

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

MARCELO FARID PEREIRA

**Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando
Análise de Envelopamento de Dados: Revisão da Teoria e
Aplicações**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa
Catarina, para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia



0.236.115-0

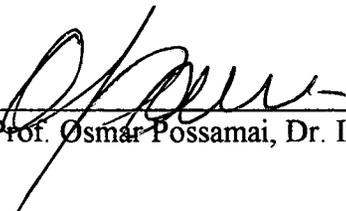
UFSC-BU

Florianópolis
Fevereiro - 1995

Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando Análise de Envolvimento de Dados: Revisão da Teoria e Aplicações

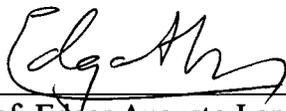
Marcelo Farid Pereira

Essa dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Mestre em Engenharia,” especializada em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

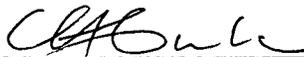


Prof. Osmar Possamai, Dr. Ing.

Banca Examinadora:



Prof. Edgar Augusto Lanzer, Ph.D.
Orientador



Prof. Cristiano J. C. A. da Cunha, Dr. rer. pol.



Prof. Edvaldo Alves de Santana, Dr.

Agradecimentos

À minha família pelo incentivo e apoio.

Ao professor Edgar Augusto Lanzer pela orientação do trabalho e ajuda nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela estrutura fornecida.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos demais professores, amigos e funcionários que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, por estar comigo em todos os momentos.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Considerações Iniciais sobre Eficiência.....	1
1.2 - Objetivo.....	4
1.3 - Estrutura do trabalho.....	4
CAPÍTULO II.....	5
ANÁLISE DE ENVELOPAMENTO DE DADOS: CONCEITOS E MODELOS.....	5
2 - Teoria Neoclássica da Produção.....	5
2.1.1 - Aspectos Básicos.....	5
2.1.2 - Teoria de Produção com Tecnologia Linear.....	12
2.2 - Considerações Sobre Eficiência.....	16
2.2.1- Técnicas de Produção Eficientes.....	16
2.2.2 - Conceito de Eficiência.....	18
2.2.3 - Medidas de Eficiência.....	22
2.3 - Os Modelos de Análise de Envolvimento de Dados.....	24
2.4 - Um exemplo de Aplicação de DEA.....	30
CAPÍTULO III.....	36
MODELOS NÃO-PARAMÉTRICOS DE ANÁLISE QUANTITATIVA DE EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO: EXTENSÕES E APLICAÇÕES.....	36
3.1 - Extensões de DEA (Data Envelopment Analysis).....	36
3.1.1 - FDH ("Free Disposal Hull").....	36
3.1.2 - Análise Dinâmica (Análise de Janela).....	39
3.1.3 - Abordagem Visual Interativa de DEA Baseada na Análise Multicritério.....	39
3.1.4 - DEA Estocástica.....	44
3.2 - Aplicações de DEA.....	45
2.1 - Quantificação de Desempenho do Relacionamento Cliente-Fornecedor.....	45
3.2.2 - Um Estudo de Eficiência Relativa de Agências Bancárias.....	50
3.2.3 - Reorganização de Distritos Florestais Através da Análise de Eficiência.....	52
3.2.4 - Resumo das Aplicações das Técnicas de Análise de Eficiência.....	53
CAPÍTULO IV.....	56
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	56
4.1 - Conclusões.....	56
4.2 - Recomendações.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

Lista de Figuras

Figura 2.1: Gráfico de uma Função de Produção Simplificada.....	06
Figura 2.2: Gráfico da Função de Produção deslocada no tempo.....	08
Figura 2.3: Gráfico de Isoquantas.....	08
Figura 2.4: Retas de Isocusto.....	11
Figura 2.5: Otimização dos insumos.....	12
Figura 2.6: Isoquanta de nível de produção $Y=30$	15
Figura 2.7: Processos alternativos para a produção de $Y = 100$	17
Figura 2.8: Combinações de processos eficientes.....	18
Figura 2.9: Gráfico de Isoquantas e Eficiência Técnica.....	19
Figura 2.10: Curvas de Isoquanta, Reta de Isocusto e Eficiência Alocativa.....	20
Figura 2.11: Curvas de Isoquantas, Retas de Isocusto e Eficiência Econômica.....	21
Figura 2.12: Medida de eficiência no caso de um insumo e um produto.....	22
Figura 2.13: Medida de eficiência caso de 2 produtos e 1 insumo.....	23
Figura 2.14: Medida de eficiência radial caso de 2 insumos e 1 produto.....	23
Figura 3.1: Fronteira apresentada pelo modelo FDH.....	37
Figura 3.2: Tipos de fronteiras apresentadas, pelos métodos DEA-F, DEA-V, DEA-C e FDH, quanto a análise de um conjunto de dados	38
Figura 3.3: Formulação de DEA com hierarquia multiatributo.....	41
Figura 3.4: Fronteiras com diferentes pesos.....	42
Figura 3.5: Abordagem visual interativa.....	43

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Uso de Insumo (X) e Níveis de Produção (Y) em 14 Fazendas.....	31
Tabela 2.2: Índices de Eficiência Computados para o Conjunto de Fazendas.....	31
Tabela 2.3: Índices de eficiência (produto), referências e facetas ocorridas.....	33
Tabela 2.4: Análise da fazenda 7 (produto).....	34
Tabela 3.1: Exemplo ilustrativo de insumo e produto.....	41
Tabela 3.2: Dados de Performance para Centro de Serviços SSEB.....	43
Tabela 3.3: Dados do transportador Alpha.....	47
Tabela 3.4: Dados de Eficiência do Carregador Alpha e Facetas Ocorridas.....	48
Tabela 3.5: Análise do mês de fevereiro de 1989 (utilizando DEA-Produto).....	49
Tabela 3.6: Índice de eficiência e referências.....	51
Tabela 3.7: Principais aplicações das técnicas de análise de eficiência.....	53

Resumo

Neste trabalho é feita uma revisão de literatura dos métodos de análise de eficiência produtiva multidimensional. A literatura considera basicamente dois conjuntos de métodos para tal propósito: os paramétricos (baseados na análise de regressão) e os não-paramétricos (baseados na programação matemática). Apesar da existência de dois conjuntos distintos, este trabalho concentra-se na apresentação dos métodos não-paramétricos devido a escassez de literatura a respeito do assunto no Brasil, frente a uma grande difusão internacional. Visa-se proporcionar assim subsídios para o desenvolvimento de pesquisas relativas ao tema. Esses modelos ficaram popularmente denominados, após a publicação do artigo introdutório de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), de Análise de Envolvimento de Dados “DEA”. Para embasar a apresentação, foi revisada em primeiro lugar aspectos pertinentes da Teoria da Produção. Também realizou-se uma aplicação prática de DEA. O trabalho inclui ainda uma revisão das extensões relacionadas com as técnicas de DEA, bem como as aplicações realizadas em diversas atividades. Por último são tratadas as conclusões e recomendações alcançadas a respeito do tema.

Abstract

In this work we present a review of literature of non-parametric methods for productivity analysis. It's motivation comes from the fact that, despite the impressive growth of the use of such methods observed in the international literature, it remains virtually ignored in Brazil. After Charnes, Cooper and Rhodes (1978) the set of methods for the multidimensional efficiency analysis become know as Data Envelopment Analysis (DEA). In order to introduce the subject of DEA we do a review of Production Theory. DEA methods are then presented and it's use illustrate through an example. Finally we review some new extensions and applications of DEA. Conclusions are recommendations follow.

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais sobre Eficiência.

O objetivo de aumentar a produtividade e explicar as causas desse aumento não é recente. Em 1776, Adam Smith publicou sua obra *A Origem e a Causa da Riqueza das Nações* (Smith, 1983), na qual ele, explica que a sociedade se torna mais produtiva em função da divisão social do trabalho. Com o passar dos anos, principalmente no século XX, as relações de produção têm aumentado sua complexidade com grande intensidade, em decorrência do crescimento da estrutura produtiva das empresas. Isto foi denominado por Galbraith (1985) como a “tecnoestrutura”. Nas últimas décadas, além de toda a complexidade que envolve as organizações, um forte aumento na competição entre as nações, ou seja, entre as unidades produtivas destas nações se fez sentir. Este fato é corroborado todos os dias nos meios de comunicação.

No Brasil, o Hospital das Clínicas de São Paulo fez uma licitação internacional para a compra de remédios (*Gazeta Mercantil*, 04/08/94) e conseguiu uma redução de 50% no custo de compra, em relação ao que seria pago pelo preço de tabela da Associação Brasileira do Comércio Farmacêutico. A economia realizada foi de aproximadamente R\$ 2 milhões, e ainda, o que é mais surpreendente, das 10 empresas vencedoras da concorrência 8 eram empresas nacionais. Tem-se por traz disto que a competição que anteriormente era entre as empresas do mercado nacional, passou agora a ser entre as empresas mundiais, fazendo com que estas empresas não tenham somente o mercado interno como referência para sua eficiência.

Quando os carros Japoneses “invadiram” o mercado americano, ou mesmo, quando foram diminuídas as tarifas de importação de carros para o mercado interno brasileiro o mesmo fato aconteceu, em ambos os casos as empresas foram obrigadas a melhorar sua performance. No caso da indústria automobilística brasileira o tempo médio de lançamento de carros

diminuiu muito, e o número de novos modelos no mercado superou todos os recordes históricos.

Outro fator que vem a contribuir para que as empresas busquem o aumento de sua produtividade é a unificação dos Mercados Regionais como a o dos países da Europa Ocidental, que agora começa a ser copiado pela América do Norte, pelo Sul da América do Sul (Conesul), e pela Ásia. (uma discussão sobre concorrência e competitividade é apresentada por Mattuella, Fensterselfer e Lanzer (1994)).

O exposto acima relata o crescente aumento da competição entre as empresas e países na atualidade forçando, conseqüentemente, a busca de maiores índices de produtividade. Este movimento resulta na seguinte questão: Como medir a produtividade? A questão de mensuramento da produtividade é sempre relativa a alguma base de comparação, sendo que esta também tem duas facetas: a técnica e a econômica.

A produtividade física ou técnica de uma máquina, por exemplo, pode ser comparada com uma norma técnica, ou seja, a sua capacidade nominal especificada pelo fabricante, podendo ser útil a uma análise mais específica. Entretanto a questão de mensuramento de eficiência, não pode ficar restrita apenas à análise de um equipamento, pois, mesmo no ambiente interno de uma organização existe uma multiplicidade de fatores que influenciam no processo produtivo. Exigindo conseqüentemente um tratamento multidimensional de insumos e de produtos. E quando também se envolve na análise o ambiente externo tem-se mais um complicador.

As medidas parciais de eficiência, como a relação de volume produzido por trabalhador, bem como a comparação entre as empresas que produzem diferentes produtos em diferentes regiões com diferentes sistemas organizacionais e de produção, podem não expressar a realidade, devido ao fato destas medidas estarem sendo realizadas com bases diferentes. Por exemplo, ao se comparar a produtividade de um trabalhador da indústria automobilística alemã com outro da indústria automobilística brasileira, o primeiro pode apresentar um resultado mais satisfatório em função da maior relação capital/trabalho que a indústria alemã apresenta em relação à brasileira.

Como realizar então o mensuramento de produtividade dadas estas dificuldades? Para tratar a respeito de mensuramento e análise de eficiência e ou produtividade da utilização dos recursos produtivos, tanto a nível de serviços (escolas, hospitais, bancos, administração

pública) como a nível de agricultura e indústria, frente a complexidade e mudanças rápidas apresentadas pela atual sociedade. A literatura se refere a dois conjuntos básicos de métodos, sendo que em ambos os casos trata-se de estimar uma fronteira relativa ao máximo de produto (P) possível de se obter utilizando os insumos (I). Em um conjunto tal, fronteira é estimada estatisticamente, baseado na análise de regressão. Este conjunto de métodos é conhecido como métodos paramétricos devido a necessidade de especificar formas funcionais (parâmetros) para representar as funções de produção a serem estimadas (Pinheiro,1992). Os resultados obtidos pelos métodos paramétricos são mais agregados, servindo bem à elaboração de políticas econômicas

No outro conjunto de métodos, a fronteira é definida através de programação matemática, sendo este conjunto conhecido como métodos não-paramétricos. Os métodos não-paramétricos se derivam das técnicas de DEA (Data Envelopment Analysis), iniciadas por Farrell (1957) e ampliadas Chanes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984). Os resultados de DEA são mais detalhados do que os obtidos na abordagem paramétrica, servindo melhor ao embasamento de recomendações de natureza gerencial¹. Este conjunto de métodos passou a receber grande destaque depois da publicação do artigo introdutório de Chanes,Cooper e Rhodes (1978), que apresenta a técnica que ficou popularmente conhecida como DEA (Data Envelopment Analysis). Levantamento bibliográfico sobre métodos e aplicações de DEA realizado por Seiford (1988) cita aproximadamente 200 artigos escritos desde 1978. Em uma nova pesquisa realizada dois anos depois, (Seiford,1990) relata que cerca de 400 artigos sobre DEA teriam sido publicados entre 1978 e 1990. Nos anos recentes, os principais encontros internacionais da área de Pesquisa Operacional tais como no IFORS 1990 e 1993, EURO 1991 e 1992 apresentam como destaque trabalhos relativos ao assunto.

No Brasil, estes métodos quantitativos de análise de eficiência, particularmente o DEA, não têm sido empregados, embora sejam muito frequentemente referidas nos congressos mundiais. A pequena utilização de métodos quantitativos para o exame da produtividade das empresas torna a questão da eficiência bastante discursiva, com pouca objetividade e de difícil avaliação.

¹ Uma comparação entre as vantagens e desvantagens das técnicas paramétricas e das não-paramétricas é apresentada por Tanassoulis (1993).

Pretende-se neste trabalho fazer uma revisão do conjunto de métodos DEA, bem como de suas aplicações, e indicar áreas ainda carentes de desenvolvimento.

1.2 - Objetivo

Geral

O objetivo geral deste trabalho é revisar o conjunto de Técnicas Não-Paramétricas para a análise de eficiência denominado de DEA (“Data Envelopment Analysis”), visando apresentar o estado da arte.

Específicos

Mais especificamente pretende-se:

- Apresentar e discutir os modelos básicos de DEA, bem como suas limitações;
- Fazer uma revisão de algumas aplicações práticas dos métodos de DEA;
- Apresentar algumas extensões recentes de DEA;
- Avaliar as possibilidades de DEA como auxílio ao gerenciamento.

1.3 - Estrutura do trabalho

O trabalho é composto de 4 capítulos sendo o primeiro a Introdução, onde é destacada a importância do estudo bem como suas características gerais. O segundo capítulo apresenta conceitos básicos da Teoria Neoclássica da Produção e alguns tópicos adicionais desta teoria. Também é discutido o conceito de eficiência, e o seu mensuramento. Por último, são apresentadas as técnicas não-paramétricas de estimação de fronteira de produção. No terceiro capítulo são apresentadas algumas extensões e aplicações das técnicas de análise de eficiência nos setores Industrial, de Serviços, Primário e nas Instituições Governamentais. No quarto capítulo são apresentadas as conclusões alcançadas e recomendações para novos trabalhos.

Capítulo II

ANÁLISE DE ENVELOPAMENTO DE DADOS: CONCEITOS E MODELOS

2.1 - Teoria Neoclássica da Produção

Neste tópico, apresentar-se-ão alguns dos principais conceitos da Teoria Neoclássica da Produção como Tecnologia de Produção, Função de Produção, Isoquantas, Produto Físico Médio, Rendimentos de Escala, Otimização Econômica (Minimização de Custos). Esta revisão visa facilitar a interpretação da Análise de Eficiência, fornecendo os princípios básicos da mesma.

2.1.1 - Aspectos Básicos

No decorrer do processo de produção as empresas utilizam insumos para gerarem produtos. Pode-se ter como exemplo uma propriedade agrícola que utiliza: mão-de-obra; matérias-primas, como, sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas; e capital como equipamentos, armazéns, terra entre outros, para produzir soja por exemplo. Segundo Pindyck e Rubinfeld (1994) insumos podem ser divididos em amplas categorias de mão-de-obra, materiais e capital, sendo que uma destas poderia incluir subdivisões mais limitadas. Os insumos de mão-de-obra, poderiam ser trabalhadores especializados (engenheiros, técnicos) ou sem especialização (trabalhadores braçais). Os materiais incluem os insumos que são transformados (fertilizantes, sementes). O capital envolve as construções, os equipamentos e a terra.

Uma relação entre os insumos utilizados na obtenção de algum produto pode ser descrita por uma função de produção. Esta demonstra a produção máxima resultante de uma empresa perante uma combinação específica de insumos. Uma apresentação simplificada com

dois insumo: a mão-de-obra (L) e o capital (K) é dada por Pindyck e Rubinfeld (1994).
 Descrevendo a seguinte função de produção:

$$Q = F(K,L) \quad (1)$$

onde Q é a quantidade de produção, L a mão-de-obra e K o capital.

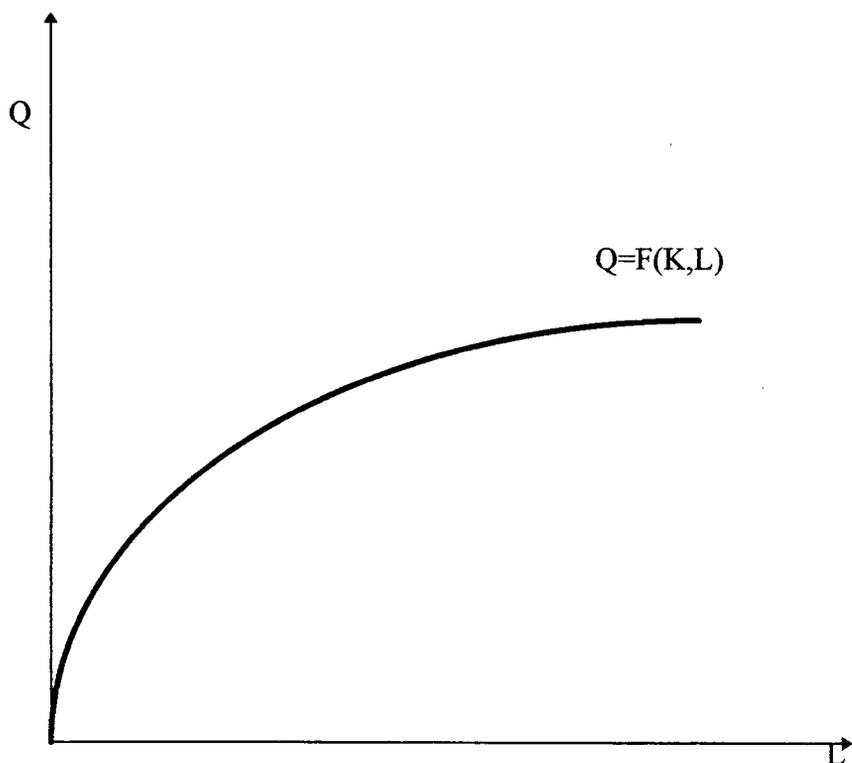


Figura 2.1: Gráfico de uma Função de Produção Simplificada.

O gráfico da figura 2.1 representa uma possível função de produção desenhada pela equação (1)

Uma definição do significado de função de produção é dada por Wastson e Holman (1985) dizendo que “ela é o nome apresentado a relação entre os insumo físicos e os produtos físicos de uma firma”.

A função de produção simplificada (1) descreve a quantidade de soja que se obteria (com determinados equipamentos) em um determinado espaço de terra (K), utilizando uma certa quantidade de mão-de-obra (M), durante um período de tempo.

A função de produção descreve a realização de diversas combinações das proporções utilizadas dos insumos para a obtenção de um determinado volume produzido. Deste modo, podemos produzir soja utilizando mais capital e menos mão-de-obra (utilização intensiva de capital) ou com mais mão-de-obra e menos capital (utilização intensiva de mão-de-obra) ou ainda realizando combinações intermediárias. Isto ficará mais claro quando as isoquantas forem apresentadas no decorrer do trabalho. É bom notar que a equação (1) está associada a uma certa tecnologia, ou seja, um nível de conhecimentos disponíveis que estão relacionados diretamente com o processo produtivo. Tem-se então que o nível de produção é influenciado pelo estado no qual se encontra a tecnologia. Desta forma um novo modo de utilização dos recursos de produção da soja, por exemplo, ou mesmo o surgimento de um novo equipamento para o plantio, poderia resultar em um aumento da produção com a mesma quantidade de insumo. Caracterizando assim uma mudança tecnológica, ou melhor um progresso tecnológico.

Um estado tecnológico segundo Pindyck e Rubinfeld (1994) seria um “determinado estado do conhecimento a respeito dos diversos métodos que poderiam ser utilizados para transformar insumos em produtos”. Na medida em que a tecnologia se desenvolve, existe a possibilidade de transformar os mesmos insumos em mais produtos. Conseqüentemente, a função de produção é modificada para cada nível tecnológico. Deste modo a função de produção passa a ser deslocada em relação ao período de tempo, ou melhor, das mudanças tecnológicas ocorridas nesse período de tempo. Isto representa o aumento da produtividade no tempo, como demonstra o gráfico da figura 2.2, que apresenta o crescimento da relação produto/insumo em função do deslocamento do período de tempo t_1 para t_2 .

Um outro modo de demonstrar o efeito do progresso tecnológico ocorrido no tempo é através das isoquantas. Quando uma empresa utiliza uma dada tecnologia de produção com dois insumo variáveis, a função de produção pode ser representada por isoquantas. Pindyck e Rubinfeld (1994), definem isoquanta como sendo: “uma curva que representa todas as possíveis combinações de dois insumos, que resultam no mesmo volume de produção”.

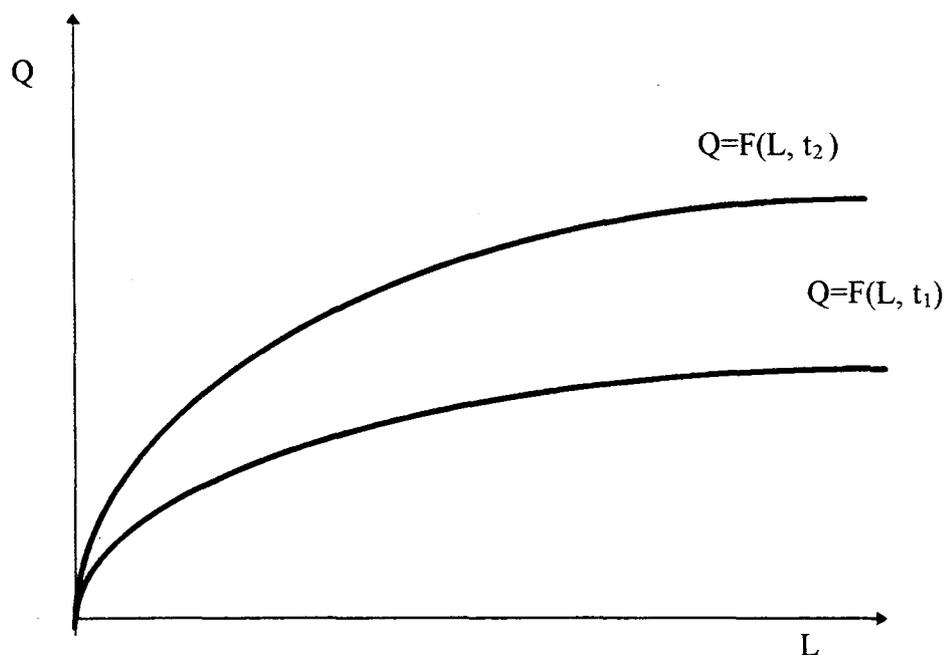


Figura 2.2: Gráfico da Função de Produção deslocada no tempo.

O gráfico da figura 2.3, mostra as possíveis combinações entre capital e mão-de-obra, num determinado espaço de tempo que resultam em uma certa quantidade de produção. Na medida em que ocorrem os progressos tecnológicos com o decorrer do tempo, as isoquantas são deslocadas para dentro.

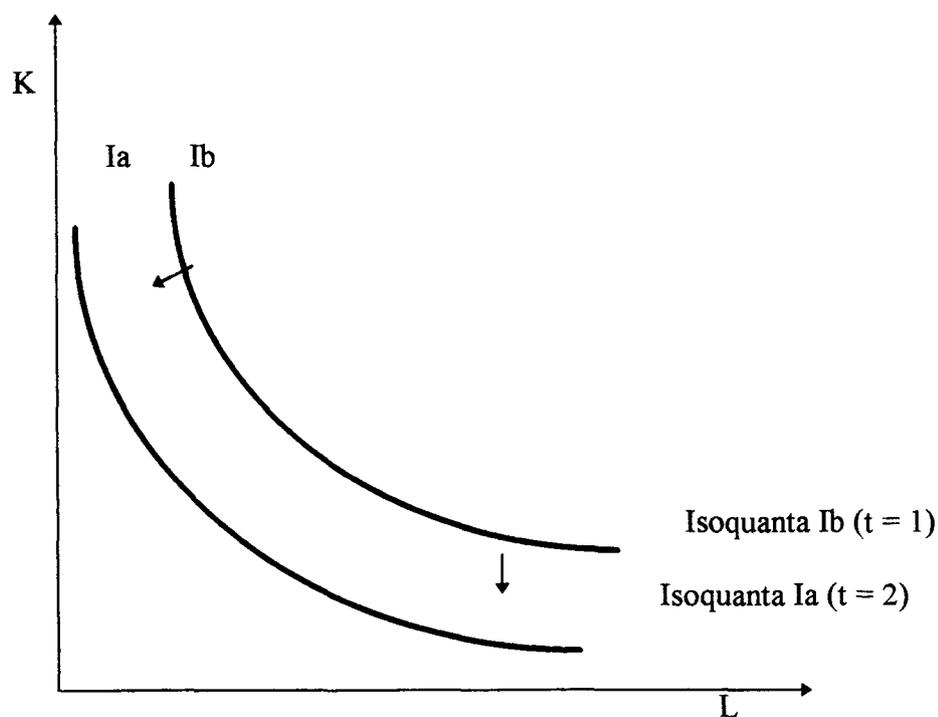


Figura 2.3: Gráfico de Isoquantas.

No gráfico 2.3, as isoquantas Ia e Ib apresentam o mesmo nível de produção realizado em diferentes períodos de tempo, $t=1$ e $t=2$ respectivamente. Entretanto pode-se notar que Ia utiliza uma menor quantidade de insumos que Ib pelo fato de estar situada em um nível inferior, e representando a mesma quantidade de produto.

Frente a todas estas considerações feitas a respeito da função de produção Salvatore (1984) tem uma definição mais abrangente desta: “para qualquer mercadoria ela é uma equação, tabela ou gráfico mostrando a quantidade (máxima) da mercadoria que pode ser produzida dado um período de tempo para cada conjunto de insumo alternativos, quando se utiliza a melhor técnica de produção disponível”.

As tecnologias de produção apresentam certas características comuns. Varian (1994) diz que elas são geralmente monotônicas, ou seja, se é aumentada a quantidade de no mínimo um insumo então deverá ser produzido no mínimo o que era produzido anteriormente. Esta propriedade é também conhecida como propriedade de livre descarte (“free disposal”). A convexidade também é uma propriedade frequentemente associada a tecnologia. Isto significa que se temos dois processos ou técnicas capazes de produzir uma dada a quantidade de um bem x , então uma média ponderada (combinação convexa) destes processos, também pertence ao conjunto da tecnologia.

Deste modo, a função de produção (1) aplicada à produção de soja é simplesmente obtida utilizando-se quantidades alternativas de mão-de-obra por unidade de tempo para cultivar uma quantidade fixa de terra. Apresentando produções alternativas por período de tempo (devido ao fato do fator capital (terra), ser fixo, ou seja curto prazo). Para obter-se o produto médio do trabalho (P_{meL}) basta dividir o produto total (PT) pelo insumo mão-de-obra utilizado. O produto marginal (PM_{gL}) é dado pela divisão da variação ocorrida no produto total pela variação no insumo mão-de-obra. O mesmo raciocínio pode ser realizado para o capital.

Existindo dois insumos e sendo ambos variáveis, existe a possibilidade de se manter o nível de produção, variando a quantidade do emprego dos insumos. Por exemplo poderia-se optar pelo uso de mais mão-de-obra(L) em substituição do capital(K) permanecendo a mesma quantidade de produção. Neste caso a relação de substituição é denominado de taxa marginal de substituição técnica do capital por trabalho. A taxa marginal de substituição técnica determina a redução na quantidade de um insumo suficiente para compensar o incremento de

uma unidade de outro, mantendo constante o nível de produção (Albuquerque,1986). Conseqüentemente, a inclinação da isoquanta será determinada pelo grau de substitutibilidade entre os insumos.

É importante observar que existe distinção entre curto e longo prazos na produção, sendo que no curto prazo pelo menos um dos fatores de produção é fixo e no longo prazo todos os fatores podem variar. Tisdell (1978) diz que “em um prazo muito curto, nenhum fator é variável”. A curto prazo, para ele, somente um subconjunto de fatores é variável, como trabalho e matérias-primas, e outros como edifícios, terra, maquinaria e gerência executiva, tem oferta fixa, limitando assim a produção. Isso significa que se o capital estiver fixo e mão-de-obra for variável o empresário poderá aumentar a sua produção, porém com o produto marginal decrescente e podendo ficar até negativo, devido ao insumo capital estar fixo. Isto é conhecido como “lei dos rendimentos marginais decrescentes”. No longo prazo a empresa é livre para variar a sua escala de produção uma vez que todos os fatores são variáveis.

A produção de uma determinada empresa pode apresentar, no longo prazo, quando todos os seus insumos são variáveis, diferentes variações na produção relativas ao mesmo aumento relativo no emprego da quantidade dos insumos. Isto é denominado de rendimentos de escala, que podem ser constantes, crescentes e decrescentes. Os rendimentos de escala são considerados constantes quando a produção aumenta proporcionalmente ao aumento do emprego dos insumos. Crescente quando a produção aumenta mais que proporcionalmente ao aumento do emprego dos insumos e decrescente quando o aumento da produção é proporcionalmente menor do que o aumento do emprego dos insumos.

Para que uma firma escolha a quantidade ótima de dois insumos é preciso que esta considere, além das produtividades físicas, apresentadas pelas isoquantas, os preços dos insumos apresentados pelas retas de isocusto. A figura 2.4 apresenta duas retas de isocusto. A quantidade de mão-de-obra (L) representada pelo segmento O_A , custa a empresa \$40. O mesmo acontece com a quantidade de capital (K) representado pelo segmento O_B . O mesmo acontecendo com combinações lineares entre estes segmentos. A extensão O_A é o dobro da extensão O_B , significando que o preço da unidade de capital é o dobro da de mão-de-obra. No exemplo apresentado a inclinação da reta de isocusto é dada pelo preço da mão-de-obra dividida pelo preço do capital.

Qualquer ponto no segmento B_A apresenta o mesmo custo de \$40 para certas combinações de capital e mão-de-obra. A reta \$80 está proporcionalmente distanciada, significando que ela pode comprar, proporcionalmente, mais capital e ou mão-de-obra a um mesmo custo.

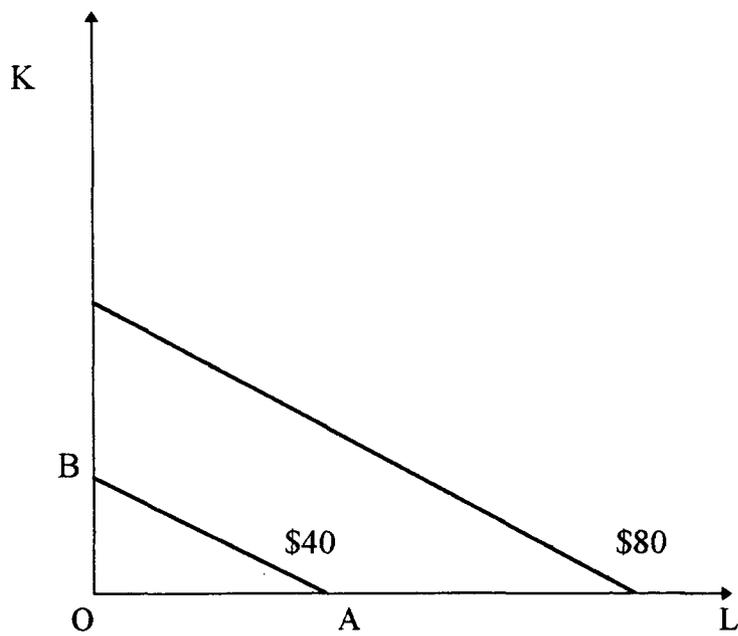


Figura 2.4 - Retas de isocusto.

Para tratar da otimização no uso dos insumos é necessário que se combine como já se comentou anteriormente, a produtividade física (isoquantas) e os preços (isocustos). O gráfico da figura 2.5 apresenta esta combinação.

Como pode-se notar no gráfico da figura 2.5 nos pontos n e H , existe a minimização dos custos, dado um certo nível de produção. O mesmo vale para o ponto n . Isto é os pontos n e H se situam onde a reta de isocusto tangencia a isoquanta. O ponto m como pode-se notar apresenta um custo mais alto do que n , pois existe uma reta de isocusto que tangencia a isoquanta, a um menor custo.

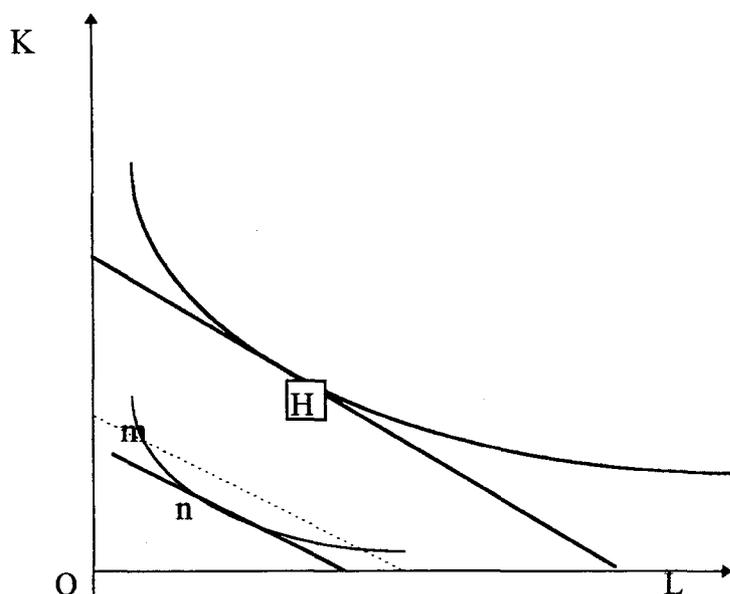


Figura 2.5 - Otimização dos insumos.

2.1.2 - Teoria de Produção com Tecnologia Linear

Alfred Marshall lidou com o problema relativo ao melhor caminho de produção por meio de seu princípio da substituição de insumos. Observando o funcionamento das firmas estudou a função de produção e os preços dos insumos. Quando ocorriam modificações nos preços relativos, os insumos mais caros eram substituídos, visando a manutenção dos custos mínimos. Marshall falava que qualquer pessoa que dirigia uma firma baseava-se somente no instinto e nunca no cálculo formal.

Entretanto agora temos um método formal, denominado de programação linear, que é de utilidade para a teoria da produção e pode ser empregado na solução de uma grande quantidade de problemas empresariais.

Neste tópico, serão apresentados os conceitos básicos de programação linear, o modo de funcionamento e algumas de suas aplicações na teoria da produção.

A programação linear é considerada um avanço para o desenvolvimento da Teoria de Produção, nos últimos 50 anos (Salvatore, 1984). Ela usa matemática para resolver

determinados tipos de problemas. A palavra programação significa simplesmente planejamento sistemático ou tomada de decisão, a linearidade diz respeito aos relacionamentos tratados, sendo estes representados por retas (Wastson e Holman, 1985). Esta técnica foi desenvolvida em 1947 pelo matemático George B. Dantzig com objetivo de auxílio das operações militares americanas. O grande progresso que teve a programação linear no pós-guerra, foi em função do desenvolvimento da informática, pois, os computadores facilitaram muito a operacionalização dos cálculos exigidos pela mesma, para realizar a otimização das escolhas quando os problemas devem ser solucionados observando restrições.

Um problema de programação linear é composto de uma função objetivo que apresenta as variáveis a serem maximizadas quando trata-se de receitas ou lucros e minimizadas quando os custos são considerados. Pode-se dizer que o problema de minimização dos custos é o “dual” da maximização dos lucros. Neste caso, a palavra dual significa que um problema de maximização de lucro pode ser convertido matematicamente no dual de minimização de custos, ou vice-versa, sem reincidir na complicada análise para a montagem de um novo problema. Uma exposição detalhada sobre dualidade, mostrando a conversão de problemas primais em duais é apresentada por Bradley, Hax e Magnanti (1977).

Existem, também, nos problemas de programação linear as chamadas restrições ou confinantes, que são as limitações. O conjunto das limitações define o espaço viável na escolha de alternativas. Por exemplo: o capital disponível de uma firma é uma restrição para seu funcionamento, ou um homem é o mínimo necessário para o funcionamento de um caminhão. Depois de estabelecidas as restrições de um problema pode-se encontrar diversas soluções viáveis, que são todas aquelas que satisfazem as restrições. Entre estas soluções viáveis deve existir a solução ótima que maximize os lucros ou minimize os custos. Podem também existir casos onde encontram-se muitas soluções ótimas em um problema de programação linear.

A condição de linearidade torna mais simples a programação matemática. É assumido neste caso que os rendimento de escala são constantes (homogeneidade). Conseqüentemente, os produtos médio e marginal são iguais em uma determinada faixa. Tem-se também que os custo unitários são constantes e os custos variáveis médios e os marginais são iguais. A programação matemática pode resolver também relações não lineares. Neste caso envolvendo uma maior complicação matemática, ela ainda pode trabalhar com resultados inteiros, no caso em que as soluções não podem ser fracionadas, sendo denominada de programação inteira.

Maiores detalhes sobre programação linear, programação não-linear e programação inteira são apresentados por Ehrlich (1988).

Os requerimentos de fatores de produção para alcançar uma determinada produção é denominada de processo ou atividade em programação linear. Esta combinação deve ocorrer de forma proporcional (linear), por exemplo: 1 trator para 10 ha de terra, 2 tratores para 20 ha, de terra etc.... Não há a possibilidade de substituição de um insumo por outro dentro de um processo, como existe na teoria neoclássica da produção. Entretanto, a Programação Linear admite a possibilidade de substituição de um processo por outro.

O problema típico de programação linear é encontrar a solução ótima que maximize o resultado da combinação dos processos quando existem restrições, minimizando os custos ou maximizando as receitas. Para melhor compreensão sobre combinação de processos, apresenta-se o exemplo, baseado em de Lanzer (1988). Suponha que uma firma para produzir um determinado produto, pode utilizar dois processos diferentes (isoladamente ou combinados). Para produzir uma unidade de produto pelo processo 1 são necessárias 6 unidades de mão-de-obra (M) e 4 unidades de capital (K). O processo 2 requer 4 unidades de mão-de-obra e 10 unidades de capital para a produção de uma unidade do produto. Considerando que a empresa deseje obter o nível de produção de 30 unidades ($Y=30$), se utilizar o processo 1 ela consumirá $30 * 6 = 180$ unidades de trabalho e $30 * 4 = 120$ unidades de capital. Esta possibilidade de produção pode ser representada pelo vetor $p_1 = (30; 180; 120)$, sendo que o primeiro elemento representa o nível de produção; o segundo representa a quantidade de trabalho requerido para tal; e o terceiro representa a quantidade de capital necessário. Pode-se também conseguir o nível de produção de 30 unidades desejado pela firma pelo processo 2, utilizando-se $30 * 4 = 120$ unidades de trabalho e $30 * 10 = 300$ unidades de capital. Esta alternativa é representada pelo vetor $p_2 = (30; 120; 300)$, onde tem-se o nível de produção desejado e a quantidade de mão-de-obra e capital, respectivamente, necessários ao alcance deste nível de produto.

Como demonstrado acima, existem duas maneiras, de se obter o nível de produção de 30 unidades, representadas pelos pontos ou vetores p_1 e p_2 , utilizando-se isoladamente cada processo de produção. Esse nível de produção também pode ser obtido utilizando-se combinações convexas entre os dois vetores (p_1, p_2), isto é, a produção ($Y = 30$) pode ser obtida através de combinações dos dois processos. Como apresentado na figura 2.6.

A figura 2.6 representa a isoquanta, do nível de produção $Y = 30$. O ponto p_3 é obtido fazendo uma das várias combinações possíveis entre os processos. Nele foram utilizados 50% do processo p_1 , representado por $y_1.p_1$; 50% do processo p_2 , representado por $y_2.p_2$. Em outras palavras pode-se dizer que empregou-se 50% do vetor $(30; 180; 120)$ que é igual ao vetor $(15; 90; 60)$ e 50% do vetor $(30; 120; 300)$ que é igual ao vetor $(15; 60; 150)$ obtendo-se assim o ponto p_3 que nada mais é do que a soma destes dois vetores, que resulta em um novo vetor $(30; 150; 210)$. Onde 30 é o nível de produção desejado, 150 e 210 a quantidade de mão-de-obra e o capital, respectivamente, necessários para atingir o nível de produção almejado com uma combinação convexa entre os dois processos, pode-se atingir esse mesmo nível de produção com outras combinações como: 20% do processo 1 e 80% do processo 2 ou 70% do processo 1 e 30% do processo 2 entre muitas outras.

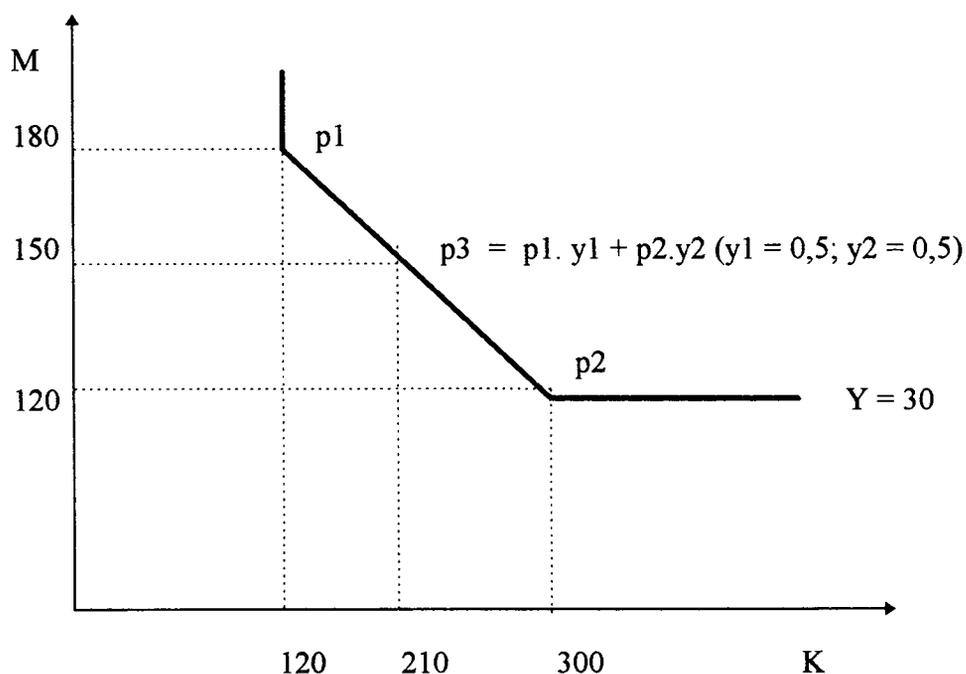


Figura 2.6: Isoquanta de nível de produção $Y = 30$

Outros exemplos e observações a respeito do assunto são apresentadas no livro de Nicol (1985).

2.2 - Considerações Sobre Eficiência

A eficiência produtiva pode referir na proficiência com os quais insumo no processo de produção são convertidos para produtos do processo, quando tratada de modo mais amplo no sentido multidimensional. Tal caso é referido como eficiência técnica, Koopmans (1951) diz que um produtor é tecnicamente eficiente, quando ele só consegue aumentar a produção de um produto diminuindo a produção de outro, ou seja quando existe desperdícios de insumos. Eficiência pode também referir para proficiência para qual produtores conduzem os objetivos econômicos deles, tal como produção para um mínimo custo ou geração de máxima receita (maximização de lucros). Nestes dois caso a eficiência é referida como eficiência econômica, um componente do qual é tecnicamente eficiente.

A atividade produtiva no sistema de produção capitalista está fortemente vinculada a obtenção de lucros, ou seja, ao retorno sobre o capital investido, implicando na produção com os menores custos possíveis. Isto coloca a atividade produtiva fortemente relacionada a obtenção de eficiência econômica, sendo que para alcançar esta é necessário que um produtor seja técnica e alocativamente eficiente. Entretanto em certas atividades onde é difícil mensurar os resultados econômicos, como na educação e saúde, a obtenção de eficiência técnica já é suficiente. Nesta parte do trabalho são apresentados noções básicas destes conceitos.

2.2.1- Técnicas de Produção Eficientes

As técnicas de produção ou processos (como são denominadas em programação linear) podem ser eficientes ou ineficientes. Eles são considerados eficientes quando são capazes de produzir, individualmente ou em combinações com outros processos, determinado nível de produto utilizando determinadas quantidades de insumos, sem que exista outro processo ou combinação capaz de alcançar o mesmo nível de produção utilizando quantidades iguais dos insumos e para pelo menos um destes, um nível de emprego menor.

Suponha na figura 2.7, que os pontos P1, P2 e P3 representam processos de produção que geram a mesma quantidade de produto a partir dos insumos K e M, os pontos A e B representam combinações dos processos P1, P2 e P1, P3 respectivamente.

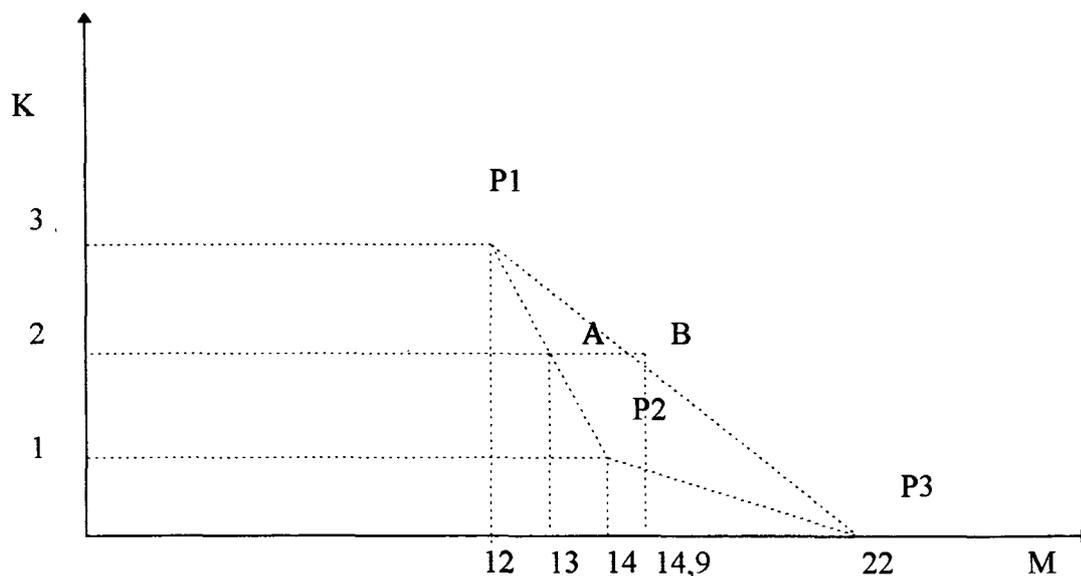


Figura 2.7. Processos alternativos para a produção de $Y = 100$.

Observa-se que no processo representado pelo ponto B utilizam-se 2 unidades de K (capital) e 14,9 de M (mão-de-obra) para produzir 100 unidades de Y por hipótese. Entretanto esta mesma quantidade de Y pode ser alcançada pelo ponto A utilizando 2 unidades de K e 13 unidades de M. Portanto o ponto A produz a mesma quantidade do ponto B, porém com menor quantidade do insumo M, concluindo-se que B é um processo ineficiente (dominado por A). Qualquer combinação dos processos P1 - P3 é considerada ineficiente, pois, a mesma produção pode ser obtida por combinações P1 - P2 e P2 - P3, gastando-se então menos de no mínimo um insumo.

Nota-se por consequência do exposto acima que o ponto B é dominado pelo ponto A, pois este gasta mais insumo que A para produzir a mesma quantidade de Y. Um produtor racional nunca optaria por produzir utilizando a combinação de processos P1 - P3, e sim utilizaria as combinações P1 - P2 e P2 - P3, visto que só elas são combinações eficientes.

A figura 2.8 apresenta as combinações eficientes. Os pontos A, C, F e G ou qualquer outra combinação entre P1 - P2 e P2 - P3 é considerada eficiente.

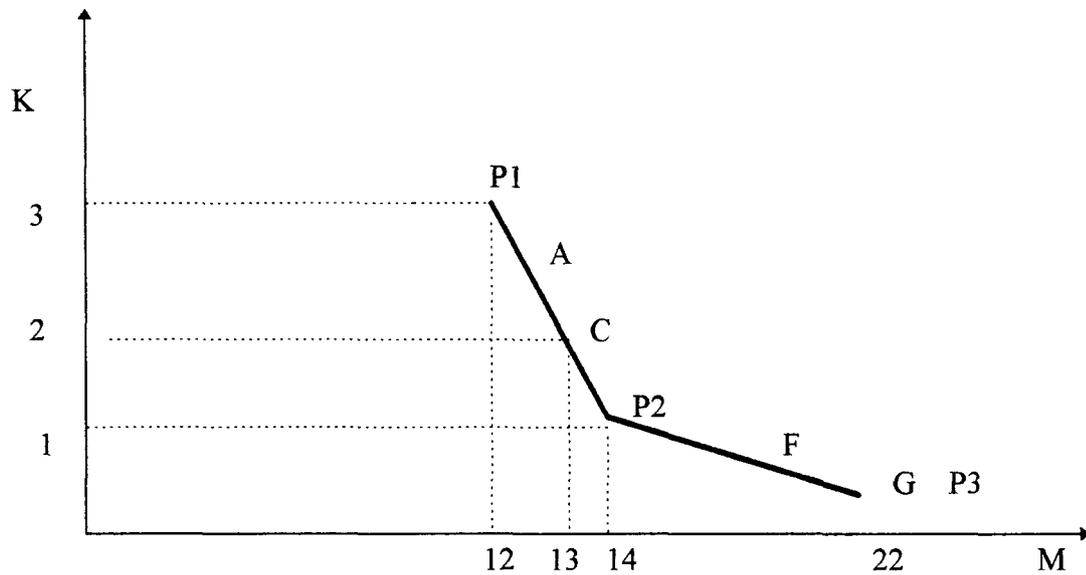


Figura 2.8. Combinações de processos eficientes

O problema de escolha dos melhores processos de produção ou a melhor combinação entre estes, como apresentado, é um típico problema de programação linear. Porém na realidade não invalida a teoria neoclássica de produção e de custos e sim contribui para o aprimoramento da mesma. “Na verdade os pressupostos essenciais da teoria neoclássica da produção e de custos são observados como resultantes de um modelo de firma calcado em programação linear. Curvas de produtividade marginal decrescentes, isoquantas convexas em relação à origem dos eixos dos fatores e curvas de custos marginal crescentes, imprescindíveis na análise de formação de preços via oferta e procura, aparecem como resultados transparentes do modelo de tecnologia em proporções fixas com processos alternativos” (Lanzer, 1988).

2.2.2 - Conceito de Eficiência.

O conceito de eficiência pode ser encontrado de diversas formas. Entretanto, na maioria das vezes ele sempre é interpretado como eficiência técnica, isto é, a produção da maior quantidade de produto possível por quantidade de insumo. Por exemplo, a produção da maior quantidade possível de produtos em um pedaço de terra. Tendo que o objetivo é a obtenção da maior rentabilidade possível, o empresário não pode considerar apenas a eficiência

técnica. Este também deve objetivar ser economicamente eficiente dentre as possíveis combinações de fatores existentes, caso contrário ele estará apenas sendo, alocativamente eficiente, porém não economicamente eficiente. Devido ao fato de que para alcançar tal objetivo deverá existir uma combinação técnica e alocativa eficiente.

Para melhor compreensão destes conceitos faz-se necessário o auxílio das curvas de isoquantas e isocustos. As isoquantas representam, como já definido anteriormente, a mesma quantidade de produção, as retas de isocusto apresentam o mesmo custo em toda sua extensão.

As isoquantas apresentadas no gráfico da figura 2.9 apresentam as possíveis combinações dos fatores variáveis K (Capital) e M (Mão-de-Obra). Estas combinações produzem uma unidade do produto final são denominadas de isoquanta unitária eficiente (Albuquerque, 1985). Todos os pontos situados na isoquanta unitária eficiente são tecnicamente eficientes. A posição, ou seja, o nível o qual se encontra a isoquanta unitária eficiente representa a fronteira tecnológica em um certo ponto do tempo e em um certo local.

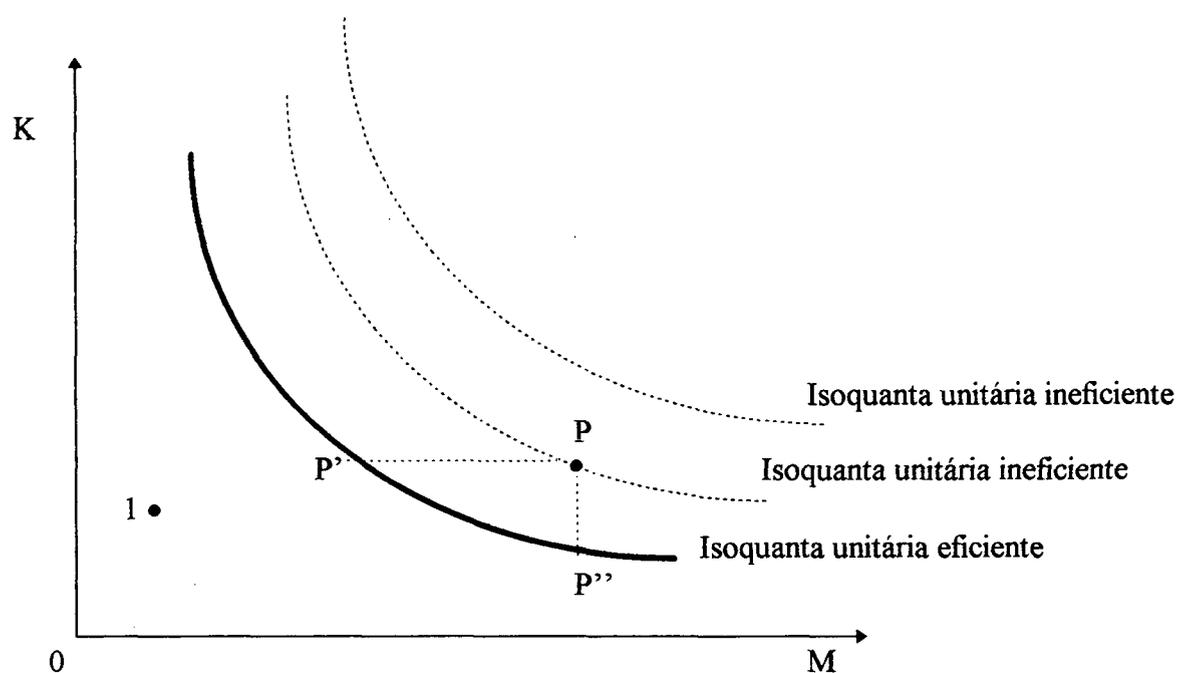


Figura 2.9. Gráfico de Isoquantas e Eficiência Técnica.

Qualquer ponto no interior desta fronteira, é inviável dadas as condições tecnológicas existentes, como por exemplo o ponto 1. É interessante frisar que a isoquanta unitária representa as combinações necessárias de dois insumos necessários a obtenção de uma unidade de produto. E que quanto mais perto esta estiver da origem, menor é o consumo dos insumos. Os pontos situados acima da fronteira eficiente são considerados ineficientes, como no caso de uma empresa optar por produzir no ponto P. Sendo que esta mesma produção pode ser alcançada utilizando-se uma menor quantidade de qualquer um dos dois insumo variáveis (P'a P'').

A eficiência alocativa é alcançada quando tem-se uma dada combinação de insumo em uma isoquanta qualquer que proporcione um custo mínimo. Esta situação é apresentada no gráfico da figura 2.10.

O ponto W é uma combinação alocativa eficiente, onde em uma dada isoquanta qualquer, se trabalha com os menores custos. Isto também pode representar uma determinada empresa. Sendo que esta em uma dada tecnologia utilizada, minimiza seus custos dado os preços dos insumo K e M, não implicando que a empresa esteja utilizando a melhor tecnologia.

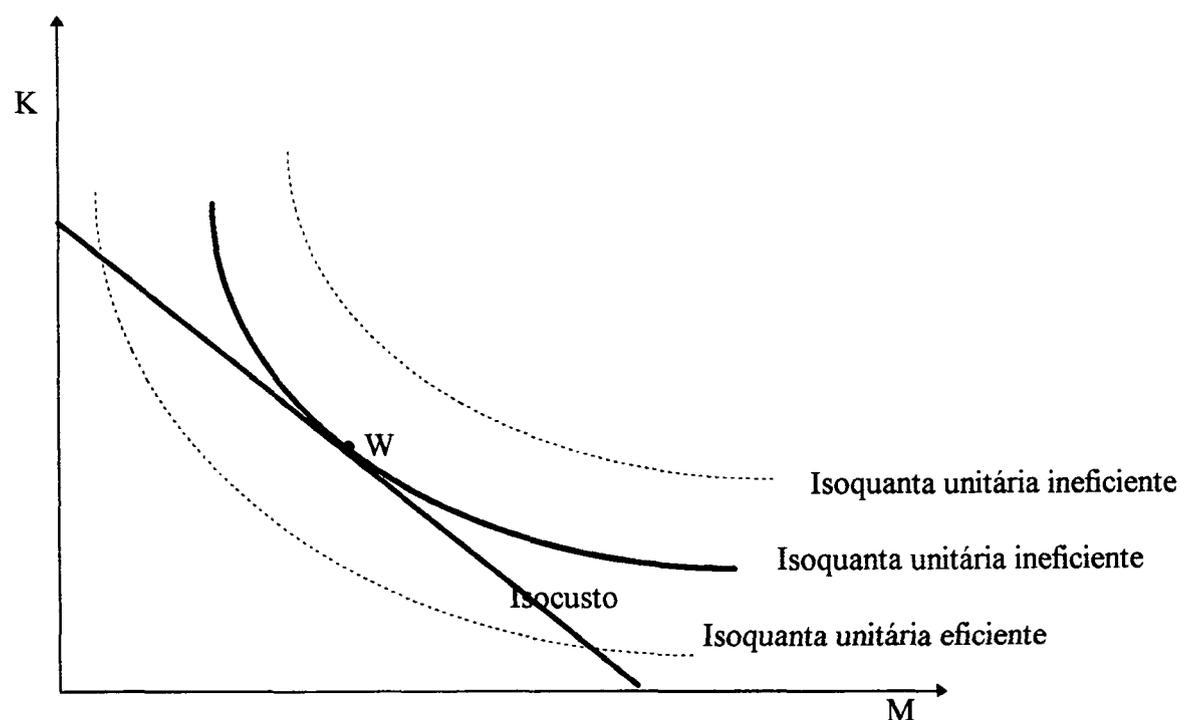


Figura 2.10. Curvas de Isoquanta, Reta de Isocusto e Eficiência Alocativa.

Pode-se notar que o ponto W , onde a reta de isocusto e a isoquanta se tangenciam, existe eficiência alocativa, como já comentado. Entretanto este ponto não é tecnicamente eficiente, devido ao fato de existir a possibilidade de produzir o mesmo nível de produto, porém com menos insumo. Isto está representado pela isoquanta de menor nível, ou seja a isoquanta unitária eficiente.

Agora que já foram apresentados os conceitos de eficiência técnica e eficiência alocativa, fica mais fácil conceituar eficiência econômica. Devido ao fato da eficiência econômica exigir uma combinação técnica e alocativa eficiente. Como apresenta o gráfico da figura 2.11.

O ponto W' apresenta a eficiência alocativa e eficiência técnica. Pois dentre todas as possíveis combinações tecnicamente eficientes ele é o que apresenta menor custo, sendo assim economicamente eficiente. O que não acontece com o ponto W'' , pois, este é apenas alocativamente eficiente, podendo ser utilizado em uma segunda opção, enquanto que W' pressupõe o ótimo.

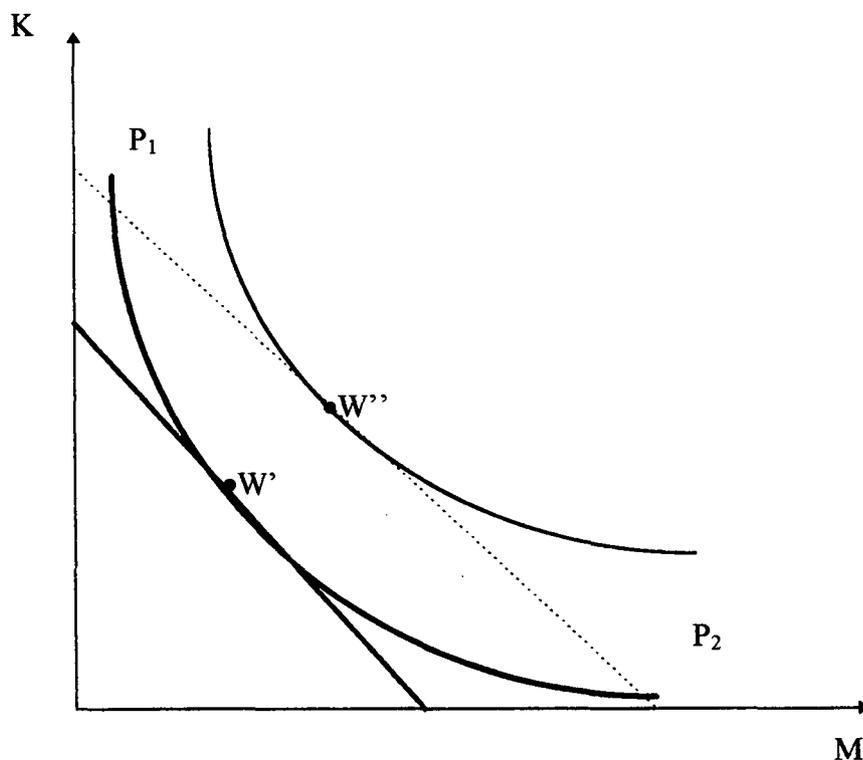


Figura 2.11: Curvas de Isoquantas, Retas de Isocusto e Eficiência Econômica.

É importante observar que nem sempre a produção em uma isoquanta unitária eficiente, significa estar produzindo com um custo mínimo, ou menor que em uma isoquanta unitária ineficiente. Como acontece nos pontos P1 e P2 do gráfico da figura 2.11 que apresentam custos superiores aos de alguns pontos da isoquanta unitária ineficiente entre eles W". Este fato ocorre quando a atenção do administrador é voltada simplesmente para critérios técnicos sem que seja dada a devida atenção a critérios econômicos. No caso de se tentar alcançar a máxima produtividade em uma determinada atividade sem que sejam devidamente observados os custos necessários para que isto ocorra, tal fato acontece.

2.2.3 - Medidas de Eficiência

Na definição de fronteiras de produção pelos conceitos da Microeconomia, observou-se que esta representa o limite máximo de produto realizado dada uma certa tecnologia. Entretanto, na prática, não é bem isso que acontece, pois, nem todas as empresas apresentam a mesma proficiência na conversão de insumos em produtos, podendo existir as empresas menos eficientes.

A distância da fronteira de produção, no caso de um insumo(x) e um produto (y), a qual um produtor (P) ineficiente apresenta, pode ser representada como no gráfico da figura 2.12. A medida de ineficiência radial é dada por OA/OB , sendo esta menor que 1. Se OA/OB for igual a 1 então o produtor P seria eficiente, neste caso este estaria situado na fronteira.

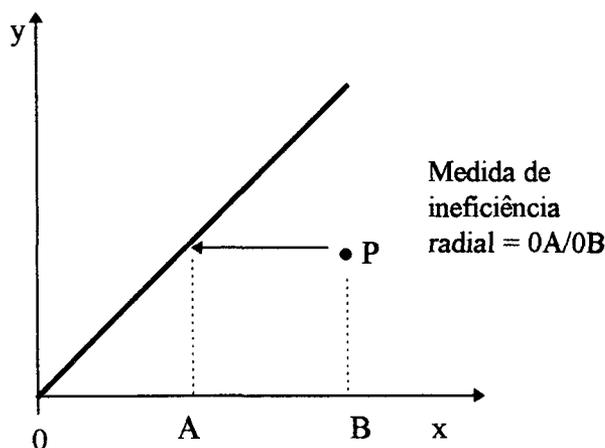


Figura 2.12. Medida de eficiência no caso de um insumo e um produto.(Medida para insumo).

Também pode-se obter a medida de ineficiência radial de um produtor P com dois produtos (y_1, y_2) variando, para um determinado nível de insumo fixo. No caso essa medida é obtida pela divisão do segmento OP/OA , como apresentado no gráfico da figura 2.13. Se a medida for igual a 1 o produtor seria eficiente, neste caso este estaria em cima da fronteira. Caso a medida seja menor do que 1 o produtor seria ineficiente em relação a fronteira eficiente.

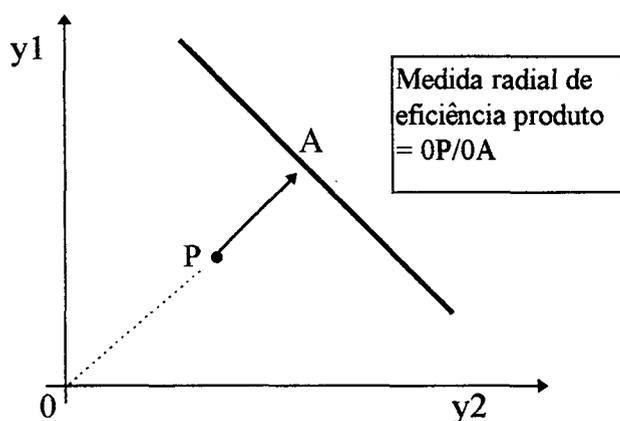


Figura 2.13. Medida de eficiência no caso de 2 produtos e um insumo.

Poderia-se desenvolver o raciocínio desenvolvido acima utilizando-se combinações de dois insumos (x_1, x_2) para um determinado nível de produto (P), como apresenta o gráfico da figura 2.14.

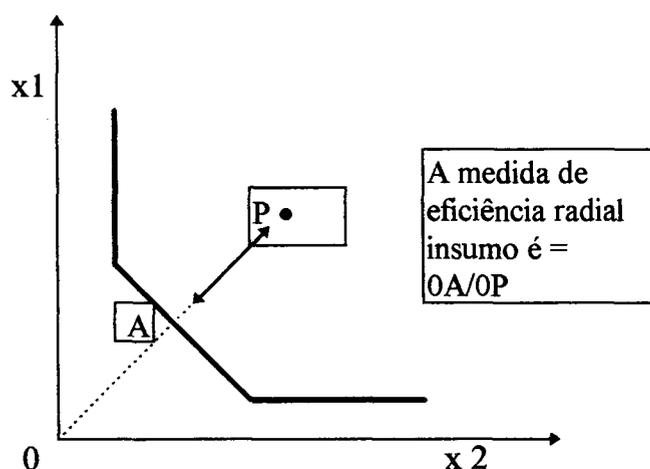


Figura 2.14. Medida de eficiência radial caso de 2 insumos e 1 produto.

É importante notar que para cada tipo de fronteira e para cada produtor considerado na análise poderá existir uma medida diferente.

Nestes casos apresentados, é fácil observar, caso uma empresa esteja ineficiente, a quantidade de insumos que poderia ser diminuída ou o produto que poderia ser aumentado para que esta empresa se torne eficiente. Porém quando levamos em consideração o conceito multidimensional de insumos e produtos essa interpretação se torna mais complexa. Passando a exigir a utilização de técnicas como as de programação matemática que serão apresentadas a seguir. Estas técnicas fornecem a possibilidade de comparar unidades organizacionais considerando múltiplos-insumo e múltiplos-produto.

2.3 - Os Modelos de Análise de Envelopamento de Dados

Este item do trabalho apresenta os modelos de avaliação do grau de eficiência relativa no uso dos recursos de empresas pertencentes a um mesmo setor ou ramos de atividade. Estes modelos têm origem no trabalho pioneiro de Farrel (1957), sendo objeto de considerável atenção na literatura internacional mais recente sob o rótulo de DEA ("Data Envelopment Analysis"). Os modelos que serão apresentados são baseados no artigo de Tulkens (1993). Também será apresentado o modelo básico do artigo introdutório de Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Outras apresentações de modelos de DEA são feitas por Fried, Lovell e Schmidt (1993) e Boussofiane, Dyson e Thanassoulis (1991).

A operacionalização destes se dá através de programação matemática. O funcionamento de DEA será ilustrado primeiramente através da apresentação das diferentes fronteiras desenhadas pelos diferentes modelos, no espaço bidimensional.

A análise da eficiência produtiva de empresas com múltiplos insumo e produtos parte da idéia de construir uma (híper) superfície limite, de tal modo que as empresas mais eficientes se situem sobre esta superfície (fronteira) enquanto as menos eficientes se situem internamente. De algum modo, sobre a superfície de referência, a relação "produtos/insumo" deve ser a maior possível dentre aquelas observadas nas várias empresas. Então o grau de ineficiência de uma empresa qualquer do conjunto pode ser avaliado como a distância do seu vetor

insumo/produto até a superfície de referência. Tal superfície pode ser definida por métodos paramétricos (vide, e.g.: Pinheiro (1992)) ou não-paramétricos. Os resultados obtidos por métodos paramétricos são mais agregados, servindo bem à elaboração de políticas econômicas. Os métodos não-paramétricos englobam e se derivam das técnicas de DEA, iniciadas por Farrell (1957) e ampliadas por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984). Os resultados de DEA são mais detalhados do que os obtidos na abordagem paramétrica, servindo melhor ao embasamento de recomendações de natureza gerencial.

O modelo original de Charnes, Cooper e Rhodes pode ser descrito resumidamente como se segue. Para avaliar a eficiência produtiva de um vetor insumo-produto de uma empresa Q relativo a outros vetores de um conjunto de N empresas, é resolvido um problema de programação fracionária que tem por objetivo maximizar o quociente entre uma função linear das quantidades produzidas e uma função linear das quantidades de insumo utilizadas pela empresa Q. Sujeito a restrições de que o mesmo quociente para cada uma das outras empresas deve ser igual ou menor que a unidade. O problema apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) no artigo introdutório é um problema de programação fracionária onde a medida de eficiência é obtida através da razão da soma ponderada dos produtos, pela soma ponderada dos Insumos. Como apresentado abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Max.} \quad & H_Q = \sum w_i y_{iQ} / \sum v_j x_{jQ}, \\ \text{restrita a} \quad & \sum w_i y_{is} / \sum v_j x_{js} \leq 1 \quad s = 1, \dots, Q, \dots, s, \\ & w_i, v_j \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, I; \quad j = 1, \dots, J, \end{aligned}$$

Onde

S é o numero de unidades a serem avaliadas (parametro);

I é o numero de produtos (parametro);

y_{is} é a quantidade do produto i gerado pela unidade s (parametro);

J é o numero de insumos (parametro);

x_{js} é a quantidade de insumo j usado pela unidade s (parametro);

w_i é o peso associado com o produto i (incognita);

v_j é o peso associado com o insumo j (incognita);

ε é um número pequeno e positivo.

Neste mesmo artigo, os autores apresentam a equivalência do deste modelo de programação linear fracionária acima, com o seguinte problema de programação linear:

$$\text{Max } H_Q = \sum w_i y_{iQ}$$

$$\text{restrito a } \sum v_j x_{jQ} = 1$$

$$\sum w_i y_{is} / \sum v_j x_{js} \leq 1 \quad s = 1, \dots, Q, \dots, s,$$

$$w_i, v_j \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, I; \quad j = 1, \dots, J,$$

Novas considerações sobre o modelo descrito acima foram realizadas por Banker, Charnes e Cooper (1984), sendo desenvolvido a possibilidade de consideração de retornos de escala variáveis. Uma apresentação destes modelos com algumas conveniências computacionais é apresentada por Tulkens (1993).

Mais recentemente a operacionalização dos modelos de DEA tem sido simplificada sem perda do propósito original. Antes de apresentar tais modelos parece conveniente discutir um pouco melhor as idéias básicas no caso mais simples de um produto e um insumo.

Fronteiras

No gráfico da figura 2.15, os pontos representam empresas. O modelo básico de DEA, denominado DEA-F (de Farrel), pressupõe rendimentos de escala constantes a partir da origem. Sendo o maior quociente x/y (insumo/produto) dado pela empresa observada no ponto c , a linha $0cf$ se constitui na fronteira de eficiência.

(salvo se for observada uma empresa nesta posição) e permite rendimentos variáveis (crescentes e decrescentes). Este caso, na figura 2.15 é representado por abcde. A distância horizontal de uma empresa até alguma fronteira revela sua ineficiência no uso do insumo.

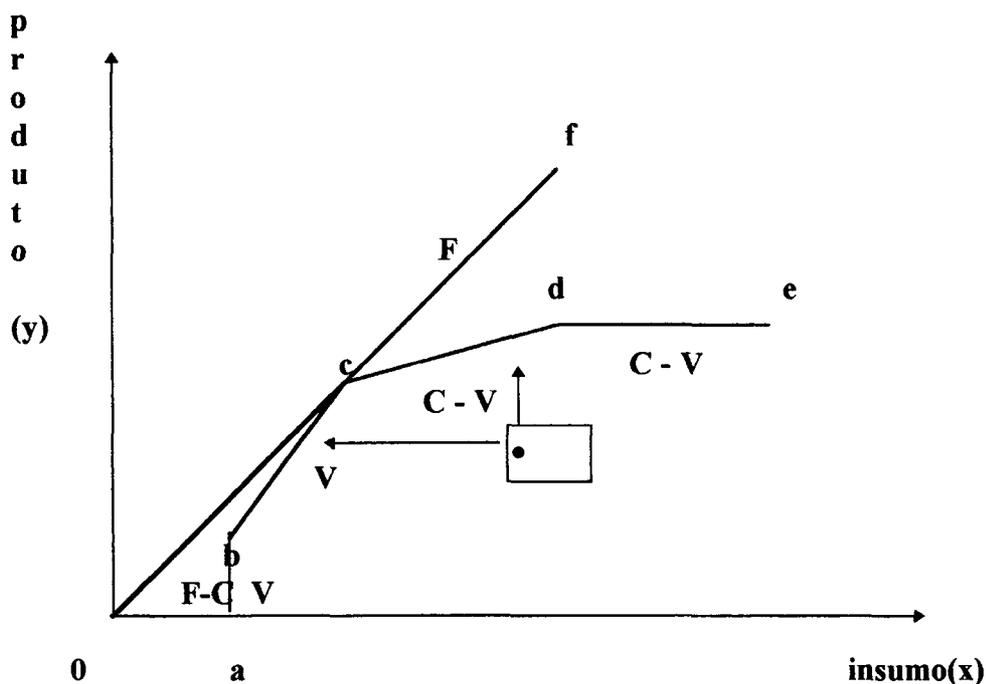


Figura 2.15 - Tipos de fronteiras apresentadas, pelos métodos DEA-F, DEA-V, DEA-C, quanto a análise de um conjunto de dados.

Enquanto a distância vertical da empresa até uma das fronteiras revela sua ineficiência em termos do produto.

Modelos

A seguir apresentam-se os modelos básicos de programação linear. A apresentação aqui segue aquela de Tulkens (1993). Dado o conjunto $C = \{(x^k, y^k) \mid k = 1, \dots, n\}$ onde x^k é um vetor I-dimensional de I insumos utilizados e y^k é um vetor P-dimensional de quantidades de produtos realizados pela k-ésima empresa. Evidentemente tanto x^k quanto y^k são vetores

não negativos. O cálculo do grau de eficiência no uso dos insumo pelo método DEA-F é obtido pela solução do modelo de programação linear abaixo, no qual o grau de eficiência no uso de insumo pela empresa k é dado por θ^k :

$$\underset{\{\theta^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Min}} \quad \theta^k \quad (1)$$

sujeito à restrição:

$$\theta^k x_i^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \geq 0, \quad i=1, \dots, I \quad (r1)$$

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h y_p^h \geq y_p^k, \quad p=1, \dots, P \quad (r2)$$

$$\theta^k, \gamma^h \geq 0, \quad h=1, \dots, n \quad (r3)$$

O modelo de programação linear do grau de eficiência no uso de insumos (1), é composto de uma função objetivo e de três restrições (r1, r2, r3). A função objetivo visa minimizar o uso dos insumos de uma dada empresa em observação. A restrição (r1) diz que, não deve haver nenhuma combinação de insumos das outras empresas que fazem parte da análise, que seja menor que a dela. A restrição (r2) diz a empresa em observação têm que produzir no mínimo o que era produzido anteriormente. E a terceira restrição trata da não negatividade. Quando estas restrições são atendidas a empresa em observação terá o grau de eficiência 1, caso as restrições não sejam atendidas a empresa será ineficiente. Conseqüentemente a empresa em observação apresentará o grau de eficiência menor que 1.

O grau de eficiência na obtenção dos produtos através da concepção de DEA-F é obtido por $1/\lambda^{k*}$ sendo λ^{k*} a solução ótima do problema de programação linear a seguir:

$$\underset{\{\lambda^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Max}} \lambda^k \quad (2)$$

sujeito à restrição:

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \leq x_i^k, \quad i=1, \dots, I \quad (r1b)$$

$$\lambda^k y_p^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h y_p^h \leq 0, \quad p=1, \dots, p \quad (r2b)$$

$$\lambda^k, \gamma^h \geq 0, \quad h=1, \dots, n \quad (r3b)$$

O modelo de programação linear do grau de eficiência no uso dos produtos (2), é composto de uma função objetivo e de três restrições (r1b, r2b, r3b). A função objetivo visa maximizar o uso dos insumos de uma dada empresa em observação. A restrição (r1b) diz que, a empresa em observação deve utilizar no máximo o que ela utilizava anteriormente de insumos. A restrição (r2b) diz que não deve haver nenhuma empresa ou combinações de empresas que fazem parte da análise, que exceda produto da empresa em observação. E a terceira restrição trata da não negatividade. Sendo atendida estas restrições a empresa em observação terá o grau de eficiência 1, caso as restrições não sejam atendidas a empresa será ineficiente. Neste caso a empresa em observação apresentará o grau de eficiência menor que 1.

Adicionando-se à qualquer um destes problemas a restrição

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h \leq 1 \quad (3)$$

passa-se à resolução do problema DEA-C, pois quando o somatório dos γ passa a ser no máximo 1, passa-se a ser considerada a possibilidade de rendimentos de escala decrescente. Trocando-se esta última restrição por

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h = 1 \quad (4)$$

obtem-se a resolução do problema referido como DEA-V, sendo que a restrição da somatória dos γ ser igual a 1 possibilita consideração de rendimentos de escala variáveis.

Na sequência será exemplificado o potencial de análise e auxílio ao gerenciamento, proporcionado pelos modelos de DEA, através da análise de um conjunto de dados referentes a um grupo de 14 fazendeiros (Paris, 1988).

2.4 - Um exemplo de Aplicação de DEA

Com o propósito de ilustrar o tipo de resultado básico produzido pelos modelos apresentados na seção anterior realizar-se-á uma aplicação. Os dados são referentes aos insumos (X) utilizados e os produtos (Y) realizados pelas famílias de fazendeiros conforme apresentado na Tabela 2.1 (Paris, 1988).

Um exame visual da Tabela 2.1 não é capaz de demonstrar, de modo simples, quais as fazendas que são eficientes e quais não são. Para avaliar este aspecto decidiu-se por submeter o conjunto de dados aos modelos de análise de eficiência orientação produto DEA-F, DEA-C, DEA-V.

Para operacionalização destes modelos se faz necessário a utilização de um programa de computador que resolva problemas de programação matemática, que no caso o utilizado foi a planilha eletrônica Excel versão 5.0, for Windows. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 : Uso de Insumo (X) e Níveis de Produção (Y) em 14 Fazendas

Empresas	Terra X1	Trabalho X2	Leite X3	Gerais X4	Animais Y1	Agrícola Y2	Outros Y3
1	6.28	2.00	5.00	2.022	1.954	2.335	0.465
2	4.31	1.84	5.10	0.917	2.284	0.708	0.606
3	5.16	1.50	3.90	0.897	2.102	0.860	0.438
4	6.17	1.92	6.00	0.617	2.043	0.120	0.525
5	8.65	1.75	9.60	1.595	3.400	0.213	0.624
6	12.49	1.85	5.10	1.345	2.152	1.315	0.721
7	7.96	2.50	7.00	1.106	2.762	0.288	0.354
8	5.87	1.50	5.80	0.515	2.608	0.288	0.359
9	7.75	2.50	7.00	1.049	2.902	0.623	0.260
10	7.39	3.00	6.90	1.952	2.641	0.480	0.399
11	7.73	2.33	4.20	1.368	1.812	1.583	0.663
12	6.89	2.00	5.60	0.991	2.773	0.304	0.757
13	9.90	4.37	4.30	1.059	1.858	2.282	0.627
14	13.35	3.00	10.70	3.491	4.236	0.561	1.306

Os valores dos insumos e produtos estão em milhões de Liras.

Fonte: Paris (1988), páginas 298 e 303.

Os resultados da Tabela 2.2 indicam que a maior parte das empresas é considerada eficiente no uso dos insumos. Os resultados são ainda pouco sensíveis em relação à hipótese sobre rendimentos de escala.

Assim, pode-se dizer que apenas as fazendas 7 e 10 podem serem consideradas ineficientes, com alto grau de certeza, no conjunto apresentado, quando se considera os três modelos de DEA.

Tabela 2.2: Índices de Eficiência Computados para o Conjunto de Fazendas.

Empresas	DEA-F	DEA-C	DEA-V
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	0.8068	0.9349	0.9349
8	1	1	1
9	0.860	1	1
10	0.779	0.8958	0.8958
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1

Entretanto, se houverem razões técnicas para admitir que os rendimentos de escala no setor são constantes (ou aproximadamente constantes), então também a fazenda 9 pode ser considerada ineficiente.

Os resultados apresentados indicam um alto grau de similaridade entre as fazendas, devido a elas apresentarem características comuns tais como a região, a mão-de-obra, entre outras. Também seria possível comparar o progresso tecnológico existente em cada propriedade em função da implementação de uma nova tecnologia de produção. Tal processo é denominado de janela de análise, sendo este similar ao da média móvel. Esse assunto será discutido no terceiro capítulo. Na seqüência do trabalho apresenta-se o detalhamento da análise proporcionado pelos modelos de DEA.

Detalhamento da Análise.

Os resultados apresentados estão longe de encerrar as possibilidades de análise com as técnicas de DEA. Para realizar o detalhamento utilizar-se-á o modelo DEA-C, sendo que o procedimento é o mesmo para os outros modelos.

Resolvendo o modelo de programação matemática, é possível, por exemplo, identificar através das colunas básicas nos modelos de programação apresentados anteriormente, quais fazendas devem servir de "*benchmark*" para cada uma das ineficientes. Assim como a quantidade de vezes que uma fazenda, caso essa seja eficiente, serviu de referência para as para as fazendas ineficientes. Considerando as 14 vezes que o problema foi resolvido , conforme apresenta a tabela 2.3.

Tabela 2.3. Índices de eficiência (produto), referências e facetas ocorridas.

Fazendas	DEA-C (eficiência)	Referência	Facetas Ocorridas
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	1
4	1	4	1
5	1	5	3
6	1	6	1
7	0.9349	14,12,8,5	0
8	1	8	2
9	1	9	1
10	0.8958	5,2,12,14	0
11	1	11	1
12	1	12	3
13	1	13	1
14	1	14	3

DEA-C: Índice de eficiência do problema de envelopamento DEA-C;

Referência: Fazenda que serviu de referência para determinação do índice;

Facetas Ocorridas: Numero de vezes que cada fazenda serviu de referência.

Em consequência desta análise, pode-se dizer que as fazendas 7 e 10 não servirão como modelo de comparação, como pois são ineficientes. As fazendas 12, 14 e 5, foram as mais utilizadas como modelos de eficiência ou "*benchmark*" (três vezes). Este fato se deve ao melhor resultado produtivo alcançado por estas fazendas em relação as outras consideradas na análise. É de fundamental importância que depois de identificadas as fazendas eficientes e ineficientes, que se busque a causa organizacional que esta acarretando tal fato.

Com a análise de DEA, também pode-se obter as quantidades de redução de insumos e acréscimos na produção necessárias para tornar a uma fazenda eficiente. Para exemplificar tais características será utilizado o modelo DEA-C e a fazenda selecionada para ser tornada eficiente, será a 7. A tabela 2.4 apresenta os dados, esse mesmo procedimento também poderia ser realizado para qualquer fazenda ineficiente.

Tabela 2.4: Análise da fazenda 7 (Produto).

Produtos	Valor apresentado	Folga	Valor eficiente
Animais*	2,762	0	2,762
Agrícolas*	0,288	0	0,288
Outros*	0,354	0,1867	0,5407
Insumos			
Terra (hectares)	7,960	0,6160	6,825
Trabalho(h/a)	2,500	0,7199	1,617
Leite(equivalentes)	7,000	0	6,544
Gerais*	1,106	0	1,034

Escore de eficiência: 0.9349; Fazendas de referência 14,12,8,5.

Outros: diversos produtos agropecuários de pouca importância separadamente

*Milhões de Liras.

h/a: homens ano.

Como pode-se notar na tabela 2.4, para que a fazenda 7 se tornar eficiente, segundo a análise fornecida pelo modelo de DEA. Seria necessário aumentar a produção dos produtos do grupo “Outros” em 0,1867 milhões de Liras, devendo este grupo objetivar alcançar o valor de 0,5407 milhões de Liras. Não é necessário que as outras duas categorias, sofram alterações. Quanto aos insumos, todos estes devem serem multiplicados pelo escore de eficiência apresentado pela fazenda, que no caso da 7 é 0,9349, e ainda descontada a folga quando esta existir. Por exemplo no caso do insumo terra que apresenta o valor de 7,960 milhões de Liras multiplicado pelo escore de eficiência 0,9349 e diminuída a folga 0,6160, temos o valor eficiente de 6,825 milhões de Liras, ou seja, deve-se diminuir a utilização do insumo terra para aumentar a eficiência.

Para se ter certeza que os novos valores encontrados realmente tornam a fazenda 7 eficiente, implementou-se os novos valores no problema DEA-C. Rodando este obteve-se o grau de eficiência igual a um.

Limitações dos Modelos

Notou-se explicitado na literatura citada até este momento, como Tulkens (1993), a existência de importantes limitações nos modelos DEA. Sendo uma destas a sensibilidade destes a dados inadequados, como por exemplo, considerar 1000 ao invés de 100 como produto de uma dada organização. Conseqüentemente distorcendo toda a análise. Por isso

erros de informações ou uma má obtenção de dados podem gerar "outliers", ou seja, resultados fora da realidade que prejudicarão os resultados da análise.

A presença de indivisibilidade no uso de insumo ou de produtos também causam dificuldades de interpretação. Em um estudo de eficiência relativa de agências bancárias, Vassiloglou e Giokas (1990), tem por exemplo, dificuldades na divisão do insumo caixa automático.

Alguns autores como Belton e Vickers (1993), dizem que os modelos de DEA são muito difíceis de serem interpretados por pessoas que não possuem conhecimento em Pesquisa Operacional, dificultando assim a aceitação destes por gerentes e tomadores de decisão, pois, eles têm que aceitar os resultados sem conhecer a sua real procedência. Outra consideração a ser feita de acordo com estudos realizados por Thomas et al in Kao, Yang(1992), é que o número de unidades (empresas) consideradas na análise deve ser no mínimo duas vezes maior que o número de insumos e produtos considerados (restrições), para que o modelo apresente resultados consistentes. Estes pontos, entre vários outros, vem merecendo bastante atenção em pesquisas recentes na literatura internacional.

Evolução e Aplicações.

A análise da eficiência produtiva em empresas com múltiplos produtos e insumos através de DEA tem evoluído significativamente nos últimos anos (Bussofiane et alli (1991), Tulkens (1993)). Seu campo de aplicações engloba a análise de eficiência não apenas de empresas mas também de instituições voltadas à produção de serviços sociais onde o critério de lucratividade faz pouco ou nenhum sentido(ver,e.g.,Ray(1991)). Maiores detalhes sobre aplicações e extensões serão apresentadas no próximo capítulo.

Capítulo III

MODELOS NÃO-PARAMÉTRICOS DE ANÁLISE QUANTITATIVA DE EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO: EXTENSÕES E APLICAÇÕES

Este capítulo apresenta algumas extensões e aplicações realizadas com DEA. As extensões estão relacionadas com o FDH (“Free Disposal Hull”), Análise Dinâmica (Janelas), Análise Multicritério e DEA Estocástica. Também serão apresentadas algumas análises das aplicações desta técnica, em diferentes ramos de atividade. Bem como demonstrar-se-a um resumo das aplicações da técnica de DEA em diferentes regiões do mundo nas mais diversas atividades.

3.1 - Extensões de DEA (Data Envelopment Analysis)

As extensões aqui apresentadas estão relacionadas com o relaxamento da condição de convexidade (FDH), análise de progresso tecnológico (Análise de Janelas), abordagem visual interativa utilizando uma função hierarquia de valor (Análise Multicritério) e a diminuição do efeito de erros de dados (DEA Estocástica).

3.1.1 - FDH (“Free Disposal Hull”)

Os modelos de DEA-F, DEA-C e DEA-V apresentados no capítulo anterior, apesar de apresentarem diferentes fronteiras e considerarem diferentes retornos de escala, mantém a hipótese de convexidade. Isto significa que produtores podem estar sendo comparados não só com produtores eficientes, mais também por combinações convexas (ou lineares) de produtores eficientes. Assim sendo um produtor ineficiente pode estar sendo comparado por uma combinação convexa de produtores que não o dominam. Tudo isto pode ser evitado se a condição de convexidade for relaxada.

Existe um modelo de DEA, que trabalha com variáveis retornos de escala e que não considera a condição de convexidade. Este modelo apenas mantém o pressuposto de livre descarte. Ele foi introduzido por Deprins, Simar e Tulkens (1984), que resultou no modelo denominado FDH “Free Disposal Hull”. Pelo fato de sua fronteira de produção ser uma (não convexa) livre disposição de envoltória (“Free Disposal Hull”) dos dados gerados pelo conjunto de produtores, ou seja, é relaxada a condição de convexidade.

O gráfico da figura 3.1 apresenta esta situação. No caso o produtor D é dominado pelos produtores A, B e C.

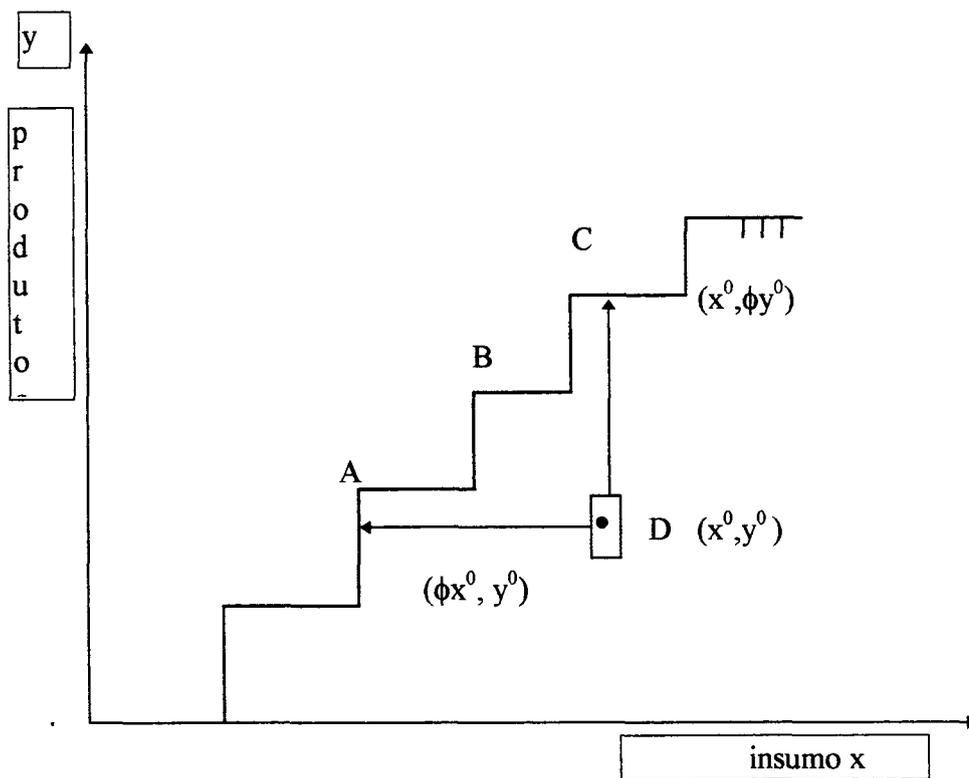


Figura 3.1 - Fronteira apresentada pelo modelo FDH.

Na resolução do problema orientação produto, o modelo FDH identifica somente o produtor C como referência para o produtor D. Pelo fato do produtor C estar utilizando menos insumo e obtendo mais produto. No caso da orientação insumo o produtor A seria a referência para D, pois, produz uma maior quantidade de produto, porém com menor quantidade de insumo.

Pode-se observar que as comparações não são realizadas mais com combinações convexas de produtores, mas agora a referência passa a ser apenas um produtor.

Uma comparação das fronteiras apresentadas, no caso um produto um insumo, pelos métodos DEA-F, DEA-V, DEA-C e FDH, quanto a análise de um conjunto de dados é apresentada no gráfico da figura 3.2. O ponto M que representa uma empresa comparada frente aos diferentes fronteiras dos métodos de análise de eficiência apresentados (todos relativos a insumo). “A distância existente entre a linha pontilhada e a contínua, no intervalo entre a e b, é apenas para efeito de distinção entre as fronteiras”.

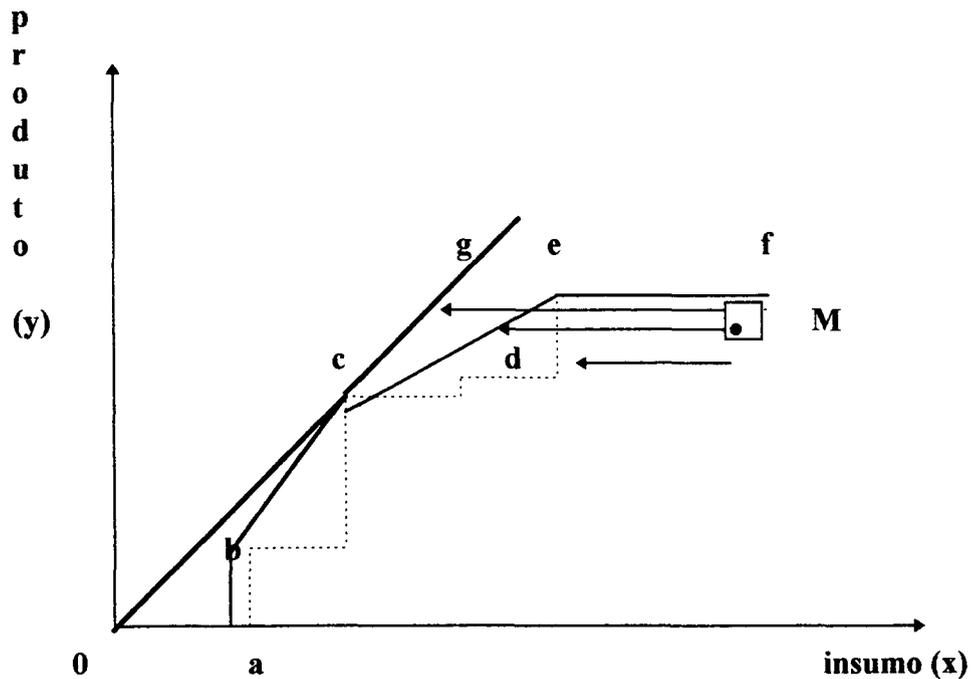


Figura 3.2 - Tipos de fronteiras apresentadas, pelos métodos DEA-F, DEA-V, DEA-C e FDH, quanto a análise de um conjunto de dados.

O segmento de reta 0_g representa a fronteira desenhada pelo modelo DEA-F, o segmento $0_c_e_f$ representam o modelo DEA-V, enquanto $a_b_c_e_f$ é a fronteira apresentada por DEA-C. A linha pontilhada representa o modelo FDH.

Para obter o modelo de FDH de análise multiproduto e multinsumo, basta que utilize-se as equações (1) orientação insumo, ou a (2) orientação produto apresentadas no capítulo anterior. E se considere a restrição (3) ou a (4) e acrescentando-se uma nova restrição (5).

$$\gamma^h \in \{0,1\}, \quad h = 1, \dots, n \quad (5)$$

A adição desta nova restrição implica que apenas um elemento de γ tem o valor da unidade sendo que os outros γ são iguais a zero. Isso significa que a eficiência técnica do produtor que está sendo avaliado passa a ser calculada relativamente para um exato produtor sem domínio. Este é o produtor que está sendo designado pelo único valor de γ que não é zero no problema de envelopamento.

3.1.2 - Análise Dinâmica (Análise de Janela).

Com os modelos de DEA é possível analisar a evolução de eficiência no tempo em unidades organizacionais. Este processo é denominado de Análise de Janelas de (Fried, Lovell e Schmidt (1993)). A ilustração desta abordagem foi realizada por Charnes et al (1985). Nesta abordagem cada unidade organizacional é tratada separadamente, em um determinado de tempo, como se fosse uma unidade distinta. Deste modo, ela é comparada com ela mesma sendo apresentada as mudanças ocorridas em sua eficiência no tempo. O período de tempo pode ser mensal, bimestral, anual, dependendo do tipo de organização e da disponibilidade dos dados.

O processo de troca dos dados é similar ao da média móvel, ou seja, quando entra um novo período em consideração o último é desconsiderado. Uma aplicação prática desta abordagem, para avaliar o desempenho de um fornecedor de uma empresa no tempo, foi realizada por Kleinsorge, Schary e Tonner (1993). Este artigo será apresentado e analisado mais detalhadamente na seção de aplicações deste trabalho.

2.1.3 - Abordagem Visual Interativa de DEA Baseada na Análise Multicritério

Este item do trabalho apresenta o artigo de Belton e Vickers,(1993)que relaciona Análise Multicritério (AMC) e DEA através de uma abordagem interativa visual, visando aprimorar o mensuramento da eficiência. Os autores, através desta abordagem, pretendem integrar a técnica de Análise de Envelopamento de Dados com uma função multiatributo de valor. Eles ainda apresentam os resultados de eficiência através de um sistema de suporte visual interativo. Deste modo, pretendem superar limitações como a difícil interpretação

apresentada pelo modelo da abordagem original de DEA, facilitando, conseqüentemente o entendimento dos usuários desta técnica.

Os autores deste artigo tiveram a intenção de fazer uma combinação entre DEA e MCA para facilitar o dimensionamento de eficiência, devido ao fato de as duas áreas terem muito em comum para eles. Foi realizado também, a implementação desta abordagem integrada através de um sistema visual interativo que visa facilitar a compreensão dos usuários.

O trabalho foi dividido na apresentação do modelo de DEA e, posteriormente serão apresentadas as limitações da aplicação deste modelo, na seção seguinte a sugestão para nova formulação do problema baseado no conceito de uma função multicritério de valor. Por último será realizada a implementação da nova abordagem.

Nesta parte do trabalho os autores descrevem o modelo de DEA, apresentando sua formulação inicial, como um problema de programação fracionária, posteriormente passando para uma formulação dual que visa facilitar a resolução em termos computacionais. Também é apresentado o funcionamento do mesmo.

Quando trata-se de um insumo e um produto a visualização do problema não é difícil de ser obtida, entretanto quando existem muitos insumos e muitos produtos a visualização é difícil de ser realizada, tornando o modelo uma caixa preta.

Nas tentativas de realizar aplicações das técnicas de DEA, profissionais têm se deparado com dificuldades de ordem técnica e de natureza geral.

A possibilidade de comparação de unidades organizacionais é uma grande virtude das técnicas de DEA, entretanto a abordagem é de difícil compreensão por pessoas que não possuam conhecimentos na área. Deste modo gerentes têm que acreditar nos resultados alcançados com a resolução do problema, sem saber o que realmente os resultou.

Notando tal problema os autores propõem uma abordagem que têm como principal objetivo apresentar uma versão do modelo de DEA junto com um tratamento visual interativo, que possa levar em consideração conceitos multidimensionais de produto e insumo. Deste modo superando as dificuldades impostas e facilitando a compreensão dos resultados.

A abordagem sugerida, pelos autores, é baseada em uma simples função hierárquica de valor multicritério a qual insumos e produtos são decompostos. (vide figura 3.3).

EFICIÊNCIA GLOBAL

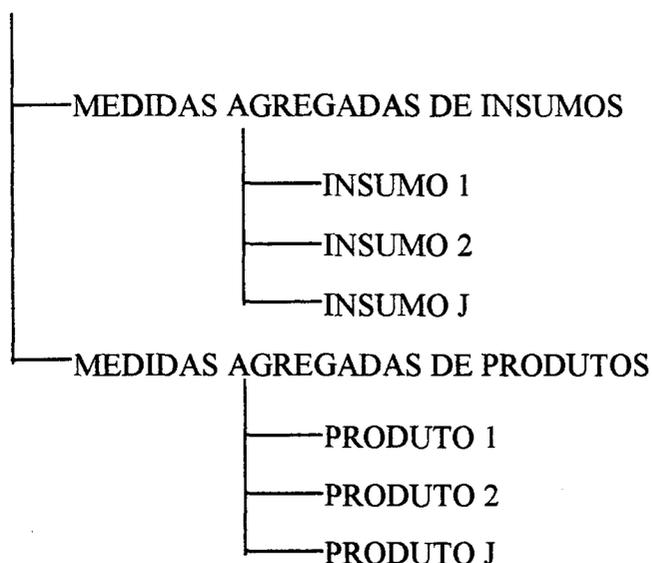


Figura 3.3: Fig. formulação de DEA com hierarquia multiatributo.

Os insumos e produtos são ponderados para dadas medidas agregadas de insumos e produtos.

Tabela 3.1 exemplo ilustrativo de insumos e produtos.

Unidade	Insumos		Produtos	
	1	2	1	2
A	50	100	60	40
B	15	15	20	60
C	100	20	30	20
D	50	30	100	30
E	90	70	70	100

Na análise multicritério os insumos são normalizados tal que a soma dos pesos seja igual a 1, mesmo acontecendo para os produtos. Deve existir um reescalonamento para os insumos e produtos, de modo que estes atinjam um valor máximo de 100, cada um, facilitando assim a agregação. Como apresenta o exemplo da tabela 3.1 de 2 insumos e 2 produtos.

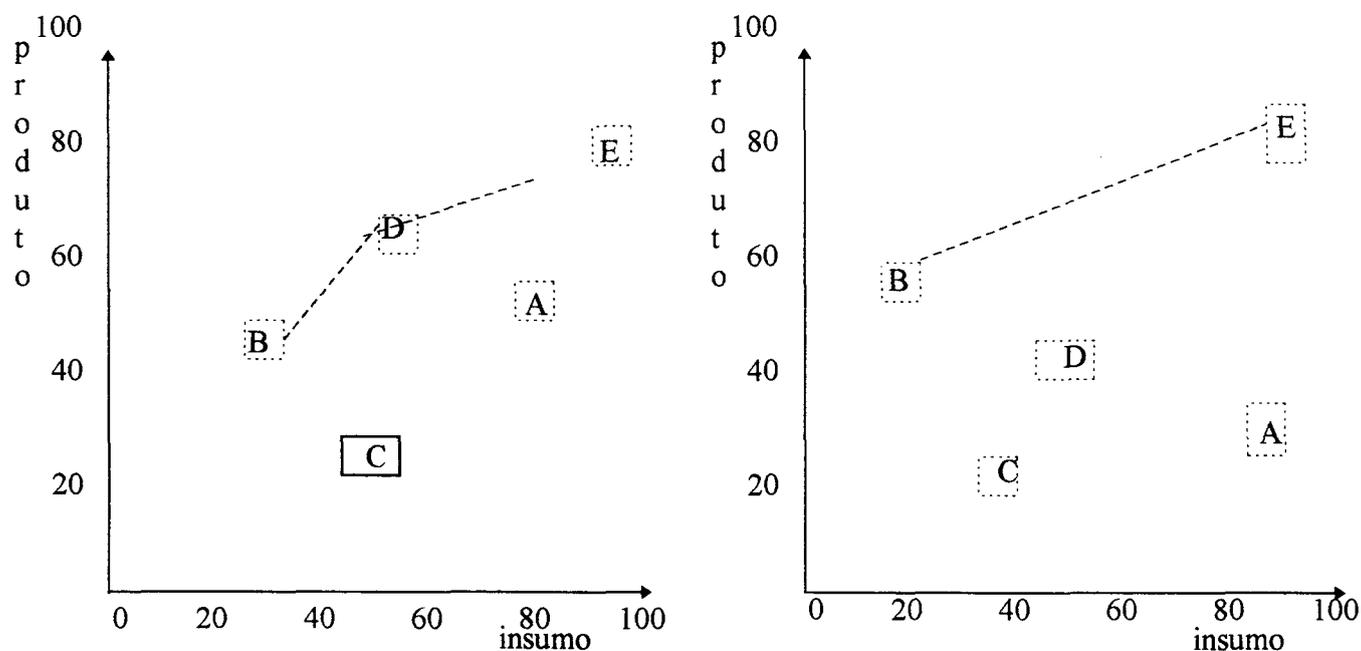


Figura 3.4 - Fronteiras com diferentes pesos.

Pesos	
Insumo 1	0.5
Insumo 2	0.5
Produto 1	0.5
Produto 2	0.5

Pesos	
Insumo 1	0.2
Insumo 2	0.8
Produto 1	0.2
Produto 2	0.8

Para qualquer conjunto de insumos e produtos é possível estabelecer medidas agregadas de insumos com medidas agregadas de produtos para cada unidade de decisão (empresas), como apresenta o gráfico da figura 3.4.

Conseqüentemente, diferentes pesos produzirão diferentes fronteiras. A vantagem sobre a formulação original é que agora a interpretação dos pesos é clara.

A aplicação da abordagem proposta foi realizada na investigação da eficiência relativa de centros de serviços operados pela SSEB (Now Scottish Power). Dezesete centros espalhados no sul da Escócia foram investigados, o insumo considerado foi o quadro de funcionários, e os produtos foram 24 categorias de trabalho posto em prática por cada centro no ano financeiro. Não se trabalhou com dados primários, mas sendo estes agrupados em sete categorias, no caso dos insumos. Os dados foram agregados utilizando os pesos especificados

pele SSEB e posteriormente normalizados de tal modo que o maior valor obtido fosse 100. Conforme a tabela 3.2.

Tabela 3.2 Dados de Performance para Centro de Serviços SSEB.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Insumos																	
Funcionários	48	48	78	68	44	52	52	52	72	84	100	42	56	92	56	46	72
Produtos																	
Defeitos	58	62	100	75	47	60	59	51	63	86	73	26	23	99	34	18	54
	31	67	77	63	62	100	72	51	38	88	78	53	33	62	37	24	87
Permissão de Trab.	51	43	100	70	49	68	52	44	67	53	89	51	37	74	30	25	43
Manutenção	26	23	100	42	35	34	21	33	21	53	88	21	18	57	24	10	29
Op. Checadas	43	26	57	40	25	28	20	23	18	100	56	19	26	98	50	21	73
Subestações	18	23	23	19	23	75	34	48	100	42	42	52	26	45	47	8	38
Linhas Levantadas	13	8	100	8	16	24	13	16	11	0	16	2	11	5	0	0	13

Atribuindo pesos iguais para as sete categorias de insumos a abordagem proposta apresenta os resultados conforme a figura 3.5.

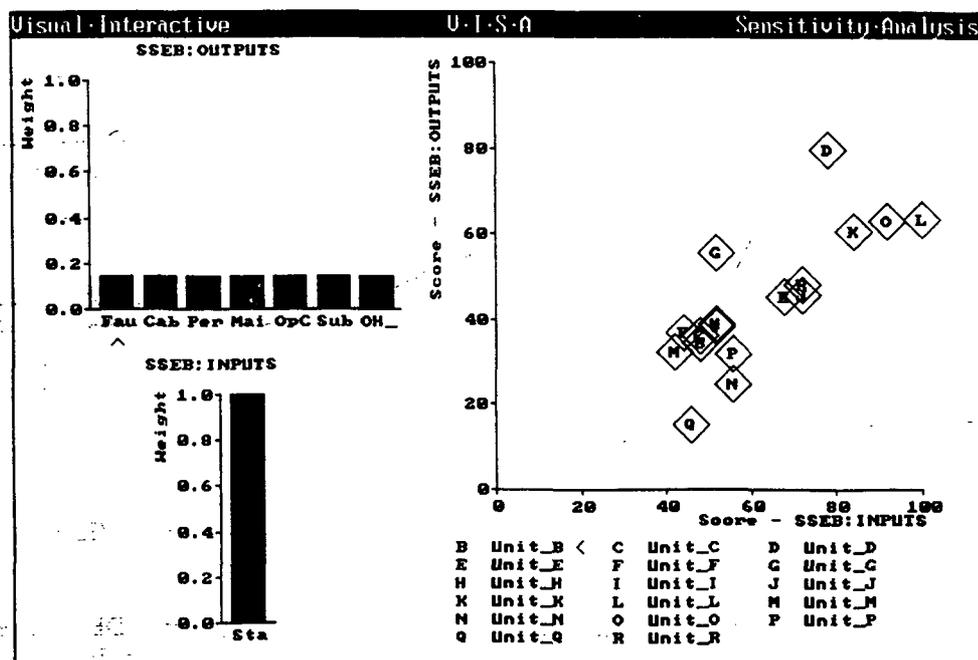


Figura 3.5: Abordagem Visual Interativa

Conseqüentemente se forem determinados pesos diferentes para os diferentes insumos o programa apresentará uma nova fronteira em função destes pesos.

A abordagem visual interativa facilita a compreensão pelos interessados na análise de eficiência, principalmente para os que não possuem conhecimentos a respeito dos métodos de DEA e de Pesquisa Operacional. Porém a abordagem quando trata da determinação dos pesos a serem atribuídos é muito subjetiva utilizando-se apenas uma simples função hierarquia de valor.

Quanto aos resultados pode-se dizer que a abordagem apresenta apenas uma análise visual. Não deixando claro os índices de eficiência ou mesmo as possibilidades de reduções de insumos e acréscimos de produtos necessários ao alcance da eficiência.

Pode-se notar também que em uma análise como realizado por McCarty e Yaisawarng(1992) em escolas, onde o número de unidades analisadas é relativamente maior que o apresentado neste artigo, seria muito difícil a plotagem das unidades, necessária à abordagem visual interativa.

3.1.4 - DEA Estocástica

Todos os modelos de DEA apresentados no segundo capítulo não são estocásticos, o que os torna sensíveis a “outliers” (má coleta de dados, erros de mensuração e condições excepcionais). Recentemente começaram a serem desenvolvidos modelos de DEA estocásticos. DEA estocástica considera os vetores de insumo-produto como sendo variáveis aleatórias. Supondo conhecidos ou estimados os desvios-padrões destes vetores, pode-se entrar com restrições probabilísticas sobre a fronteira de produção. Por exemplo ao invés de exigir que uma restrição do modelo de DEA considere apenas os dados ocorridos passa-se a ser necessário que se considere probabilidade de ocorrência dos dados. Um modelo de DEA estocástica é apresentado por Land, Lovell, e Thore (1988).

Para operacionalizar os modelos de DEA estocástica se faz necessário o conhecimento da variância e covariância entre os insumos e produtos. Isto em geral é difícil de ocorrer o que limita as possibilidades de aplicação de DEA estocástica. Maiores detalhes sobre DEA estocástica são apresentados por Fried, Lovell e Schmidt (1993).

3.2 - Aplicações de DEA

Neste tópico serão analisados alguns artigos de aplicações típicas de DEA. Será apresentado também um resumo com as mais recentes aplicações de análise de eficiência nas mais diversas atividades.

2.1 - Quantificação de Desempenho do Relacionamento Cliente-Fornecedor

Nos últimos anos, existiu uma grande mudança na área de administração da produção com difusão filosofia de produção Just-In-Time (JIT). Esta filosofia de produção exige um novo relacionamento entre Cliente e o Fornecedor, passando a ser interessante que existam poucos ou apenas um fornecedor . O relacionamento Cliente-Fornecedor nesta filosofia é baseado no longo prazo e com a busca de benéficos mútuos. Maiores detalhes são apresentados por Corrêa e Gianesi,(1993).

O advento desta filosofia, juntamente com mudanças existentes nas estruturas industriais, como desregulamentação, fizeram com que muitas empresas privadas optassem por possuírem poucos ou apenas um fornecedor. Desta forma os administradores passaram a ter a tarefa de construir um relacionamento de longo prazo. As operações e a lucratividade entre cliente e fornecedor tornaram-se mais interdependentes. O novo relacionamento exige um acompanhamento contínuo dos fatores tangíveis e intangíveis que afetam a satisfação e o relacionamento, conseqüentemente a competitividade da empresa.

Uma abordagem deste tema foi desenvolvida por Kleinsorge, Schary e Tonner (1993). Estes autores utilizaram a técnica de DEA "Data Envelopment Analysis" para mensurar a performance de um fornecedor selecionado. Foram consideradas não somente as medidas econômicas e financeiras, mas também medidas de satisfação. A seguir será feito um resumo descritivo do trabalho seguido de uma análise crítica.

Os autores consideraram dois tipos de medidas de performance, as tangíveis e as menos tangíveis para a análise. As medidas tangíveis são as tradicionais como custo de um

carregamento, execução dos prazos programados. As medidas menos tangíveis levam em consideração a capacidade de resposta do fornecedor à novas condições, habilidade de comunicação, entre outras.

Devido as mudanças no relacionamento cliente-fornecedor, existentes atividade de transporte na Europa após a desregulamentação na atividade de transporte de carga. E percebendo que o novo momento exige um trabalho em parceria e com compromisso entre as empresas que produzem bens e as empresas que os transportam. Isto acarreta conseqüentemente interdependência em lucratividade e sobrevivência. Os autores desenvolveram o trabalho visando a analisar a eficiência deste relacionamento.

Para demonstrar o uso de DEA no mensuramento cliente-fornecedor, foi utilizado um único transportador da Hewlett Packard (HP) denominado de transportador Alpha para preservar a sua real identidade. Os dados utilizados são dados reais, porém multiplicados por um coeficiente com a finalidade de preservar o sigilo dos mesmos.

Na análise foi utilizado o processo de análise de janela em DEA. Este possibilita a avaliação na mudança de eficiência de uma unidade organizacional ao longo do tempo. O tratamento dos dados é similar ao modelo da média móvel, onde, quando uma nova unidade (mês) entra em consideração a última deixa de ser considerada. A tabela 3.3 apresenta os meses bem como os insumos e produtos utilizados na aplicação do modelo.

A performance é obtida comparando os resultados do transportador com seus próprios resultados, em bases mensais, sobre um período de 18 meses. Deste modo os meses servem como unidades de comparação para obter-se os mais eficientes e os menos eficientes. Para os autores dentre os passos que devem ser seguidos para a obtenção de um bom resultado da análise, a seleção de insumos relevantes e medidas adequadas da produção, se fazem de fundamental importância.

Os produtos foram divididos em tangíveis e menos tangíveis. O número de faturas recebidas sem erro e o número de carregamentos entregues no tempo foram considerados como sendo produtos tangíveis. A experiência e a credibilidade foram considerados como sendo os produtos menos tangíveis, sendo que a experiência é expressa pela totalidade de contratos e ações entre a empresa de transporte e a empresa que necessita de transporte. Os autores utilizaram seis determinantes da qualidade de experiência: “confiabilidade”, “responsabilidade”, “acesso”, “cortesia”, “comunicação” e “entendimento do cliente”.

Tabela 3.3 Dados do transportador Alpha.

Meses	Faturas	Pontuali- dade	Experiên- cia	Credibili- dade	Custo Total	Carregamen- tos
abr 88	90	187	240	90	253	197
maio 88	130	194	210	80	268	198
jun 88	200	220	270	70	259	229
jul 88	100	160	200	70	180	169
agos 88	173	204	160	70	257	212
set 88	170	192	230	80	248	197
out 88	60	194	200	90	272	209
nov 88	145	195	170	60	330	203
dez 88	150	200	180	70	327	208
jan 89	90	171	170	60	330	203
fev 89	100	174	200	80	321	207
mar 89	200	209	210	100	329	234
abr 89	163	165	300	90	281	173
maio 89	170	199	250	80	309	203
jun 89	185	188	250	90	291	193
jul 89	85	168	240	80	334	177
agos 89	130	177	210	70	249	185
set 89	160	167	200	80	216	176

Faturas - numero de faturas recebidas sem erros.

Pontualidade - numero de carregamentos chegados na hora.

Experiência - avaliação recebida considerando experiência determinante da qualidade do serviço.

Credibilidade - avaliação recebida considerando credibilidade determinante da qualidade do serviço.

Custo Total - custo total dos carregamentos dividido por 100.

Carregamentos - numero de carregamentos por mês.

Os fatores de credibilidade estão relacionados com perspectivas futuras de performance, sendo duas as medidas consideradas pelos autores: primeiro um sentido de confiança de que o carregador desempenhará bem suas funções em qualquer ambiente; em segundo lugar é considerado o grau de entendimento, quanto as expectativas futuras do cliente.

Para estas medidas foi atribuída uma escala arbitrária que varia de zero a cinquenta por categoria. No caso de “experiência” foram feitas seis avaliações que variam de zero a cinquenta e no caso do “credibilidade” duas avaliações que também variam de zero a cinquenta. O valor máximo obtido pela “experiência”, conseqüentemente, deveria ser de 300 pontos, e o de “credibilidade” 100. Para melhor qualidade dos dados é fundamental a participação de especialistas da área, o que, neste caso, foi alcançado pelo fato de um dos co-autores do trabalho ser funcionário da HP.

Os insumos levados em consideração na análise, foram: o número de carregamentos e os custo econômicos e financeiros relevantes. Todos estes dados estão apresentados na tabela 3.3

O modelo de DEA-F foi aplicado aos dados da tabela 3.3 de duas maneira: uma só utilizando os insumos intangíveis e a outra combinando os dois insumos (tangíveis e intangíveis). Os resultados de eficiência alcançados, bem como as vezes que cada mês serviu como ponto de referência para os outros meses se encontram na tabela 3.4.

Tabela 3.4- Dados de Eficiência do Carregador Alpha e Facetas Ocorridas.

Meses	Modelo Combinado	Facetas Ocorridas	Modelo Intangível	Facetas Ocorridas
abr 88	0.9969	0	0.9860	0
maio 88	1.0000	4	0.8500	8
jun 88	1.0000	13	0.9455	15
jul 88	1.0000	2	1.0000	0
aug 88	0.9930	0	0.7324	0
set 88	1.0000	13	0.8942	0
out 88	0.9659	0	0.9225	0
nov 88	0.9799	0	0.5681	0
dez 88	0.9809	0	0.6578	0
jan 89	0.8713	0	0.8051	0
fev 89	0.8615	0	0.7607	0
mar 89	0.9255	0	0.8828	0
abr 89	1.0000	12	1.0000	18
maio 89	1.0000	8	0.7830	0
jun 89	1.0000	1	0.9309	0
jul 89	0.9779	0	0.8688	0
agos 89	0.9791	0	0.8054	0
set 89	1.0000	9	1.0000	14

* Faceta é um segmento linear o qual é usado como base de referência, na análise de eficiência. Facetas ocorridas representa o número de vezes que o mês serviu como referência.

Os resultados apresentados pela tabela 3.4 apresentam apenas uma visão geral da eficiência que cada mês apresenta, bem como o número de vezes que cada um serve como referência. Para exemplificar melhor o potencial de análise da técnica de DEA, o autor detalhou a análise mostrando os incrementos necessários nos produtos, bem como a devida redução nos insumos, para que o mês de fevereiro de 1989 se tornasse eficiente. Os resultados estão apresentados na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Análise do mês de Fevereiro de 1989 (utilizando DEA-Produto).

Grau de Eficiência-0.8615; Meses de Faceta: julho 1988, setembro 1988, abril 1989			
Produtos	Valor medido	Folga	Valor se eficiente
Faturas	100	55.62	155.62
Pontualidade	174	0	174
Experiência	200	19.09	219.09
Credibilidade	80	0	80
Insumos			
Custo total	321	15.48	261.06
Carregamentos	207	0	178.33

Como pode-se notar, para que o mês de fevereiro de 1989 tornasse eficiente seria necessário que os produtos faturas e experiência fossem aumentadas. No caso dos produtos o acréscimo seria de 55.62 unidades e da experiência de 19.09 unidades (estes valores são correspondentes as folgas do problema de programação matemática). Não é necessário nenhum acréscimo no caso da credibilidade e da pontualidade, pois, estes já apresentam desempenho satisfatórios. No caso dos insumos, seria necessário que estes fossem diminuídos (multiplicando-os pelo índice de ineficiência). No caso do insumo custo total de este teria que diminuir de 321 unidades para 261,06 unidades ($0.8615 \times 321 - 15.48$) e carregamentos de 207 unidades para 178.33 unidades (0.815×207). Realizados os acréscimos nos produtos e os decréscimos insumos o mês de fevereiro se tornaria eficiente. Análises similares podem ser feitas para todos os meses, sendo importante também observar a causa organizacional do problema da baixa eficiência.

O trabalho desenvolvido por Kleinsorge, Schary e Tonner (1993) pode ser de grande utilidade no monitoramento da performance de um relacionamento entre Cliente e Fornecedor, auxiliando muito a tomada de decisão. Entretanto algumas considerações devem ser feitas, pois, como já comentou-se neste trabalho os modelos de DEA são muito sensíveis a um mau tratamento dos dados e a "outliers". E nesta análise quando se trata da obtenção dos dados para o modelo intangível ou mesmo para o combinado, existe grande probabilidade de ocorrência de obtenção de dados distorcidos, se não houver uma boa metodologia para sua obtenção. Um outro ponto que também poderia ser considerado é quanto ao modelo de DEA que foi aplicado aos dados, que no caso foi o de DEA-F. Não foi feito um tratamento quanto aos rendimentos de escala, que outros modelos, de DEA possibilitam considerar. Também poderia ser interessante comparar resultados com a técnica FDH discutida nas aplicações.

A comparação do transportador Alpha com um transportador similar de outra empresa seria de fundamental importância, pois, permitiria analisar a competitividade da empresa nesta atividade perante ao mercado, o que também não foi realizado no trabalho. Estes pontos podem contribuir para novos trabalhos relacionados ao tema.

3.2.2 - Um Estudo de Eficiência Relativa de Agências Bancárias

Este artigo trata da análise de eficiência de 20 agências bancárias localizadas em Atenas capital da Grécia, utilizando DEA. Ele é fruto da crescente necessidade, em função da integração financeira europeia, de técnicas de auxílio ao gerenciamento.

Os autores Vassiloglou e Giokas(1990) estruturam o trabalho com uma introdução, onde é apresentado a importância do desenvolvimento de tal trabalho. Em seguida é apresentado o modelo de DEA e sua compatibilização com a análise das agências bancárias, posteriormente são especificados os insumos e os produtos, bem como a forma de agregação destes. Os insumos considerados foram as horas de trabalho em cada agência, despesas com fornecedores, metros quadrados de instalações e caixas automáticos. Pelas características do serviço bancário as horas de trabalho é o insumo de maior importância.

Todos estes insumos, como pode-se notar, são insumos controláveis pela gerência. Não foram considerados insumos não controláveis devido ao fato de todas as agências estarem situadas em um ambiente similar (Atenas), segundo os autores.

Os produtos foram medidos em termos de transações processadas. Os autores agruparam 72 transações em 4 categorias, segundo o grau de dificuldade(os produtos não estão especificados no artigo). Este fato é de fundamental importância, pois, segundo os autores é necessário para que o modelo de DEA apresente resultados precisos. Os autores recomendam que o número de unidades analisadas seja pelo menos duas vezes maior que o número de insumos e produtos somados.

Após desenhadas as condições em que se processara a análise, os autores apresentam os resultados. Os índices de eficiência, bem como as agências de referência são os apresentados pela tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Índice de eficiência e referências.

Agência	Índice de Eficiência	Referências
B1	1	
B2	1	
B3	0,92	B1,B2,B7,B13,B20
B4	0,94	B1,B6,B7,B20
B5	0,74	B1,B2,B6,B7,B20
B6	1	
B7	1	
B8	0,87	B1,B2,B6
B9	0,67	B2,B7,B13,B14,B19
B10	1	
B11	0,65	B2,B6,B7,B20
B12	0,89	B2,B7,B14,B20
B13	1	
B14	1	
B15	0,77	B2
B16	0,91	B2,B7,B20
B17	0,84	B1,B2,B14
B18	0,92	B1,B2,B6,B7
B19	1	
B20	1	

Também são apresentados os decréscimos necessários nos insumos para que as agência se tornem eficientes. Como por exemplo a agência B3 pode reduzir os insumos metros quadrados, horas de pessoal, despesas com fornecedores em 8% e o insumo caixas automáticos em 40% sem alterações no nível de produção. Esta análise também é realizada para as demais agências no artigo.

Este artigo traz muitas considerações interessantes, como quando os autores tratam da agregação dos insumos. Entretanto existe uma falta de transparência do modo pelo qual o autor chega ao nível de redução, que deve existir em cada insumo . Por exemplo o índice de eficiência da agência “B3” é de 0.92, conseqüentemente o insumo metros quadrados, bem como os demais devem ser reduzidos em 8%. Porém o insumo terminais deveria ser reduzido segundo o autor em 40%, sem demonstrar de onde vem este valor. As folgas apresentadas pelo problema de programação matemática também não são aqui consideradas, como fizeram Kleinsorge, Schary e Tonner (1993). Este procedimento descrito acima é utilizado pelos autores para a análise de todas as agências.

Quanto a desconsideração de insumos não controláveis, pode ser considerada como uma falha, pois estes certamente influenciam de maneira desigual as agências.

3.2.3 - Reorganização de Distritos Florestais Através da Análise de Eficiência.

Este trabalho trata da aplicação de DEA na organização de distritos florestais de Taiwan visando aumentar a eficiência do aproveitamento destes.

Segundos os autores Kao e Yang(1992) Taiwan possui 13 distritos florestais, sendo que a Agência Nacional de Florestas de Taiwan considera 6 destes ineficientes. Esta agência e vem desenvolvendo estudos para reorganizar os 13 distritos em 8, visando melhorar o uso dos insumos e conseqüentemente produzir melhores resultados (extração de madeira, lazer) . São desenvolvidas três propostas para tal reorganização, compostas de combinações entre os distritos.

Os autores aplicam DEA primeiro para analisar a eficiência dos treze distritos florestais e posteriormente, para comparar as três propostas alternativas de reorganização. Os insumos considerados na análise de DEA, foram o orçamento, estoque inicial de madeira, numero de trabalhadores e terra. Os produtos são a extração de madeira, conservação dos solos e recreação. O resultado da comparação dos treze distritos com a utilização de DEA convergem com os apresentados pela Agência Nacional de Florestas de Taiwan. Os autores Chegaram aos mesmos 6 distritos florestais ineficientes. Quanto a análise das três propostas de reorganização os resultados de DEA apresentam a alternativa 2 como sendo a melhor, entretanto ainda não existe opinião formada pela Agência Nacional de Florestas de Taiwan no sentido de qual seja a melhor alternativa.

A aplicação de DEA na reorganização dos distritos florestais de Taiwan, contribui para demonstrar o grande potencial de auxílio ao gerenciamento que estas técnicas proporcionam. Porém os autores consideram na análise os ganhos de escala como constantes, o que pode não ocorrer, principalmente quando se trata da extração de madeira.

Seria interessante realizar, após detectada a proposta de reorganização eficiente, o detalhamento da análise desta, apresentado as possíveis reduções de insumos e acréscimos na produção, para os novos distritos. Isto não foi realizado no trabalho.

3.2.4 - Resumo das Aplicações das Técnicas de Análise de Eficiência.

Este tópico têm como objetivo citar algumas das principais aplicações das técnicas de análise de eficiência. Para isso, apresenta-se a tabela 3.7 que foi retirada do livro de Fried, Lovell e Schmidt (1993).

Tabela 3.7 - Principais aplicações da técnicas de análise de eficiência.

Aplicações/países	Autores
Unidades de manutenção de Força Aérea.	
Israel	Roll, Golany, and Seroussy(1989)
Estados Unidos	Charnes, Clark, Cooper and Golany (1985)
	Bowlin (1987)
Agências Bancárias	
Canada	Parkan (1987)
Grécia	Vassiloglou and Giokas (1990)
Normandia	Berg, Forsund and Jansen (1991a,b)
Estados Unidos	Sherman and Gold (1985)
Tribunais	
Belgica	Jamar and Tulkens (1990)
Educação Primária e Secundária	
Reino Unido	Jesson, Mayston, and Smith(1987)
Estados Unidos	Bessent, Kennington and Reagan(1982)
	Charnes, Cooper and Rhodes (1981)

continua

	Lovell, Walters and Wood (1990)
	McCarty and Yaisawarng (1990,1992)
	Ray (1991)
Educação Superior	
Austrália	Cameron (1989)
Canada	Jenkins (1991)
Estados Unidos	Ahn, Arnold, Charnes, and Cooper (1989)
	Ahn, Charnes, and Cooper (1988)
Comida-Rápida	
Estados Unidos	Banker and Morey (1986)
Clinicas de Saúde	
Estados Unidos	Huang and McLaughlin (1989)
Manutenção de Estradas	
Canada	Cook, Kazakov, and Roll (1989)
Hospitais	
Estados Unidos	Banker, Das, and Datar (1989)
	Grosskopf and Valdmanis (1987)
	Sexton et al. (1989)
Unidades de Recrutamento Militar	
Estados Unidos	Charnes, et al. (1985)
Administração Municipal	
China	Charnes, Cooper, and Li (1989)
Estados Unidos	Ali, Lerme, and Nakosteen (1992)
Departamentos de Impostos	
Reino Unido	Dyson and Thanassoulis (1988)
	Thanassoulis, Dyson, and Foster (1987)
Transporte Urbano	
Republica da China	Chang and kao (1992)

A tabela 3.7 dá um exemplo das mais diversas atividades que estão sendo pesquisadas com as técnicas de análise de eficiência, porém é bom lembrar que estas atividades não esgotam de forma alguma possibilidades de aplicações das técnicas.

Capítulo IV

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1 - Conclusões

Após uma intensa pesquisa bibliográfica, cercada de dificuldades, pois não existia literatura no Brasil sobre os modelos de DEA para a análise de eficiência, pode-se obter algumas conclusões sobre os modelos não paramétricos.

Na análise geral realizada no trabalho, notou-se que os modelos de DEA, apesar das deficiências apresentadas, como sensibilidade de erros de coleta de dados, contribuem para o desenvolvimento da análise da microeconomia, pois possibilitam realizar o mensuramento da eficiência produtiva de unidades organizacionais similares (mesmo em casos onde haja dificuldade de obtenção de preços como: escolas, hospitais, bancos).

Os modelos possibilitam a comparação em um sentido multidimensional na capacidade com que cada unidade organizacional transforma seus insumos em produtos. Também informam alterações que devem ser realizadas no nível de utilização de insumos e de produtos fabricados, para tornar unidades ineficientes em eficientes. Também existe a possibilidade de se avaliar as mudanças de produtividade ou tecnológicas, ocorridas ao longo do tempo.

Nota-se que os estudos realizados no Brasil, relativos ao mensuramento de eficiência produtiva, por exemplo, Villela e Silva (1994), apresentam deficiências quanto as metodologias utilizadas para tal fim. Os próprios autores, que desenvolvem tais trabalhos, reconhecem estas limitações. “...embora constitua praticamente uma unanimidade, a busca de maior eficiência produtiva esbarra em dificuldades metodológicas associadas à própria forma de mensurar aqueles ganhos.”

Tendo estas características sido apresentadas pelas técnicas de DEA na quantificação da eficiência produtiva, e as deficiências metodológicas existentes, conclui-se que estas técnicas podem ser úteis no desenvolvimento de trabalhos relativos ao tema, principalmente em

países como o Brasil, onde existe uma carência muito grande de instrumentos de auxílio a gerência e ao planejamento.

4.2 - Recomendações

Após realizado o estudo do funcionamento dos modelos de DEA, notou-se que estes podem ser úteis para a determinação do nível de produtividade, no qual se encontram empresas similares de diferentes países, facilitando assim, a adoção de políticas pelos governos frente a uma globalização de mercados, como o MERCOSUL.

Seria interessante também o desenvolvimento de trabalhos que relacionassem modelos de caráter mais qualitativos, onde os resultados são mais gerais, com as técnicas de programação matemática, sendo que estas apresentam resultados mais detalhados.

Outra possibilidade para o desenvolvimento dos modelos seria incorporar variáveis qualitativas nos modelos de DEA.

A integração de DEA com a análise de qualidade também é uma proposta de trabalho interessante a ser desenvolvida.

O tratamento metodológico nos modelos de DEA, para produtos indesejáveis (poluentes) que surgem no processo produtivo. Também precisa ser estudado.

Referências Bibliográficas

- Ahn, T., V. Arnold, A. Charnes, e W. W. Cooper (1989),** “DEA and Ratio Efficiency Analyses for Public Institutions of Higher Learning in Texas,” in J. L. Chan, ed., *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, Vol. 5. Greenwich, Conn.: JAI Press.
- Ahn, T., A. Charnes, e W. W. Cooper (1988),** “Some Statistical and DEA Evaluations of Relative Efficiencies of Public and Private Institutions of Higher Learning,” *Socio-Economic Planning Sciences* 22(6): 259-269.
- Ali, A. I., C. S. Lerne, e R. A. Nakosteen (1992),** “Assessment of Intergovernmental Revenue Transfers,” Working Paper, School of Management, University of Massachusetts, Amherst, Mass.
- Albuquerque, M. C. C. (1986)** “Microeconomia,” São Paulo: McGraw-Hill.
- Banker, R., A. Charnes e W. Cooper.(1984).** “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis.” *Management Science* 30, p. 1078-1092.
- Belton, V., e S. P. Vickers,(1993),** - “Desmystifying DEA-A Visual Interactive Approach Based on Multicriteria Analysis” -*Journal of the Operational Research Society*-Vol.44,no.9 - p.893-896.
- Boussofiene, A. , R.G. Dyson e E. Thanassoulis, (1991)** - “Applied Data Envelopment Analysis”- *European Journal of Operations Research*, Vol 52, p.1-15.
- Bowlin, W. F. (1987),** “Evaluating the Efficiency of U.S. Air Force Real-Property Maintenance Activities,” *Journal of the Operational Research Society* 38 (2): 127-135.
- Berg, S. A., F. R. Forsund, e E.S. Jansen (1991),** “Technical Efficiency of Norwegian Banks: The Non-Parametric Approach to Efficiency Measurement,” *Journal of Productivity Analysis*, 2(2) (july): 127-142.
- Bessent, A., W. Bessent, J. Kennington, e B. Reagan (1982),** “An Application of Mathematical Programming to Asses Productivity in Houston Independent School District,” *Management Science* 28 (12) (December): 1355-1367.

- Brandley, Stephen P., Hax , Arnolde C., e Magnanh, Thomas L., (1977) “Applied Mathematical Programming,”** Addison-Wesley Publishing Company.
- Cameron, B. (1989), “Higher Education Efficiency Measurement Using DEA,”** Working Paper, Darling Downs Institute of Advanced Education, Toowoomba, Australia.
- Chang, K-P, e P-H Kao (1992), “The Realtive Efficiency of Public versus Private Municipal Bus Firms: An Application of Data Envelopment Analysis,”** Journal of Productivity Analysis 3 (1/2), junho, 67-84.
- Charnes, A.,W. Cooper e E. Rhodes (1981), “Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through,”** Management Science 27(6) (June): 668-697.
- Charnes, A., W. W. Cooper, M. Dieck-Assad, B. Golany, and D. E. Wiggins (1985), “Efficiency Analysis of Medical Care Resources in the U.S. Army Health Services Command,”** Research Report CCS 516, Center for Cybernetic Studies, University of Texas, Austin, Tex.
- Charnes, A., W. W. Cooper, D. Divine, G. A. Klopp, and J. Stutz (1985), “An Application of Data Envelopment Analysis to U.S. Army Recruitment Districts,”** Research Report CCS 436, Center for Cybernetic Studies, University of Texas, Austin, Tex.
- Charnes, A.,W. Cooper e E. Rhodes.(1978).“Measuring the Efficiency of Decision Making Units.”** European Journal of Operations Reseach 2 (6), p. 429-444.
- Cook, W. D., A. Kazakov, e Y. Roll (1989), “On the Measurement and Monitoring of Relative Efficiency of Highway Maintenance Patrols,”** in: Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin e L. M. Seiford, eds., Data Envelopment Analysis: Theory, Method and Process. IC Management and Management Science Series. New York: Quorum Books.
- Corrêa, Henrique L., Irineu G. N. Giansesi,(1993). “Just in time, MRP II e OPT : um enfoque estratégico,”** - São Paulo: Atlas.
- Deprinis, D., L Simar e H. Tulkens (1984), “Measuring Labor-Efficiency in Post Offices”,** in: M. Marchand, P. Pestieau, and H. Tulkens, eds., The Performance of Public Enterprises: Concepts e Mensuraments. Amsterdam; North-Holland.

- Dyson, R. G., e E. Thanassoulis (1988),** “Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis,” *Journal of the Operational Research Society* 39 (6): 563-576.
- Ehrlich, Pierre Jaques (1988)** “Pesquisa Operacional: Curso Introductório,” São Paulo, Atlas.
- Farrel, M. J. (1957).** “The Measurement of Productive Efficiency” *Journal of the Royal Statistical Society, Series A,* 120, part 3, p. 253-281.
- Fried, Harold O., C.A. Knox Lovell, Shelton S. Schmidt, (1993)** “The Measurement of Productive Efficiency” - Oxford University Press. ISBN 0-19-507218-9.
- Galbraith, John Kenneth, (1985)** “O Novo Estado Industrial” São Paulo: Nova Cultural (Os Economistas) 2^a ed.
- Gazeta Mercantil, 04 de agosto de 1994, p 24.**
- Grosskopf, S., e V. Valdmanis (1987)** “Measuring Hospital Performance: A Non-parametric Approach,” *Journal of Health Economics* 6: 89-107.
- Huang, L. Y-G, e C. P. McLaughlin (1989),** “Relative Efficiency in Rural Primary Health Care: An Application of Data Envelopment Analysis,” *Health Services Research* 24(2) (june): 143-158.
- Jamar, M. A., e H. Tulkens (1990),** “Mesure de l’efficacite de l’activite des tribunaux et evaluation de l’arrie judiciare,” Working Paper No. 90/1, CORE, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Jenkins, L. (1991),** “Using Data Envelopment Analysis to Evaluate the Relative Efficiency of Academic Departments,” Working paper, Department of Engineering Management, Royal Military College, Kingston, Ontario, Canada.
- Kao, Chiang, e Y. C. Yang, (1992),** “Reorganization of forest districts via efficiency measurement,” - *European Journal of Operations Research* -Vol. 58, p. 356-362.
- Kleinsorge, Ilene K., Philip B. Schary, e Ray D. Tanner (1993)** “Data Envelopment Analysis for Monitoring Customer-Supplier Relationships,” in: *Anais International Federation of Operational Research Societies, Lisboa.*

- Koopmans, T. C.** (1951), "An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities," in T. C. Koopmans, ed., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Land, K. C., C. A. K. Lovell, and S. Thore** (1988), "Change-Constrained Efficiency Analysis," Working Paper, Department of Economics, University of North Carolina, Chapel Hill, N.C.
- Lanzer, E. Augusto**, (1988) "Programação Linear: Conceitos e Aplicações", Rio de Janeiro, IPEA/INPES.
- Lovell, C. A. K., L. C. Walters, e L. L. Wood** (1990), "Stratified Models of Education Production Using DEA and Regression Analysis," Working Paper No. 90-5, Department of Economics, University of North Carolina, Chapel Hill, N. C. in: Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin, and L. M. Seiford, eds., *Data Envelopment Analysis: Theory, Method and Process*. IC Management and Management Science Series. New York: Quorum Books.
- Mattuella, Juvir L., Jalme E. Fenstersefer, Edgar A. Lanzer**, (1994). "Concorrência e Vantagem Competitiva," - Documento para Estudo, N° 07, PPGA, UFRGS.
- Mccarty, T. A., e S. Yaisawarng** (1992), "Technical Efficiency in New Jersey School Districts," in: Fried, Harold O., C.A. Knox Lovell, Shelton S. Schmidt, (1993) "The Measurement of Productive Efficiency" - Oxford University Press. ISBN 0-19-507218-9.
- Niccol, Robert** (1985) "Microeconomia," São Paulo, Atlas.
- Paris, Quirino**, (1988) "An Economic Interpretation of Linear Programming," Iowa State University Press, Ames.
- Pindyck, Robert S., Daniel L. Rubinfeld** (1994) "Microeconomia," São Paulo, Makron Books.
- Pinheiro, A.C.** (1992) - "Technological Progress and Diffusion: Decomposing Total Factor Productivity Growth in Brazilian Manufacturing,"-Texto para Discussão n.256- IPEA - 40 p.
- Ray, S.C.** (1991) - "Resource Use in Public Schools: a Study of Connecticut data" - *Management Science*, 37 - p.1620-1628.

- Roll, Y., B. Golany, e D. Seroussy (1989),** “Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the Israeli Air Force,” *European Journal of Operational Research* 43 (2), novembro: 136-142.
- Salvatore, Dominick (1984)** “Microeconomia,” São Paulo, McGraw-Hill, 2ª ed.
- Seiford, Lawrence M. (1988)** “A Bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-1986)”. Working Paper, University of Massachusetts.
- Seiford, Lawrence M. (1990)** “A Bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-1990)”. Version 5.0. Technical report, University of Massachusetts.
- Sexton, T. R., A. M. Leiken, A. H. Nolan, S. Liss, A. Hogan, e R. H. Silkman, (1989),** “Evaluating Managerial Efficiency of Veterans Administration Medical Centers Using Data Envelopment Analysis,” *Medical Care* 27(12), dezembro: 1175-1188.
- Sherman, H. D., e F. Gold (1985),** “Branch Bank Operating Efficiency: Evaluation with Data Envelopment Analysis,” *Journal of Banking and Finance* 9(2), junho: 297-315.
- Smith, Adam, (1984).** “A Riqueza das Nações”. São Paulo: Nova Cultural (Os economistas) 2ª ed.
- Thanassoulis E. (1993)** “A Comparison of Regression Analysis and Data Envelopment Analysis as Alternative Methods for Performance Assessments,” *European Journal of Operational Research* -Vol. 44, Nº 11, p. 1129-1144.
- Thanassoulis, E., R. G. Dyson, e M. J. Foster (1987)** “Relative Efficiency Assessments Using Data Envelopment Analysis: An Application to Data on Rates Departments,” *Journal of the Operational Research*
- Tisdell, Clement Allan (1978)** “Microeconomia: A Teoria da Alocação Econômica,” São Paulo, Atlas.
- Tulkens, H. (1993).** “On FDH Efficiency Analysis: Some Methodological Issues and Applications to Retail Banking, Courts, and Urban Transit.”-*The Journal of Productivity Analysis*, 4, p. 183-210.
- Varian, Hal R. (1994).** “Microeconomia: princípios básicos,” Rio de Janeiro: Campus.

- Vassiloglou, M., e D. Giokas (1990),** “A Study of the Relative Efficiency of Bank Branches: An Application of Data Envelopment Analysis,” Journal of the Operational Research Society, Vol. 41, N° 7, p 591-597.
- Villela, A., Ricardo S. (1994).** “Ganhos de Produtividade Aspectos Conceituais e Implicações Econômicas,” Revista do BNDES, Rio de Janeiro. Vol. 1, N° 2, p 77-98.
- Watson, Donald S. , Mary A. Holman, (1985).** “Microeconomia,” São Paulo, Saraiva.