,000	25,000	0,570	9,493	58,591	1,000	1,000	1,000
51	80	30	3	7,181	0,000	104,825	1,000	5,000	13,000	0,670	22,373	24,347	1,000	1,000	1,000	
52	80	69	20	36,280	35,000	211,493	0,000	40,000	0,000	0,330	0,000	21,964	0,420	0,510	1,000	
53	460	91	15	-	5,000	-	27,000	10,000	51,000	0,570	330,176	70,004	1,000	1,000	1,000	
54	170	86	15	50,319	80,000	267,498	1,000	70,000	18,000	0,570	58,282	10,857	0,850	0,860	0,880	
55	100	64	12	22,576	50,000	126,130	0,000	20,000	7,000	0,530	8,438	-	0,590	0,820	1,000	
56	826	190	29	184,197	310,000	966,452	27,000	150,000								
Expansão	57	276	120	31	39,990	50,000	236,937	3,000	276,000	26,000	0,670	47,787	88,914	0,920	1,000	1,000
	58	280	145	52	50,600	50,000	312,965	3,000	40,000	28,000	0,670	43,982	39,114	0,630	0,930	0,980
	59	27	8	5	5,600	27,000	43,276	0,000	10,000	2,000	0,500	3,537	8,096	1,000	1,000	1,000
	60	45	25	7	11,500	20,000	68,577	2,000	20,000	7,000	0,670	7,110	5,390	1,000	1,000	1,000

Cont. Tabela 2.9

Região	DMU	ENTRADAS							SAÍDAS				EFICIÊNCIAS			
		HACULT	ADULTOS	JTABOI	CŞTINC	PCHA	IŞTINC	FINDVIL	CALHA	FALMTOK	ALIMpond	LAVŞVE	PECŞVE	Produtiva	Técnica	Manejo
	61	65	17	6	8,000	2,000	79,207	0,000	3,000	0,000	0,330	14,612	2,571	1,000	1,000	
	62	196	196	16	37,300	170,000	176,354	39,000	10,000	25,000	0,530	43,352	29,783	0,870	0,950	1,000
	63	120	74	11	26,600	120,000	135,333	8,000	10,000	12,000	0,530	37,167	15,380	0,680	0,790	0,800
	64	225	161	10	22,000	225,000	195,960	23,000	15,000	24,000	0,530	68,320	26,545	0,720	0,800	0,800
	65	768	253	16	144,100	57,000	851,718	0,000	30,000	91,000	0,650	200,264	47,008	1,000	1,000	1,000
	66	279	120	30	63,475	8,000	289,722	1,000	30,000	32,000	0,640	89,783	27,546	0,890	1,000	1,000
	67	247	97	19	25,700	49,000	246,415	14,000	40,000	27,000	0,670	82,578	34,171	0,710	0,920	0,930
	68	459	135	25	88,085	2,000	416,509	15,000	70,000	45,000	0,630	131,610	72,628	0,710	1,000	1,000
	69	116	41	8	14,400	0,000	114,255	3,000	40,000	16,000	0,670	18,472	6,550	0,980	1,000	1,000
	70	420	109	30	69,400	28,000	263,292	0,000	38,000	29,000	0,600	114,388	62,223	1,000	1,000	1,000
	71	161	50	10	26,000	0,000	139,889	0,000	27,000	8,000	0,480	56,873	10,978	0,860	0,860	1,000
	72	266	21	29	67,560	5,000	242,392	0,000	40,000	18,000	0,630	130,776	24,284	1,000	1,000	1,000
	73	205	40	8	21,900	0,000	112,351	0,000	24,000	10,000	0,630	81,040	16,835	1,000	1,000	1,000
	74	27	29	2	18,000	28,000	82,989	0,000	10,000	6,000	0,630	-	30,820	1,000	1,000	1,000
Expansão	75	74	48	5	24,700	0,000	91,470	0,000	15,000	11,000	0,630	21,559	17,299	1,000	1,000	1,000
	76	98	18	9	14,000	0,000	70,432	0,000	15,000	5,000	0,600	36,734	7,428	1,000	1,000	1,000
	77	125	22	4	22,800	11,000	115,782	7,000	0,000	11,000	0,640	28,014	16,299	1,000	1,000	1,000
	78	233	73	18	38,000	80,000	185,515	0,000	120,000	18,000	0,630	22,111	33,105	0,860	0,940	0,980
	79	224	94	28	52,800	87,000	264,469	10,000	150,000	20,000	0,530	23,526	58,239	0,700	0,750	1,000
	80	830	138	25	48,000	28,000	490,695	36,000	25,000	39,000	0,600	83,563	50,679	0,520	0,910	0,950
	81	99	23	10	19,000	7,000	50,566	10,000	10,000	10,000	0,670	20,181	7,988	1,000	1,000	1,000
	82	250	144	30	63,000	300,000	307,497	30,000	40,000	33,000	0,750	55,288	32,240	0,770	1,000	1,000
	83	252	123	30	95,000	80,000	560,196	10,000	62,000	50,000	0,670	34,359	79,427	1,000	1,000	1,000
	84	150	100	18	-	50,000	-	24,000	0,000	14,000	0,500	19,362	4,491	1,000	1,000	1,000
	85	141	122	15	40,800	0,000	249,756	19,000	12,000	11,000	0,630	21,956	10,132	0,540	0,950	1,000
	86	161	73	10	15,000	0,000	75,500	0,000	50,000	3,000	0,480	45,141	47,353	1,000	1,000	1,000
	87	1	358	83	216,722	100,000	865,711	0,000	110,000	56,000	0,500	213,991	177,296	0,800	1,000	1,000
	88	288	420	68	153,000	70,000	601,476	18,000	180,000	4,000	0,350	64,431	141,796	0,990	1,000	1,000
	89	375	44	3	63,000	0,000	192500,000	3,000	0,000	0,000	0,000	182,533	53,568	1,000	1,000	1,000
	90	190	49	0	29,900	0,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	2,400	480,000	1,000	1,000	1,000

Devido ao grande número de assentamentos (DMU's) na análise e o espaço limitado no artigo, os autores fazem uma avaliação de apenas uma DMU (a número 11), para ilustrar o uso do DEA e estabelecer as mudanças para a melhoria de cada eficiência específica nesse assentamento. Essa DMU mostra uma eficiência produtiva de 0.3, devido a escala inadequada, uma eficiência técnica de 0,57, devido a variedade de produção inadequada e uma eficiência de manejo de 0.73, devido a inadequadas práticas gerenciais. A DMU ideal é aquela que mostra essas três eficiências com o mesmo valor 1 (um), o que é encontrado em 42 delas.

Nessa análise da DMU11, é sugerida a implementação de ações considerando seus níveis de eficiências de manejo, técnica e produtiva. São apresentados os valores observados, bem como o maior provável aumento de produção atingível (expandido), permanecendo as entradas constantes e eliminando apenas as causas das respectivas ineficiências. Também são mostrados os níveis projetados para cada variável nas três eficiências, obtidos através da combinação dos pesos dos planos de produção dos assentamentos de referência. Cada DMU tem as suas DMU's de referência indicadas pelo próprio método DEA, com isso a análise dos resultados é feita individualmente. Toda essa análise da DMU11 é detalhada na Tabela 2.10 a seguir.

Nas sugestões com o nome de "expandido", só existem valores para as saídas, isso acontece devido ao fato da análise ter sido feita pelo método produto-orientado que visa verificar os incrementos de produção (saídas) a serem aplicados, sem aumento de insumos (entradas).

Ao modificarmos esses valores de saídas e mantermos os valores iniciais de entradas, atinge-se a eficiência unitária. Essas alterações são importantes porque dependem quase que exclusivamente dos assentamentos (são saídas) e não do INCRA ou de alguma outra instituição que forneça insumos aos assentamentos

Tabela 2.10: Expansão e Projeção dos Planos de Produção da DMU11 Considerando as Eficiências de Manejo, Técnica e Produtiva

		Pesos	ENTRADAS								SAÍDAS				
			HACULT	ADULTOS	JTABOI	C\$TINC	PCHA	I\$TINC	FINDVIL	CALHA	FALMTOK	ALIMpond	LAV\$VE	PEC\$VE	
Eficiência de Manejo	DMU's de referências	6	0,01	750	148	21	43.000	750	767.913	37	600	45	0,6	344.335	57.223
		16	0,11	1400	342	48	153.900	400	804.916	64	600	49	0,83	287.166	74.684
		20	0,69	120	80	23	30.070	0	173.093	0	20	23	0,67	43.340	-
		23	0,04	378	41	0	-	120	49.126	18	120	18	1	74.201	72.253
		33	0,05	370	205	20	90.000	80	355.604	0	120	50	0,67	72.870	6.681
		53	0,1	460	91	15	-	5	-	27	10	51	0,57	330.176	70.004
	DMU 11 eficiência-0,73		Observado	500	174	28	43.000	150	568.223	35	100	22	0,5	77.422	13.841
			Expandido									27,8	0,63	98.003	17.52
		Projetado	324	115	24	42.607	61	235.371	11	98	30	0,69	104.566	19.012	
		Diferença	176	59	4	393	89	332.852	24	2	-8	-0,19	-27.143	-5.171	
Eficiência Técnica	DMU's de referências	16	0,02	1400	342	48	153.900	400	804.916	64	600	49	0,83	287.166	74.684
		23	0,65	378	41	0	-	120	49.126	18	120	18	1	74.201	72.253
		53	0,11	460	91	15	-	5	-	27	10	51	0,57	330.176	70.004
		65	0,22	768	253	16	144.100	57	851.718	0	30	91	0,65	200.264	47.008
	DMU11 eficiência-0,57		Observado	500	174	28	43.000	150	568.223	35	100	22	0,5	77.422	13.841
			Expandido									38,6	0,88	135.828	24.282
			Projetado	493	99	6	34.780	99	235.408	16	98	38	1	134.352	66.500
			Diferença	7	75	22	8.220	51	332.815	19	2	-16	-0,5	-56.929	-52.660
Eficiência Produtiva	DMU's de referência	41	0,24	205	220	22	79.792	100	654.625	43	150	54	0,57	29.663	23.248
		51	1,63	80	30	3	7.181	0	104.825	1	5	13	0,67	22.373	24.347
		53	0,63	460	91	15	-	5	-	27	10	51	0,57	330.176	70.004
		83	0,13	252	123	30	95.000	80	560.196	10	62	50	0,67	34.359	79.427
	DMU11 eficiência-0,30		Observado	500	174	28	43.000	150	568.223	35	100	22	0,5	77.422	13.841
			Expandido									73,3	1,7	258.075	46.136
			Projetado	502	175	24	43.205	38	400.801	30	59	73	2,11	256.065	99.693
			Diferença	-2	-1	4	-205	112	167.422	5	41	-51	-1,17	-178.643	-85.852

3. MÉTODO

Como é mostrado na secção anterior o método DEA nesse caso torna-se um processo cujo resultado tem um baixo poder discriminatório apresentando cerca de, 47% dos assentamentos pesquisados com a eficiência máxima, ou seja, 1 (100%) em todas as três eficiências calculadas, produtiva, técnica e de manejo. Além do mais, 67% dos assentamentos apresentaram eficiência técnica máxima (100%), a mesma coisa acontecendo com 80% dos assentamentos em relação a eficiência de manejo.

Devido a esses resultados, utilizamos nessa dissertação um método denominado de MDEA (*Multiple Data Envelopment Analysis*) para melhorar esse poder discriminatório e também diminuir os efeitos da “maldição da dimensionalidade”, na qual a dispersão das observações no espaço de alta dimensão, (muitas variáveis e DMU's), torna inviável qualquer método analítico.

3.1. MDEA

O método proposto nesse trabalho de dissertação, *Multiple Data Envelopment Analysis* (MDEA), foi apresentado pela primeira vez no V Simpósio Internacional de DEA em Hyderabad, Índia, por STOSIC, B; FITTIPALDI, I.P. em Janeiro de 2007 , e consiste na escolha sistemática de subespaços (de várias dimensões) do espaço de parâmetros, onde o DEA é aplicado em cada subespaço, para todas as DMU's. Esse procedimento, computacionalmente intenso, gera para cada DMU uma distribuição (histograma) de eficiência em diferentes contextos.

O valor a ser considerado é uma média e com isso fica praticamente impossível que uma DMU tenha uma eficiência média igual a 1 (um), a não ser que todas as combinações de entradas e saídas gerassem eficiências unitárias (DMU ideal). Devido a esse fato todas as DMU's terão sempre alguma coisa a melhorar.

A técnica proposta nessa dissertação baseia-se no argumento de que em geral não existem métodos rigorosos para a escolha das variáveis para um dado problema.

Normalmente, a escolha das variáveis mostra-se um processo muito subjetivo, baseado em considerações fenomenológicas, bem como na disponibilidade de dados confiáveis. Um pesquisador pode argumentar que certa escolha de variáveis é a mais adequada para o problema em estudo enquanto outro pode defender uma escolha diferente. Também existem os interesses envolvidos nas DMU's em estudo, políticos e administradores de determinadas organizações podem argumentar que determinada escolha de variáveis é mais adequada do que outra, por simples interesses pessoais.

O método MDEA resolve esse problema político e ainda reduz a dimensionalidade do espaço de parâmetros aumentando assim o poder discriminatório do DEA.

O processo funciona da seguinte maneira: primeiramente identificam-se os maiores conjuntos de N entradas e M saídas consideradas relevantes para o problema em estudo. O próximo passo é fazer as escolhas sucessivas de todos os subconjuntos diferentes de $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ entradas e $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ saídas. O DEA será aplicado (método Simplex de programação) a cada combinação de subconjuntos de entradas e de saídas para todas as DMU's.

Como existem,

$$\sum_{n=1}^N \binom{N}{n} = 2^N - 1$$

possíveis escolhas para as entradas e analogamente $2^M - 1$ possíveis escolhas para as saídas, teremos para cada DMU, um total de $N_C \equiv (2^N - 1) (2^M - 1)$ combinações possíveis de entradas e saídas.

No fim desse procedimento, cada DMU terá N_C escores de eficiência, que representam a mais justa forma de avaliação para cada DMU em relação às outras porque engloba todos os possíveis contextos entre as entradas e saídas.

Com os dados obtidos construímos as distribuições de frequências de cada DMU de onde é extraída a média.

No caso em estudo temos 8 entradas e 4 saídas perfazendo um total de $(2^8 - 1) (2^4 - 1) = 255 \times 15$, ou seja, 3825 medidas de eficiência para cada DMU.

As eficiências medidas nesse trabalho são apenas a eficiência produtiva (modelo CRS) e a eficiência técnica (modelo VRS) que achamos o suficiente para verificarmos o poder discriminatório do método MDEA.

O programa utilizado na aplicação do MDEA, esta disponível no site da Biometria (PPGBEA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, na página Downloads do professor Dr. Borko Stosic, com o nome de “Multiple Data Envelopment Analysis”, A novel resampling scheme for DEA / FDA.

4. RESULTADOS

Primeiramente confirmamos os resultados obtidos por MELGAREJO et. al. (2009) aplicando o DEA . Uma vez confirmado os resultados partimos para a aplicação do MDEA (CRS e VRS) fazemos as comparações, analisamos o poder discriminatório do método e escolhemos a mesma DMU11 para verificarmos quão diferentes são as recomendações do MDEA para melhoria de suas eficiências. A Tabela 4.1 mostra os resultados encontrados no artigo de MELGAREJO et. al. e os encontrados em nossos procedimentos , como dito anteriormente, apenas para uma confirmação dos dados.

Tabela 4.1: Resultados do método DEA (CRS e VRS) da dissertação e do artigo

DMU's	DEA, CRS, Artigo	DEA, CRS, DISSERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	DEA, VRS, DISSERTAÇÃO
1	0,2600	0,2603	0,5800	0,5808
2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
3	0,8400	0,8407	0,8600	0,8598
4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5	0,6600	0,6686	0,6800	0,6811
6	0,6900	0,6884	1,0000	1,0000
7	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
8	0,7600	0,7611	0,8300	0,8351
9	0,3400	0,3392	0,5900	0,5889
10	0,9000	0,8996	0,9500	0,9404
11	0,3000	0,3037	0,5700	0,5733
12	0,5800	0,5761	0,9500	0,9504
13	0,3400	0,3389	0,5900	0,5899
14	0,7000	0,7014	1,0000	1,0000
15	0,6000	0,5963	0,9400	0,9384
16	0,3200	0,3233	1,0000	1,0000
17	0,4500	0,4529	0,8700	0,8837
18	0,5000	0,4999	0,8800	0,8790
19	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
20	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
21	0,6800	0,6759	1,0000	1,0000
22	0,7200	0,7218	0,8200	0,8181
23	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
24	0,8800	0,8816	0,9200	0,9170
25	0,7900	0,7881	1,0000	1,0000
26	0,7900	0,7930	1,0000	1,0000
27	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
28	0,3000	0,3045	0,6100	0,6178

Cont. Tabela 4.1

DMU,s	DEA, CRS, Artigo	DEA, CRS, DIS-SERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	DEA, VRS, DIS-SERTAÇÃO
29	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
31	0,4000	0,4004	0,6600	0,6667
32	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
33	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
34	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
35	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
36	0,9400	0,9344	1,0000	1,0000
37	0,4900	0,4902	1,0000	1,0000
38	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
39	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
40	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
41	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
42	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
43	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
44	0,8900	0,8794	1,0000	1,0000
45	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
46	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
47	0,8700	0,8709	1,0000	1,0000
48	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
49	0,8800	0,8757	1,0000	1,0000
50	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
51	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
52	0,4200	0,4214	0,5100	0,5106
53	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
54	0,8500	0,8468	0,8600	0,8587
55	0,5900	0,5893	0,8200	0,8206
56		0,0000		0,0000
57	0,9200	0,9221	1,0000	1,0000
58	0,6300	0,6282	0,9300	0,9330
59	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
60	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
61	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
62	0,8700	0,8698	0,9500	0,9463
63	0,6800	0,6794	0,7900	0,7845
64	0,7200	0,7227	0,8000	0,7949
65	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
66	0,8900	0,8877	1,0000	1,0000
67	0,7100	0,7144	0,9200	0,9248
68	0,7100	0,7054	1,0000	1,0000
69	0,9800	0,9718	1,0000	1,0000
70	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
71	0,8600	0,8578	0,8600	0,8582
72	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
73	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Cont. Tabela 4.1

DMU,s	DEA, CRS, Artigo	DEA, CRS, DISSERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	DEA, VRS, DISSERTAÇÃO
74	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
75	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
76	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
77	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
78	0,8600	0,8644	0,9400	0,9311
79	0,7000	0,5816	0,7500	0,7180
80	0,5200	0,5168	0,9100	0,9093
81	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
82	0,7700	0,7679	1,0000	1,0000
83	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
84	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
85	0,5400	0,5400	0,9500	0,9403
86	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
87	0,8000	0,8017	1,0000	1,0000
88	0,9900	0,9866	1,0000	1,0000
89	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
90	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Como mostrado na tabela 4.1 confirmamos, com os cálculos da nossa dissertação, os resultados encontrados no artigo de MELGAREJO et.al. e isso nos leva agora a aplicarmos o MDEA e fazermos as análises necessárias.

A aplicação do MDEA modelos CRS e VRS, todos os produtos-orientados como no artigo em questão, apresentou os seguintes resultados, que são todos mostrados na Tabela 4.2 abaixo.

Tabela 4.2: Resultados comparativos DEA Artigo e as Médias do MDEA da Dissertação

DMU's	DEA, CRS, Artigo	MDEA, CRS, DISSERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	MDEA, VRS, DISSERTAÇÃO
1	0,26	0,1454	0,58	0,4181
2	1,00	0,8969	1,00	0,9384
3	0,84	0,5619	0,86	0,6740
4	1,00	0,6023	1,00	0,9051
5	0,66	0,2674	0,68	0,3676
6	0,69	0,4558	1,00	0,7970
7	1,00	0,7166	1,00	0,8920
8	0,76	0,4529	0,83	0,6402
9	0,34	0,1967	0,59	0,4170
10	0,90	0,4056	0,95	0,6658
11	0,30	0,1918	0,57	0,415

Cont. Tabela 4.2

DMU's	DEA, CRS, Artigo	MDEA, CRS, DIS-SERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	MDEA, VRS, DIS-SERTAÇÃO
12	0,58	0,3083	0,95	0,7073
13	0,34	0,2111	0,59	0,3886
14	0,70	0,3319	1,00	0,6570
15	0,60	0,3069	0,94	0,6380
16	0,32	0,2216	1,00	0,8019
17	0,45	0,2710	0,87	0,6338
18	0,5	0,2514	0,88	0,5829
19	1,00	0,4991	1,00	0,7128
20	1,00	0,7446	1,00	0,8895
21	0,68	0,3130	1,00	0,8071
22	0,72	0,4029	0,82	0,5903
23	1,00	0,8194	1,00	0,9350
24	0,88	0,4600	0,92	0,5907
25	0,79	0,4772	1,00	0,9087
26	0,79	0,4720	1,00	0,9196
27	1,00	0,7811	1,00	0,849
28	0,30	0,1858	0,61	0,3948
29	1,00	0,6852	1,00	0,8848
30	1,00	0,6387	1,00	0,7690
31	0,40	0,2233	0,66	0,4089
32	1,00	0,5548	1,00	0,7584
33	1,00	0,4874	1,00	0,7514
34	1,00	0,8545	1,00	0,8967
35	1,00	0,4453	1,00	0,6329
36	0,94	0,5228	1,00	0,7183
37	0,49	0,2586	1,00	0,7691
38	1,00	0,9148	1,00	0,9384
39	1,00	0,7094	1,00	0,8029
40	1,00	0,6340	1,00	0,6972
41	1,00	0,4595	1,00	0,6626
42	1,00	0,5336	1,00	0,6683
43	1,00	0,4192	1,00	0,5661
44	0,89	0,4958	1,00	0,6118
45	1,00	0,6178	1,00	0,8032
46	1,00	0,6757	1,00	0,8158
47	0,87	0,5385	1,00	0,7891
48	1,00	0,5606	1,00	0,6559
49	0,88	0,3853	1,00	0,5852
50	1,00	0,6218	1,00	0,7831
51	1,00	0,9120	1,00	0,9341
52	0,42	0,2595	0,51	0,4180
53	1,00	0,9319	1,00	0,9836
54	0,85	0,4354	0,86	0,6100
55	0,59	0,3357	0,82	0,5415
56		0,0000		0,0000

Cont. Tabela 4.2

DMU's	DEA, CRS, Artigo	MDEA, CRS, DIS-SERTAÇÃO	DEA, VRS, Artigo	MDEA, VRS, DIS-SERTAÇÃO
57	0,92	0,5032	1,00	0,7636
58	0,63	0,3803	0,93	0,6871
59	1,00	0,7251	1,00	0,8841
60	1,00	0,6463	1,00	0,7465
61	1,00	0,5500	1,00	0,7849
62	0,87	0,4393	0,95	0,6365
63	0,68	0,4235	0,79	0,5667
64	0,72	0,4271	0,80	0,6064
65	1,00	0,6537	1,00	0,9099
66	0,89	0,5278	1,00	0,7848
67	0,71	0,4712	0,92	0,6980
68	0,71	0,5028	1,00	0,8390
69	0,98	0,6203	1,00	0,7578
70	1,00	0,5641	1,00	0,7955
71	0,86	0,5053	0,86	0,6186
72	1,00	0,6290	1,00	0,8102
73	1,00	0,7205	1,00	0,8313
74	1,00	0,8962	1,00	0,9191
75	1,00	0,7540	1,00	0,8393
76	1,00	0,7628	1,00	0,8508
77	1,00	0,7771	1,00	0,8580
78	0,86	0,4150	0,94	0,6336
79	0,7	0,3574	0,75	0,5312
80	0,52	0,3308	0,91	0,6834
81	1,00	0,6550	1,00	0,7644
82	0,77	0,4042	1,00	0,7118
83	1,00	0,5853	1,00	0,8102
84	1,00	0,6705	1,00	0,7652
85	0,54	0,3351	0,95	0,6160
86	1,00	0,6648	1,00	0,7541
87	0,80	0,4089	1,00	0,8660
88	0,99	0,3649	1,00	0,5799
89	1,00	0,9226	1,00	0,9510
90	1,00	0,5671	1,00	0,6967

Como podemos observar e já havíamos comentado na secção 3.1, o método MDEA não gera nenhuma eficiência média unitária e seus valores são sempre menores que as eficiências obtidas com o DEA aplicado no artigo, que nada mais é do que uma das 3825 combinações de entradas e saídas, (todas as entradas com todas as saídas).

Gráficos comparativos, com os dados das Tabela 4.1 e 4.2 podem expressar melhor, e de uma maneira mais adequada, os resultados obtidos nessa dissertação.

Os gráficos das Figuras 4.1 e 4.2 mostram a superposição dos resultados do DEA do artigo e da dissertação (Tabela 4.1), onde se vê claramente uma igualdade de resultados.

A DMU56 foi excluída do gráfico dos resultados devido ao fato dessa DMU não ter nenhum valor de variável de saída. Nesse caso o programa usado pelos autores não gera valor algum para as eficiências tanto CRS, como VRS, o que não é o caso do nosso, que considera as eficiências nulas quando existe a ausência dos valores dessas variáveis.

Quando os dados são lançados no programa que gera os gráficos do nosso trabalho de dissertação (Origin 7.0 SRO), os espaços vazios, nos valores das eficiências, geram descontinuidades. Por isso a DMU56 não foi considerada, caso fosse geraria descontinuidade nos gráficos.

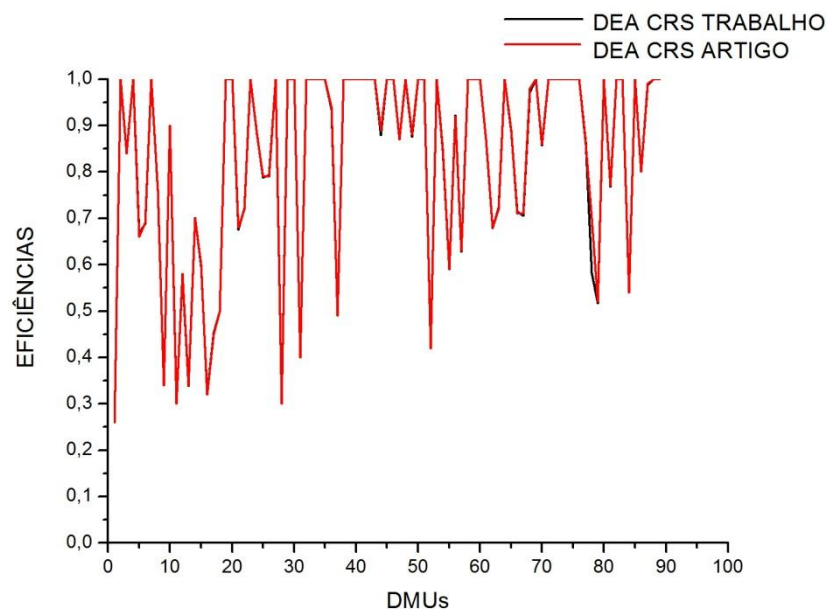


Figura 4.1: Eficiências das 90 DMU's , DEA (CRS) Trabalho e DEA (CRS) Artigo

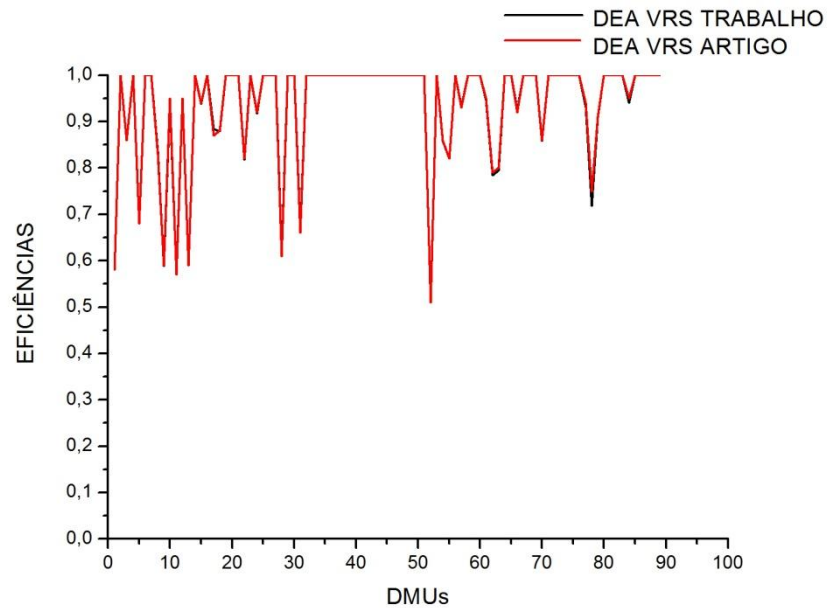


Figura 4.2: Eficiências das 90 DMU's , DEA (VRS) Trabalho e DEA (VRS) Artigo

Os gráficos das Figura 4.3 e Figura 4.4 mostram as diferenças entre os resultados do DEA e do MDEA (CRS e VRS) da Tabela 4.2. Percebe-se que os valores das eficiências das DMU's caem devido ao fato de serem médias das eficiências de todas as combinações possíveis entre as entradas e as saídas.

Ao analisarmos esses dois gráficos chegamos à constatação de que existe uma redução no valor das eficiências em todas as DMU's, tanto na eficiência produtiva (CRS), quanto na eficiência técnica (VRS).

Essa redução e a inexistência de eficiências iguais a unidade, faz com que todas as DMU's tenham mudanças a serem implementadas. Ao contrário da análise feita através do DEA no artigo de MELGAREJO et. al. (2009), onde 47% das 90 DMU's obtiveram um escore de 100% em todas as três medidas de eficiência, produtiva, técnica e de manejo. Isso significa que quase metade dos assentamentos estava, naquela época, produzindo com eficiência máxima.

O que queremos mostrar com nosso trabalho é que com o método MDEA, o que não acontece com o método DEA, teremos sempre algo a melhorar dentro das atividades dos assentamentos para que possam cada vez mais aumentar os valores de suas eficiências fazendo assim um melhor uso do dinheiro público.

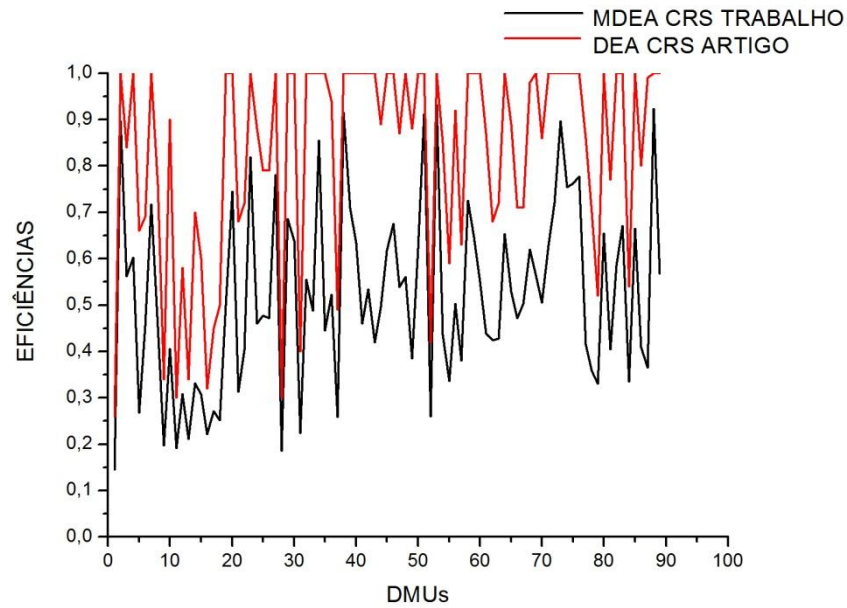


Figura 4.3: Eficiências das 90 DMU's , MDEA (CRS) Trabalho e DEA (CRS) Artigo

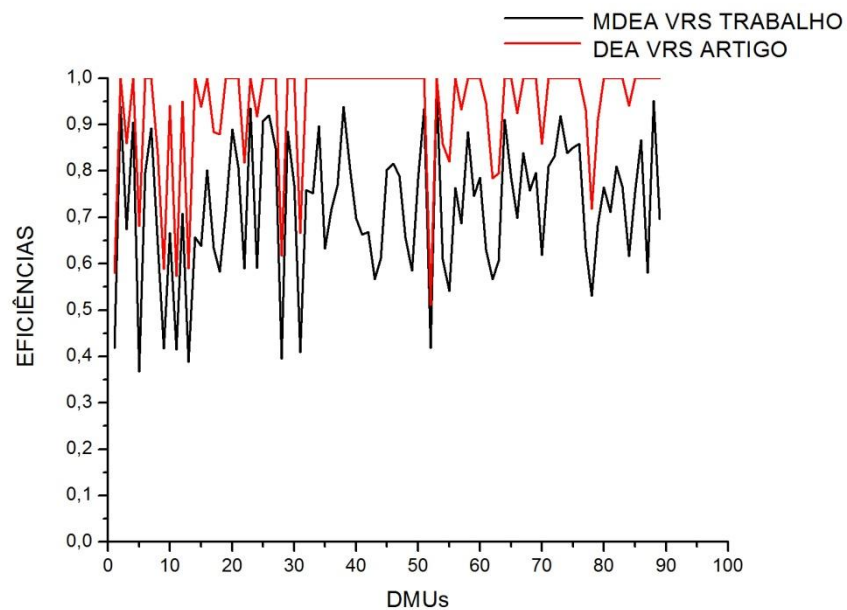


Figura 4.4: Eficiências das 90 DMU's , MDEA (VRS) Trabalho e DEA (VRS) Artigo

Para que possamos ter de fato uma melhor comparação entre os métodos DEA do artigo de MELGAREJO et.al. e o MDEA da dissertação, faremos agora uma análise dos valores sugeridos pelo MDEA para a mesma DMU11 mostrada anteriormente na Tabela 2.10.

Em cada combinação entre entradas e saídas é sugerido, pelo MDEA, um valor ideal para cada variável. Como existem 3825 combinações diferentes entre en-

tradas e saídas, mostraremos alguns dos histogramas dessas sugestões com o cálculo de médias, medianas e modas, juntamente com os valores observados e os projetados do método DEA para a DMU11, que foi analisada no artigo de MELGAREJO et.al., para que possamos fazer as comparações e as sugestões.

Em seguida faremos o mesmo cálculo para a DMU7 e a DMU83, que no artigo de MELGAREJO et.al. apresentam todas as eficiências , produtiva (CRS), técnica (VRS) e de manejo (FGL) iguais a 1(um), não necessitando dessa maneira de nenhuma melhoria em suas saídas. Como no método MDEA não se tem eficiência média unitária algumas mudanças nas saídas serão sugeridas para que as DMU's 7 e 83 alcancem a eficiência máxima.

Vamos analisar apenas os valores das saídas devido ao fato de estarmos trabalhando com o método produto-orientado e como já mencionamos anteriormente, os assentamentos não tem muito poder para alterar as entradas e sim nas saídas.

4.1. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU11

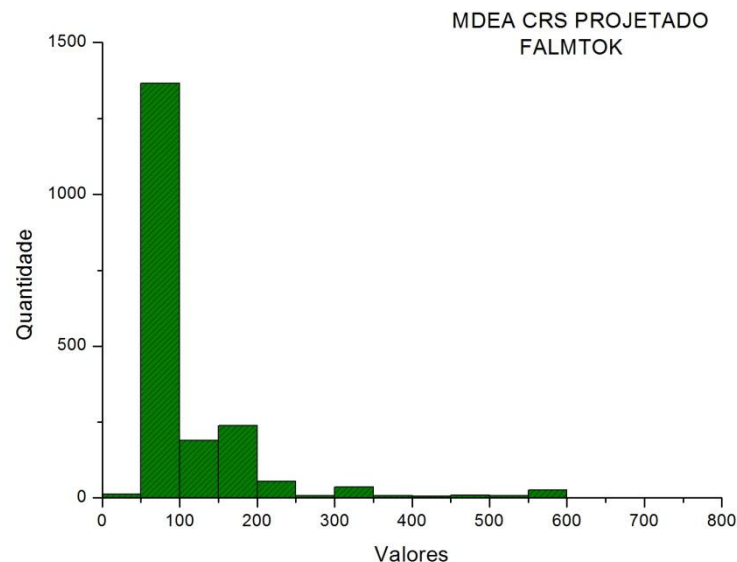


Figura 4.5: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
206,0502	92,5762	92,5762	22	73

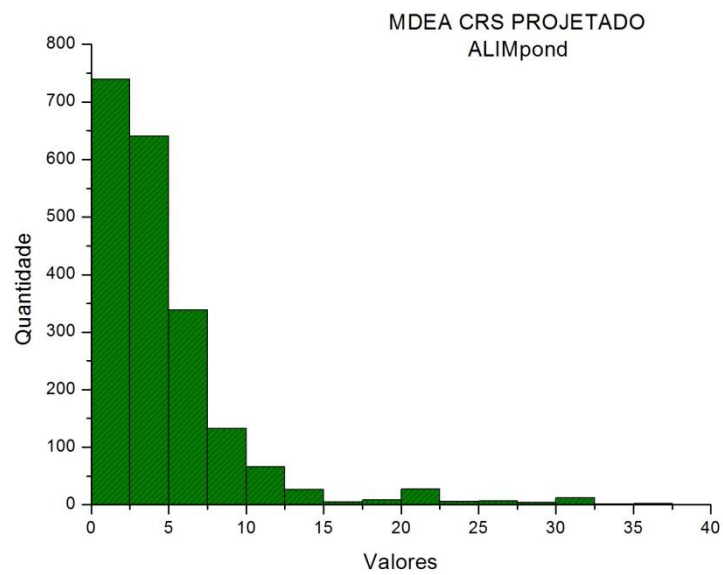


Figura 4.6: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
24,0744	3,5572	2,0232	0,5	2,11

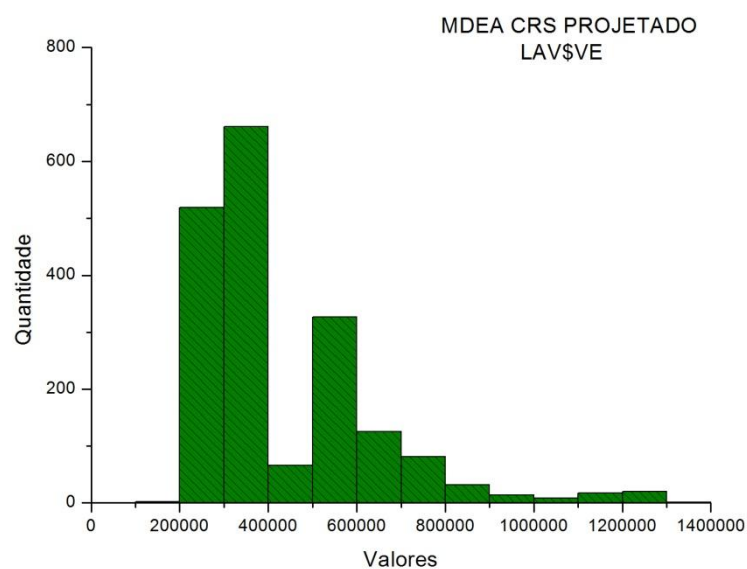


Figura 4.7: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
816369,0313	358886,9553	313285,9366	71422	256065

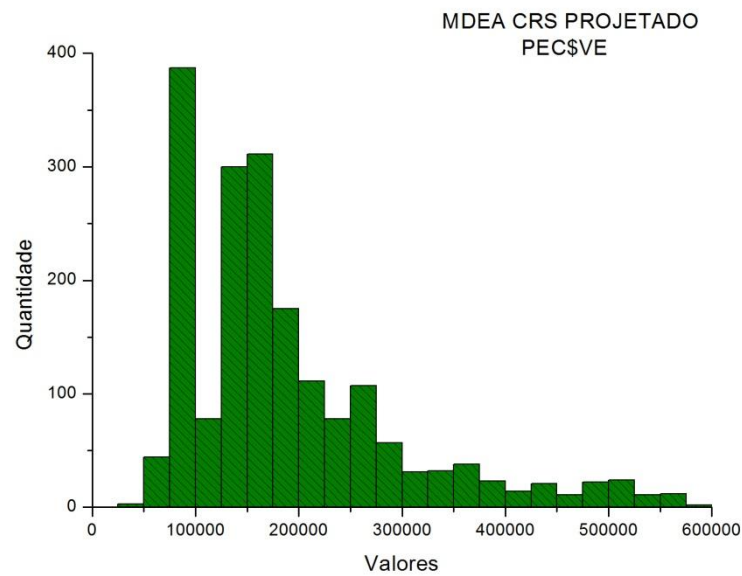


Figura 4.8: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
283264,3734	170007,1410	76091,3060	13841	99693

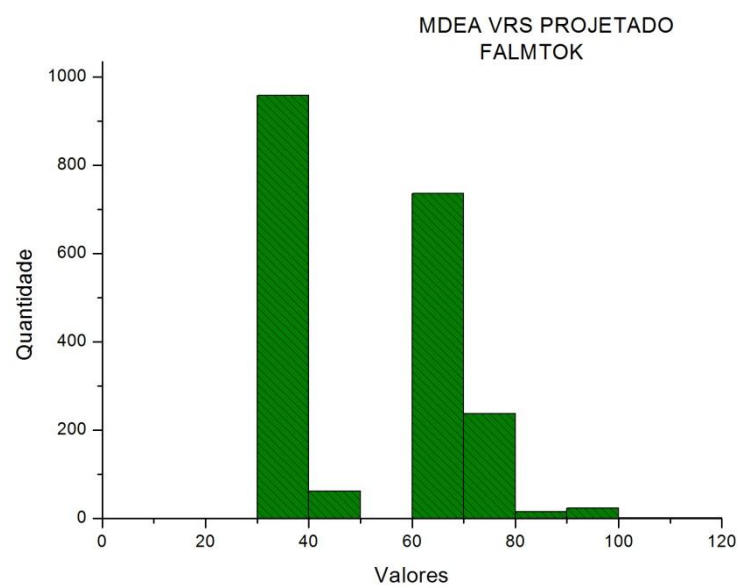


Figura 4.9: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
53,1835	50,4026	39	22	38

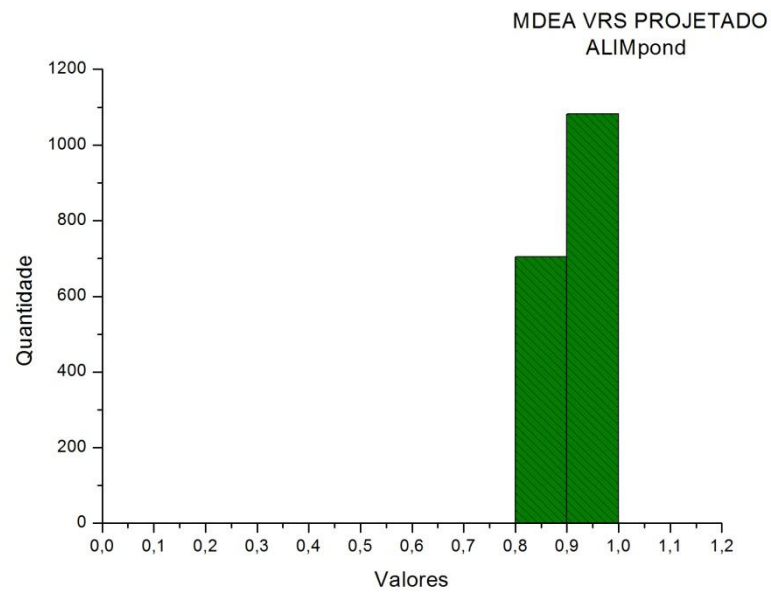


Figura 4.10: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
0,9145	0,8977	0,9426	0.5	1,00

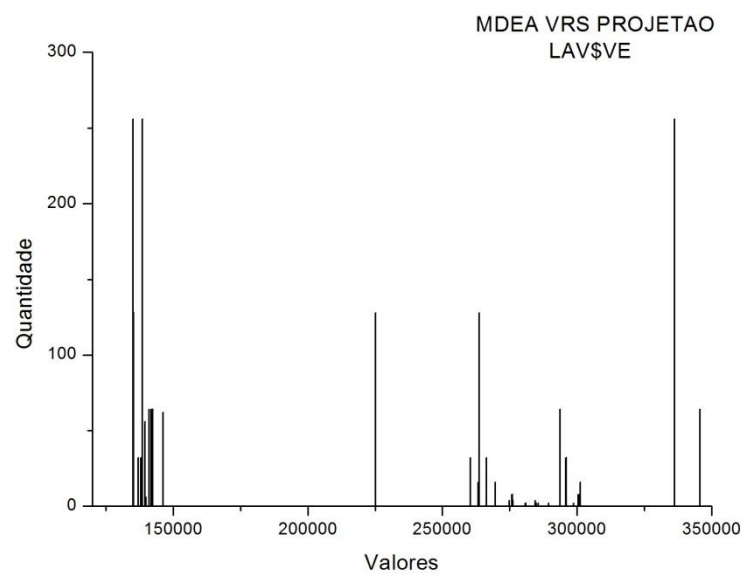


Figura 4.11: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
222217,0206	185839,9152	336079,0455	77422	66500

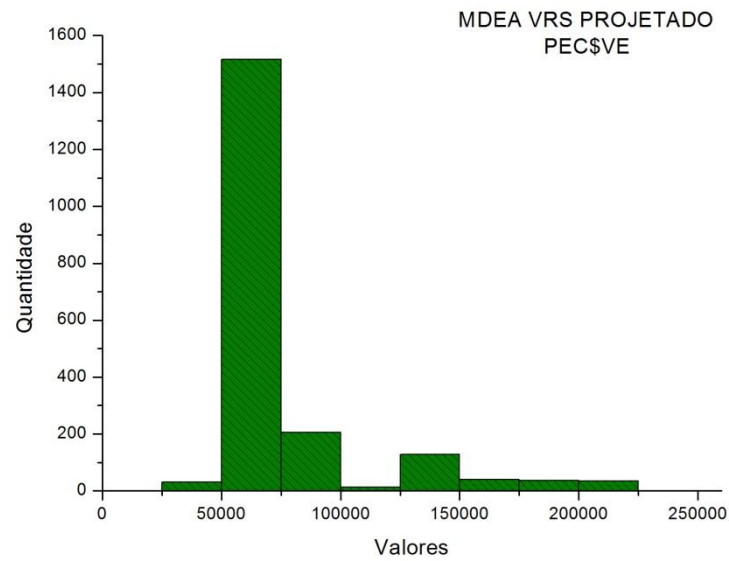


Figura 4.12: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU11

Média	Mediana	Moda	DEA observado	DEA projetado
82320,047	66531,6614	63653,5531	13841	66500

4.2. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU 7

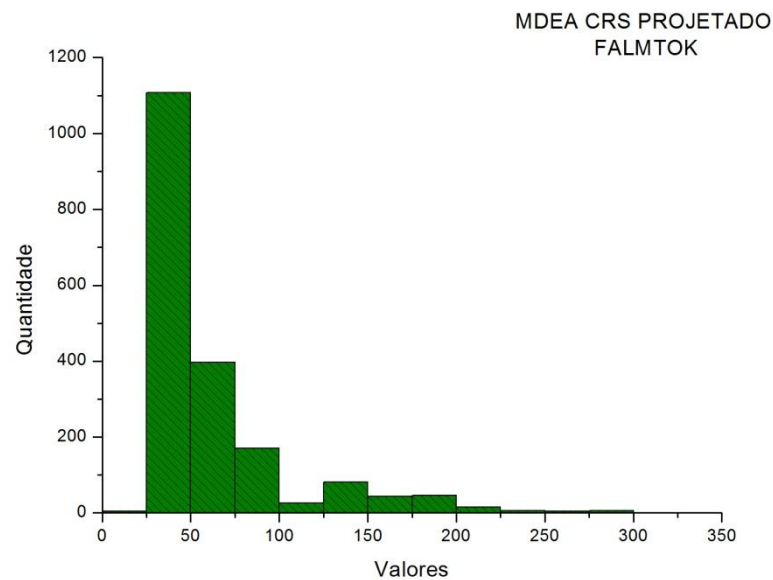


Figura 4.13: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
289,4976	48,5775	35	35

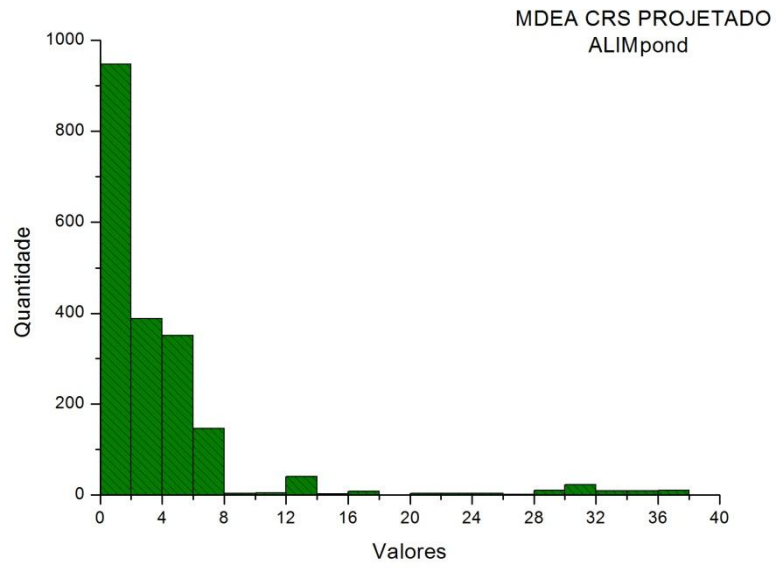


Figura 4.14: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
6,8064	2,2951	0,67	0,67

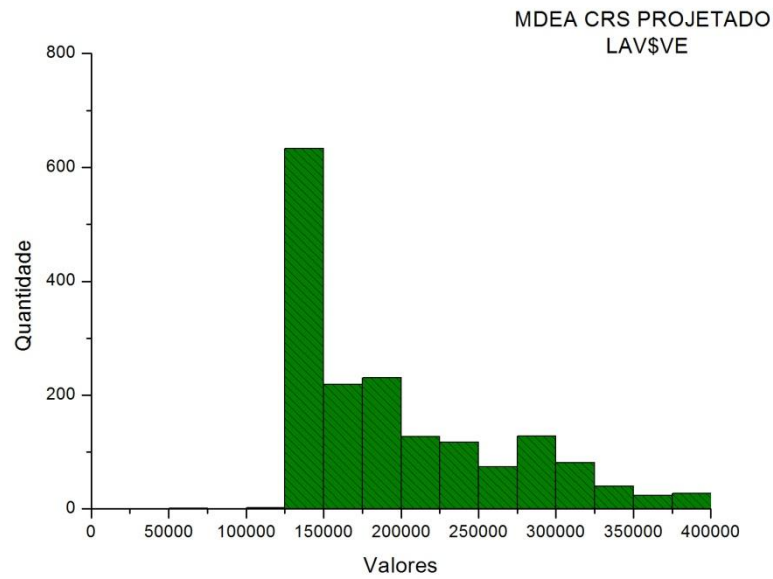


Figura 4.15 Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
2185743,838	192698,6936	149653,0012	149653

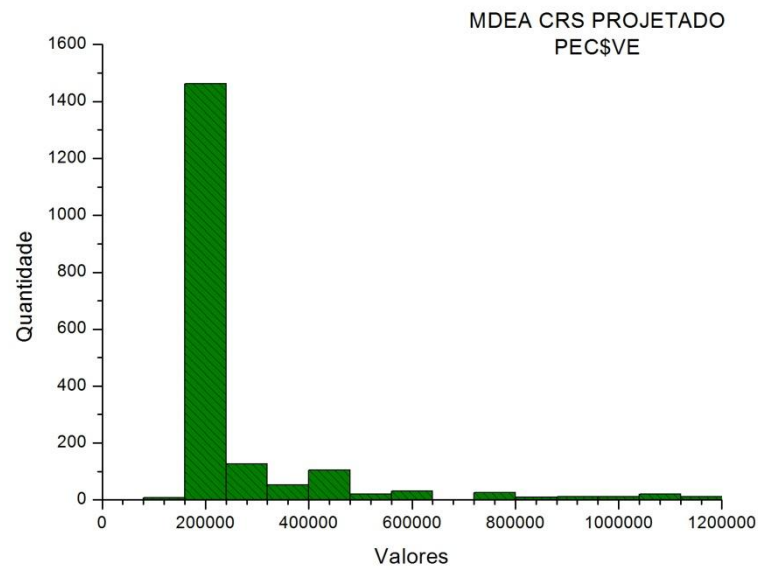


Figura 4.15: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
952302,5657	200252,1484	193017,003	193017

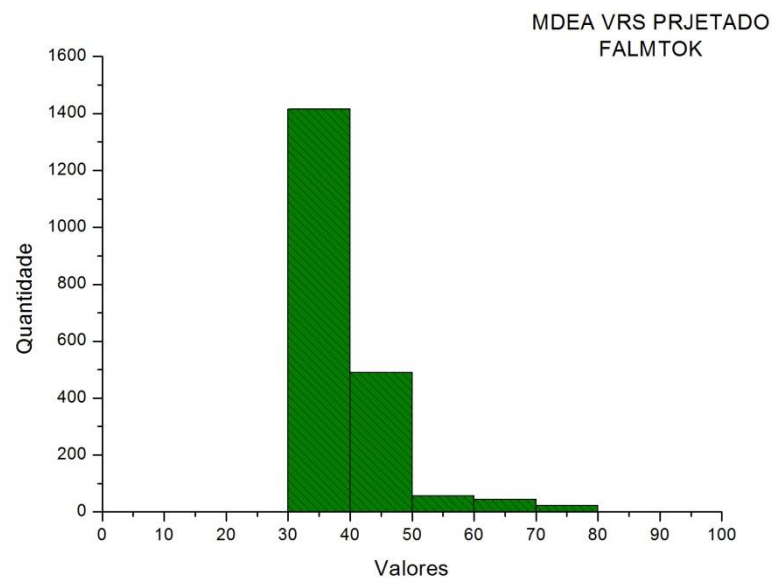


Figura 4.16: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
35,5955	35	35	35

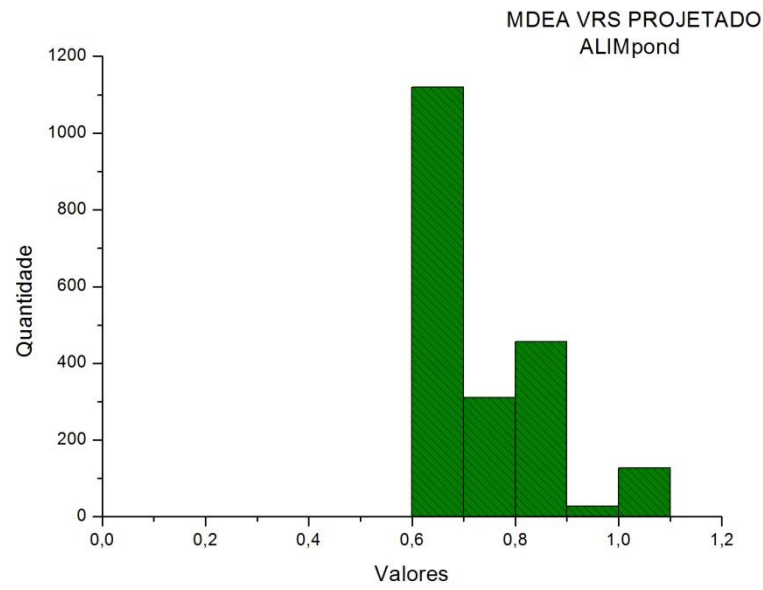


Figura 4.17: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
0,7467	0,67	0,67	0,67

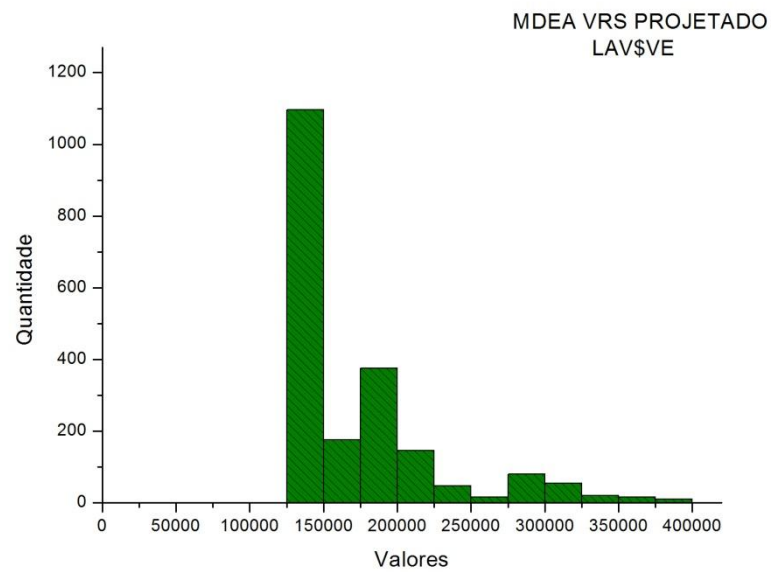


Figura 4.18: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
179959,8035	149653,0012	149653,0012	149653

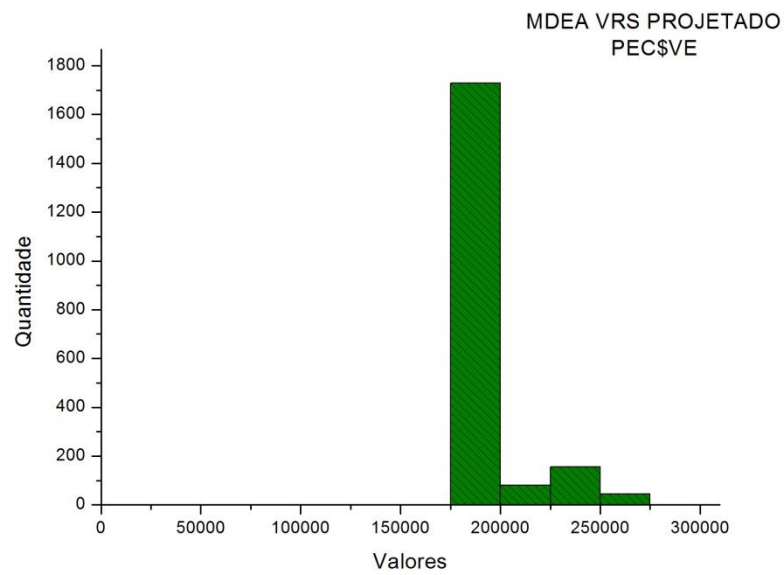


Figura 4.19: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU7

Média	Mediana	Moda	DEA observado
199768,8219	193017,003	193017,003	193017

4.3. Histogramas das sugestões projetadas CRS e VRS para a DMU 83

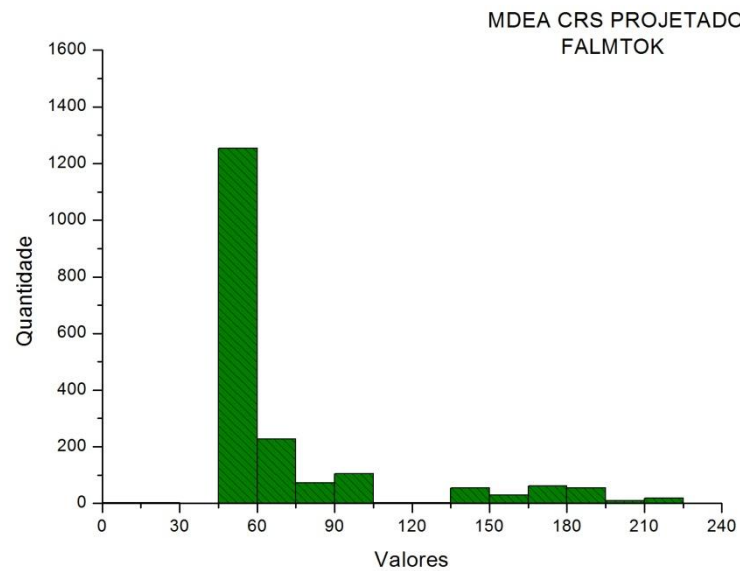


Figura 4.20: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA CRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
110,5445	59,2085	50	50

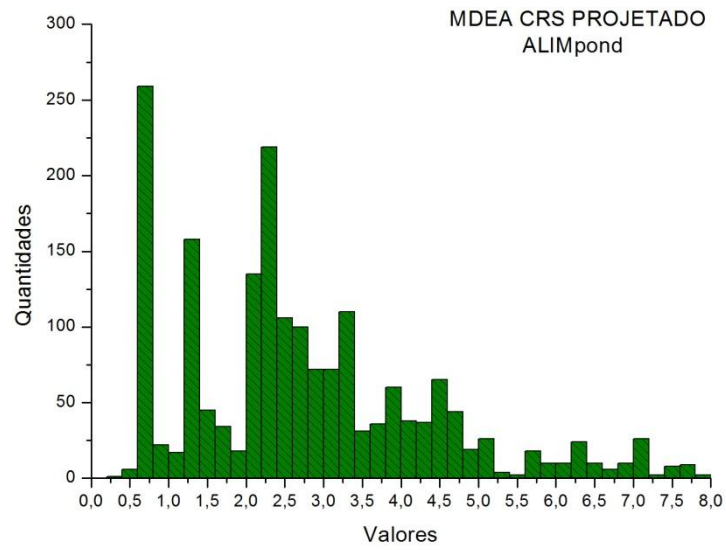


Figura 4.21: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA CRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
5,5445	2,5958	0,67	0,67

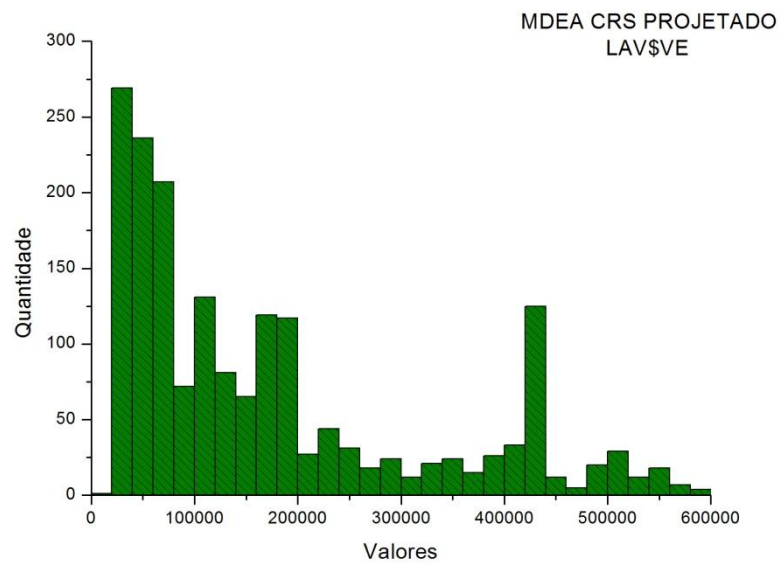


Figura 4.22: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA CRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
560279,0138	144262,4157	34358,9986	34359

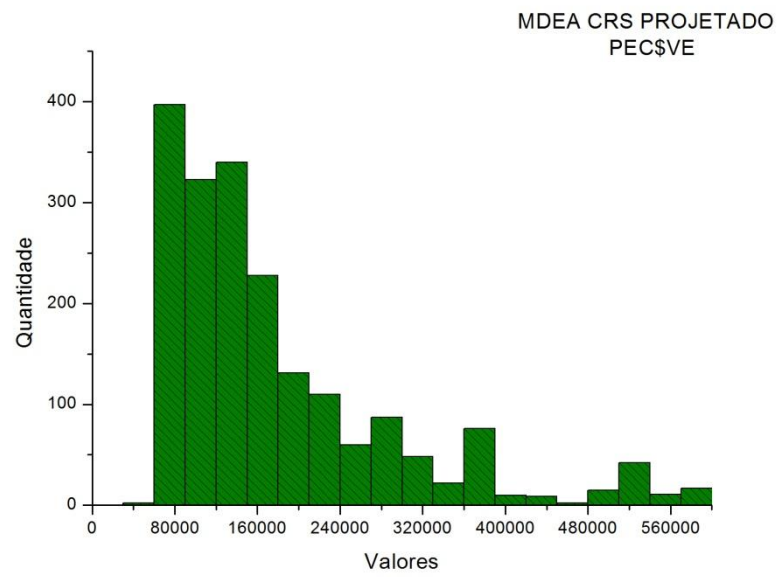


Figura 4.23: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA CRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
267293,6396	147946,3773	79427,0022	79427

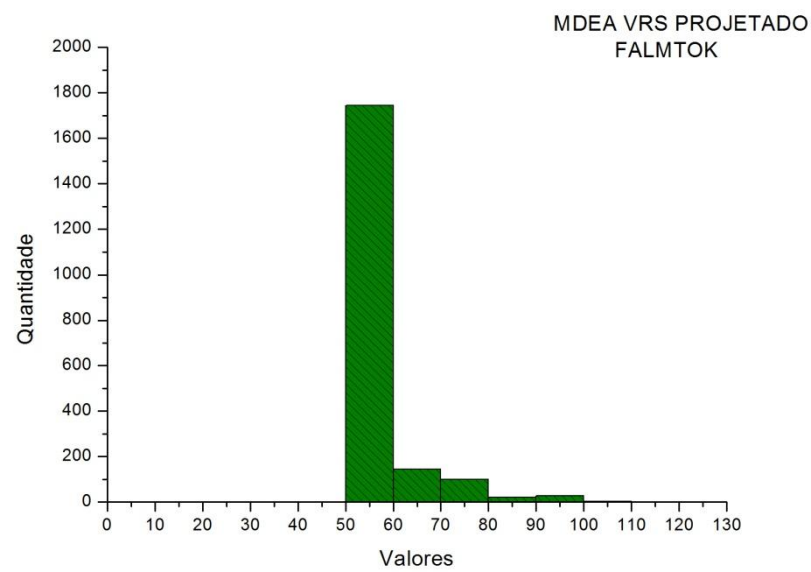


Figura 4.24: Histograma de sugestões para saída FALMTOK no MDEA VRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
54,8326	50	50	50

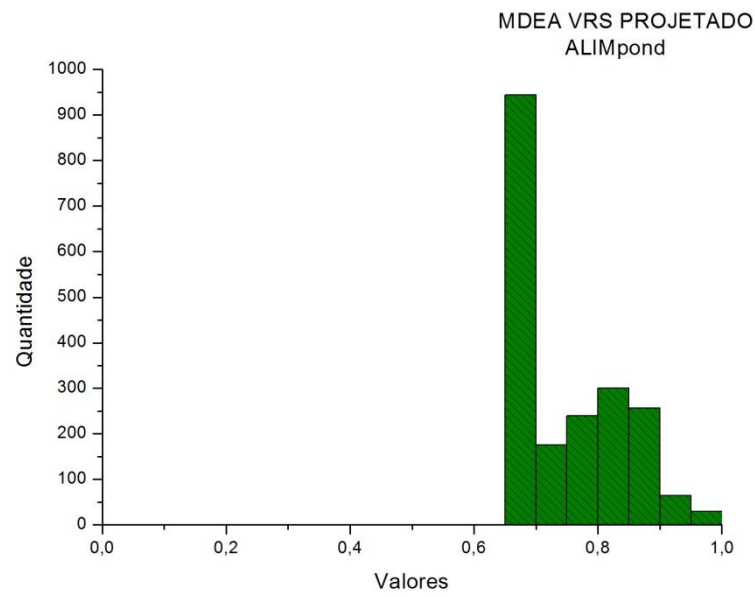


Figura 4.25: Histograma de sugestões para saída ALIMpond no MDEA VRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
0,7565	0,7139	0,67	0,67

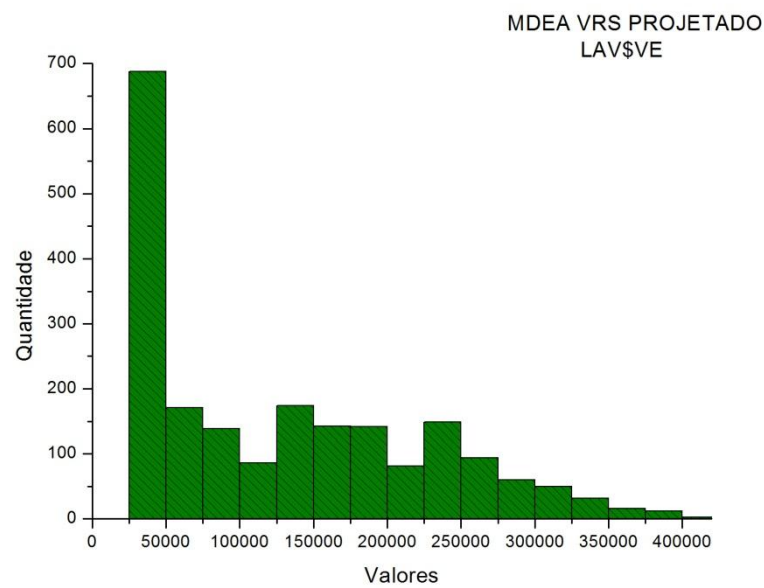


Figura 4.26: Histograma de sugestões para saída LAV\$VE no MDEA VRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
129965,7937	106000,0707	34358,9986	34359

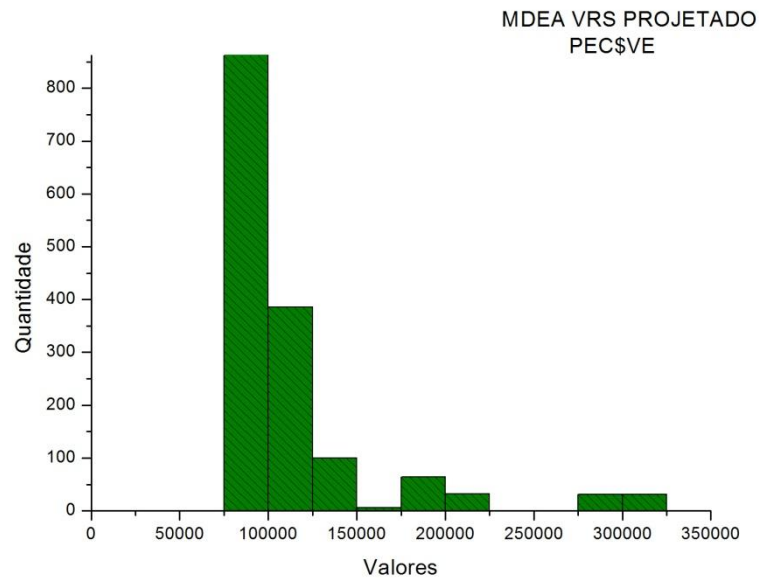


Figura 4.27: Histograma de sugestões para saída PEC\$VE no MDEA VRS DMU 83

Média	Mediana	Moda	DEA observado
103695,7937	86659,9321	79427,4321	79427

Ao analisarmos os resultados das médias das eficiências do método MDEA, verificamos que os valores encontrados estão coerentes com as nossas expectativas.

Todas as DMU's mostraram valores de eficiências menores do que a unidade, tanto na eficiência produtiva (CRS) como na técnica (VRS), Tabela 4.2, e com isso podemos sugerir alterações nos valores das variáveis para que as DMU's atinjam uma eficiência maior.

Para cada combinação de entradas e saídas são gerados valores projetados para as variáveis e como estamos trabalhando com o método produto-orientado, só analisaremos os valores das saídas porque é neles que os agricultores assentados têm um maior poder de mudança.

Com esses valores da DMU11, extraímos a média, a mediana e a moda. Ao fazermos as comparações, com os valores observados e projetados para essa mesma DMU11 pelo método DEA, verificamos que as médias do MDEA apresentaram valores muito acima deles. Isso se deve ao fato dos valores gerados por algu-

mas combinações de entradas e saídas, apresentarem algumas discrepâncias (valores exageradamente elevados), que alteram substancialmente as médias.

Podemos tomar como exemplo a DMU7. Quando comparamos a média sugerida projetada para a saída LAV\$VE, CRS vemos que seu valor é de mais de 2 milhões, enquanto a mediana da mesma distribuição chega na casa dos 192 mil apenas, que é próximo do valor observado nos dados das entradas e saídas da DMU7, na Tabela 2.9, usados para aplicar o DEA no artigo de MELGAREJO et. al.

Com as modas corremos o risco de termos distribuições bimodais e assim dois valores diferentes poderiam ser usados; além do mais dos 16 histogramas correspondentes aos valores projetados pelo MDEA para as DMU's 7 e 83, que têm todas as eficiências unitárias, vimos 16 valores de modas iguais aos valores iniciais observados, usados para aplicar o DEA no artigo de MELGAREJO et. al., e apenas 5 valores de medianas iguais aos observados. Ver a Tabela abaixo.

Tabela 4.3: Comparação das medianas, modas e valores observados das DMU's 7 e 83

Saídas	Mediana	Moda	Valor Observado DEA do Artigo
FALMTOK CRS DMU 7	48,5775	35,0000	35,0000
ALIMpond CRS DMU 7	2,2951	0,6700	0,6700
LAV\$VE CRS DMU 7	192698,6936	149653,0012	149653,0000
PEC\$VE CRS DMU 7	200252,1484	193017,0030	193017,0000
FALMTOK VRS DMU 7	35,0000	35,0000	35,0000
ALIMpond VRS DMU 7	0,6700	0,6700	0,6700
LAV\$VE VRS DMU 7	149653,0012	149653,0012	149653,0000
PEC\$VE VRS DMU 7	193017,0030	193017,0030	193017,0000
FALMTOK CRS DMU 83	59,2085	50,0000	50,0000
ALIMpond CRS DMU 83	2,5958	0,6700	0,6700
LAV\$VE CRS DMU 83	144262,4157	34358,9986	34359,0000
PEC\$VE CRS DMU 83	147946,3773	79427,0022	79427,0000
FALMTOK VRS DMU 83	50,0000	50,0000	50,0000
ALIMpond VRS DMU 83	0,7139	0,6700	0,6700
LAV\$VE VRS DMU 83	106000,0707	34358,9986	34359,0000
PEC\$VE VRS DMU 83	86659,9321	79427,4321	79427,0000

Sendo assim usando os valores das modas quase não teríamos algo a sugerir para o aumento das eficiências dos assentamentos.

5. CONCLUSÕES

Verificamos com tudo isso que a mediana é o melhor valor a ser utilizado, porque elimina as discrepâncias causadas pelos valores extremos que alteram as médias, não corremos o risco de termos mais de um valor, como a moda, e mesmo nas DMU's com eficiência unitária pelo método DEA, teremos muitas sugestões a serem feitas.

Para verificarmos a real melhoria nas eficiências, substituímos os valores de saídas da DMU11 pelas medianas dos valores projetados sugeridos pelo método MDEA (VRS). Ao substituímos esses valores a eficiência produtiva do MDEA passou de 0,19 para 0,45 e a eficiência técnica de 0,57 para 0,83 mostrando uma melhora substancial.

Pelo método DEA, para as DMU's 7 e 83 nada precisa ser sugerido, porque essas DMU's já trabalham com eficiência máxima. Já com o método MDEA, com pode ser observado, muitas mudanças podem ser propostas, com o valor das medianas.

Essas sugestões são de extrema valia porque são geradas por todas as combinações entre entradas e saídas e em todos os contextos, mostrando um grande poder discriminatório na avaliação das necessidades dos assentamentos, dando uma maior garantia de sucesso para as famílias que receberam seus lotes de terra, e desejam obter o título definitivo de posse, o que só acontece quando o assentamento atinge determinado nível de independência e interação com o mercado. O método MDEA é, portanto, uma excelente ferramenta para que o dinheiro público investido no programa de Reforma Agrária, tenha um maior retorno social e econômico.

6. REFERÊNCIAS

BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, C.C., Some models for estimating technical and scale inefficiencies **Management Science** 39, 1078–1092. 1984.

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

FARRELL, M.J., The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society Series A** 120, III, 253–290. 1957.

FERREIRA, A.H. **Eficiência de sistemas de produção de leite: uma aplicação da análise envoltório de dados na tomada de decisão**. 2002. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 120p.

FRASER, I.; CORDINA, D. An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia. **Agricultural Systems**, v. 59, p.267-282, 1999.

GOLANY, B., ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega** 17, 3, 237–250. 1989.

GOMES, A.P. **Impactos das transformações da produção de leite sobre o número de produtores e os requerimentos de mão-de-obra e capital**. 1999. Tese (Doutorado em Economia Rural), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 161p.

HELFAND, S.M.; LEVINE, E.S. Farmsize and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural Economics**, v. 31, p. 241-249, 2004.

JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W., **Applied Multivariate Analysis** . Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1982.

KRASACHAT, W. Technical efficiencies of rice farms in Thailand: a non-parametric approach. **Journal of American Academy of Business**, v. 4, n. 1/2; p. 64-69, 2004.

LANSINK, A.O.; REINHARD, S. Investigating technical efficiency and potential technological change in Dutch pig farming. **Agricultural Systems**, v. 79, p. 353-367, 2004.

MELGAREJO, L. , FIGUEIREDO, J. N. , FRIES, C.E. A decision support methodology for increasing public investment efficiency in Brazilian agrarian reform. **Intl. Trans. in Op. Res.**, 16 , p. 25–48, 2009.

MILKOVICH , E.T., ANNONI, A.J., MAHONEY, T.A., The use of the Delphi procedures in manpower forecasting. **Management Science** 19, 4, 381–388. 1972.

NORMAN ,M., STOKER, B., **Data Envelopment Analysis: the Assessment of Performance**. John Wiley & Sons, New York. 1991.

OLENSEN, O.B., PETERSEN, N.C., A presentation of GAMS for DEA. **Computers and Operations Research** 23, 4, 323–339. 1996.

PRESS, W.H., TEUKOLSKY S.A, VETTERING W.T. and Flannery B.P. (“Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing”, **Cambridge University Press**. 1992.

REIG-MARTÍNEZ, E.; PICAZO-TADEO, A.J. Analysing farming systems with Data Envelopment Analysis: citrus farming in Spain. **Agricultural Systems** ,v.82, p. 17-30, 2004.

REINHARD, S.; KNOX LOVELL, C.A.; THIJSSSEN, G.J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. **European Journal of Operational Research** ,v. 121, p. 287-303, 2000.

SHARMA, K.R.; LEUNG, P.S.; CHEN, H.; PETERSON, A. economic efficiency and optimum stocking densities in fish poly culture : an application of data envelopment analysis to Chinese fish farms. **Aquaculture**, v. 180, p. 207-221, 1999.

STOSIC, B. Análise Envoltória de Dados(Data Envelopment Analysis) DEA. Notas de Aula. Não publicado, 2009..

STOSIC, B.; FITTIPALDI, I.P. Multiple Data Envelopment Analysis: The Blessing of Dimensionality. V Simpósio Internacional de DEA , Hyderabad, Índia. 2007.

TOWNSEND, R.F.; KIRSTEN, J.; VINK, N. Farm size, productivity and returns to scale in agriculture revisited: a case study of wine producers in South Africa **Agricultural Economics**, v. 19, n. 1, p. 175 -180, 1998.