

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LEONARDO RAFAELI**

**A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS COMO FERRAMENTA PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO RELATIVO**

**Porto Alegre**

**2009**

**Leonardo Rafaeli**

**A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS COMO FERRAMENTA PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO RELATIVO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Professor Cláudio José Müller, Dr.

Porto Alegre

**2009**

**Leonardo Rafaeli**

**A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS COMO FERRAMENTA PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO RELATIVO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Cláudio José Müller, Dr.**

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.***

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Professor Francisco José Kliemann Neto, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Professora Giovana Savitri Pasa, Dr<sup>a</sup>. (PPGEP/UFRGS)

Professor Ricardo Augusto Cassel, Dr. (PPG Eng. de Produção e Sistemas/UNISINOS)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho como gratidão aos meus pais, por sempre terem acreditado na importância de uma educação de qualidade e por estarem sempre ao meu lado para me incentivar a trilhar meu próprio caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, por fornecer o suporte necessário à execução desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora, pelas suas contribuições que permitiram clarificar alguns aspectos do trabalho.

Aos professores desta universidade, em especial aos do seu Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus colegas de aula, provenientes de diversos cursos de pós-graduação, pelas discussões realizadas e que constituíram valiosos momentos de aprendizado.

Aos colegas do Laboratório de Otimização de Produtos e Processos – LOPP, pela convivência nesses dois anos e pela oportunidade de, dentro ou fora das salas de aula, discutir uma variedade substancial de temas, complementando assim a minha formação.

Às demais pessoas que, dia após dia, também ajudam a fazer desta universidade um centro de reconhecida qualidade em ensino e pesquisa.

Aos meus amigos, de longa data ou que conheci há menos tempo, inclusive no próprio LOPP, pelo apoio e incentivo, expressos de diversos modos, ao longo desta jornada.

À minha família, por acreditar nos meus objetivos.

Aos meus pais, por sempre terem acreditado no papel exercido pela educação e por terem me transmitido os valores que se converteram na base da minha formação, estando continuamente ao meu lado para me incentivar a seguir sempre adiante.

*“Engenharia não é meramente saber e ser instruído, tal qual uma enciclopédia ambulante; engenharia não é meramente análise; engenharia não é meramente possuir a capacidade de encontrar soluções elegantes para problemas de engenharia inexistentes; engenharia é praticar a arte de forçar, organizadamente, a mudança tecnológica... Engenheiros operam na interface entre a ciência e a sociedade.”*  
**Gordon Stanley Brown**, ex-decano da Escola de Engenharia do MIT

*“O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existência. Não há o que fazer, a não ser surpreender-se, ao se contemplar os mistérios da eternidade, da vida, da maravilhosa estrutura da realidade. Tentar simplesmente compreender um pouco desse mistério a cada dia é o bastante. Nunca perca uma curiosidade.”*  
**Albert Einstein**, físico alemão

*“Mentes grandes discutem idéias;  
mentes medianas discutem eventos;  
mentes pequenas discutem pessoas.”*  
**Blaise Pascal**, filósofo e matemático francês

## RESUMO

Em um ambiente caracterizado pela elevação dos níveis de competitividade e surgimento de demandas mais complexas para a manutenção das instituições, cresce a consciência de que as abordagens convencionais para o tratamento da avaliação de desempenho não são mais suficientes. O cenário atual requer que se lance mão de ferramentas capazes de tratar essa questão com a devida atenção, utilizando, por exemplo, análises multidimensionais e referenciamento de unidades eficientes através do estabelecimento de *benchmarkings*. Este trabalho procura chamar a atenção da comunidade acadêmica para uma técnica capaz de auxiliar na obtenção de resultados satisfatórios para essa questão: a Análise Envoltória de Dados, ou DEA, disseminando-a como técnica a ser utilizada na realização de estudos que objetivem verificar a eficiência relativa das unidades sob análise através da proposição de uma sistemática de apoio à sua aplicação. Partindo-se de uma revisão que busca elucidar aspectos a respeito da importância de despendem-se esforços com o estabelecimento de um conjunto de indicadores de desempenho adequado àquilo que, de fato, precisa ser medido, chega-se a um breve apanhado a respeito das principais técnicas de análise multicriterial utilizadas na avaliação de desempenho, com destaque para o Método de Análise Hierárquica – AHP – e a DEA. Especificamente quanto à DEA, foco deste trabalho, são abordadas, além dos modelos tradicionais que consideram retornos constantes e variáveis à escala de produção, respectivamente CCR e BCC, também algumas evoluções sobre os mesmos, considerando a atribuição de restrições aos pesos das variáveis, como no *cone-ratio* DEA, e a eliminação do eventual empate registrado entre unidades consideradas eficientes, caso do *cross-efficiency* e do *super-efficiency* DEA. Em seguida, procede-se à elaboração da sistemática para a utilização da DEA, núcleo deste trabalho, a qual consiste numa seqüência de passos a ser seguida com o intuito de viabilizar a aplicação da análise envoltória de dados em situações de naturezas distintas. A aplicação da sistemática se dá através do estudo de dois casos. No primeiro, tendo por objetivo sugerir uma nova forma de avaliar o desempenho dos países do globo tendo em vista o seu grau de sustentabilidade, 76 nações são avaliadas segundo as perspectivas social, econômica e ambiental, resultando na proposição de um indicador consolidado, o Grau de Sustentabilidade Nacional, ou GSN. No caso subsequente, ao estudar-se as companhias de transporte aéreo de passageiros, objetiva-se identificar aquelas operacionalmente mais eficientes de acordo com seu porte de operação, resultando na identificação de uma certa influência quanto à origem geográfica das companhias sobre o desempenho apresentado, embora não se tenham identificado indícios de que afiliação a uma das grandes alianças globais também cause alguma influência no resultado. As aplicações conduzidas neste trabalho evidenciam a potencialidade de uso da DEA como ferramenta para a avaliação do desempenho sob uma perspectiva multicriterial em cenários distintos.

**Palavras-chave:** avaliação de desempenho, análise multicriterial, DEA, sustentabilidade.

## ABSTRACT

In an environment characterized by the raise in competitiveness levels and the emergence of more complex demands to deal with current issues, people get more conscious about the insufficiency of ordinary approaches for performance appraisal. The current scenery demands analysts to use a set of tools that are able to handle this issue with the required attention, for example, using multidimensional analysis and benchmarking efficient units. This work intends to call the academic community's attention to a technique able to assist the attaining of satisfactory results for this issue: the Data Envelopment Analysis, DEA, disseminating it as a technique to be used when conducting studies aiming at verifying the efficiency of units, through the proposal of a systematic to assist its implementation. Starting from a literature review that brings some light to aspects concerning the importance of establishing a set of performance indicators suitable for what, in fact, is in need of measurement, a brief summary of the main multicriteria techniques usually used for performance assessment is made, allowing more space for the discussion over the Analytic Hierarchy Process – AHP – and DEA. Specifically about DEA, focus of this dissertation, besides the traditional models that consider constant and variable returns to scale, respectively CCR and BCC, some extensions are also studied, allowing for weight restrictions, like in cone-ratio DEA, and the break of eventual matches registered among efficient units, like in cross-efficiency and super-efficiency DEA. Next, in the core of this work, a systematic for DEA implementation is structured, consisting on a sequence of steps to be followed in order to make the data envelopment analysis application feasible in distinct situations. The practical application of the suggested systematic is accomplished through the study of two cases. In the first one, with the objective of proposing a new way of assessing the performance of countries in their search for the sustainable growth, 76 nations are evaluated according to their social, economic and environmental perspectives, resulting in the proposal of a consolidated indicator: the National Sustainability Factor, or GSN. On the subsequent case, aiming at studying passenger transporting air companies, the objective is to identify those companies which are operationally more efficient according to their size, resulting in the identification of a certain influence of their geographic base location over the performance shown, although no evidence has been found that the affiliation to one of the major global alliances may also cause any kind of influence in the results. The applications conducted in this work evidence the potential for DEA to be used as a performance assessment tool under a multicriteria perspective in distinct sceneries.

**Keywords:** performance assessment, multicriteria analysis, DEA, sustainability.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia para seleção de um sistema de manufatura .....	39
Figura 2: A escala fundamental de Saaty .....	40
Figura 3: Representação da fronteira de eficiência .....	50
Figura 4: Exemplos de aplicações recentes da Análise Envoltória de Dados .....	54
Figura 5: Fronteiras CRS (CCR) e VRS (BCC).....	62
Figura 6: Matriz de eficiências cruzadas para a DEA com seis DMUs .....	68
Figura 7: Principal característica dos modelos DEA considerados.....	73
Figura 8: Sistemática proposta para aplicação da técnica DEA .....	76
Figura 9: Indicadores de sustentabilidade inicialmente considerados para coleta de dados ....	91
Figura 10: Especificação das variáveis consideradas no estudo de sustentabilidade .....	98
Figura 11: Priorização das variáveis a ser utilizada pelo CR-DEA.....	103
Figura 12: Comparação do GSN com outros indicadores utilizados internacionalmente.....	111
Figura 13: Classificação das companhias aéreas consideradas de acordo com o porte de operação .....	123
Figura 14: Hierarquia proposta para a execução do AHP .....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de comparação entre pares de indicadores.....	40
Tabela 2: Determinação do vetor de priorização de indicadores.....	40
Tabela 3: Índice randômico de consistência.....	42
Tabela 4: Análise de correlação para as variáveis estudadas .....	94
Tabela 5: Base de dados utilizada para o estudo de sustentabilidade.....	95
Tabela 6: Demonstração da representatividade da amostra considerada no estudo .....	97
Tabela 7: Valores de eficiência nacional para a perspectiva da saúde .....	100
Tabela 8: Aplicação do modelo CCR à amostra em relação à perspectiva social.....	102
Tabela 9: Aplicação do CR-DEA às três perspectivas consideradas na análise de sustentabilidade.....	105
Tabela 10: Resultados do desempate entre as unidades eficientes em cada perspectiva segundo a SE-CR-DEA.....	106
Tabela 11: Apresentação dos resultados obtidos para o GSN e para outros índices mundialmente reconhecidos .....	109
Tabela 12: Pesquisa sobre utilização de indicadores operacionais por companhias aéreas ...	117
Tabela 13: Análise de correlação para empresas de grande porte.....	124
Tabela 14: Análise de correlação para empresas de porte médio.....	124
Tabela 15: Análise de correlação para empresas de pequeno porte .....	124
Tabela 16: Resultado da aplicação do CCR e BCC à amostra estudada .....	126
Tabela 17: Resultado da aplicação da CE-DEA à amostra estudada .....	127
Tabela 18: Recursos necessários para aumentar FRT .....	129
Tabela 19: Recursos necessários para aumentar WLF .....	129
Tabela 20: Recursos necessários para aumentar RPK.....	129
Tabela 21: Recursos necessários para aumentar PLF.....	129
Tabela 22: Produtos melhorados pelo uso de FUN.....	130
Tabela 23: Produtos melhorados pelo uso de FRO .....	130
Tabela 24: Produtos melhorados pelo uso de HRS .....	130
Tabela 25: Resultados da introdução de restrições aos pesos na análise DEA das unidades amostradas .....	132
Tabela 26: Resultados da aplicação da SE-DEA às companhias eficientes.....	133
Tabela 27: SE-DEA das empresas de porte médio avaliadas com restrição aos pesos.....	134
Tabela 28: SE-DEA das empresas de grande porte avaliadas com restrição aos pesos .....	135

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 TEMA E OBJETIVOS .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
1.3 MÉTODO.....	17
1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	21
2.1 IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	22
2.2 ESTRUTURAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	23
2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NO CONTEXTO ESTRATÉGICO.....	26
2.4 O <i>BENCHMARKING</i> COMO FERRAMENTA DE GESTÃO .....	28
2.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTICRITERIAL COMO APOIO À COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO .....	30
2.5.1 Analytic Hierarchy Process - AHP .....	34
2.5.2 Data Envelopment Analysis - DEA.....	47
2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	73
3 SISTEMÁTICA PROPOSTA .....	75
3.1 ETAPA PRELIMINAR.....	75
3.2 ETAPA APLICADA .....	77
3.3 ETAPA DE CONTROLE.....	78
4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	80
4.1 ESTUDO DE SUSTENTABILIDADE COM BASE EM TÉCNICAS DEA.....	81
4.1.1 Etapa Preliminar .....	81
4.1.2 Etapa Aplicada.....	89

4.1.3 Etapa de Controle .....	104
4.2 AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA DE TRANSPORTE AÉREO .....	112
4.2.1 Etapa Preliminar .....	112
4.2.2 Etapa Aplicada.....	120
4.2.3 Etapa de Controle .....	131
4.3 DISCUSSÃO .....	136
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	143
5.1 CONCLUSÕES .....	143
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	144
REFERÊNCIAS .....	146
APÊNDICE A .....	156
APÊNDICE B.....	163

## 1 INTRODUÇÃO

Garantir a sobrevivência de uma organização empresarial no atual cenário de integração global de mercados, no qual as corporações sofrem pressões crescentes por produtos e serviços mais baratos e eficientes, é a obrigação de qualquer equipe gerencial. Promover o crescimento sustentado dessas organizações, atentando adicionalmente para elementos como a responsabilidade social e ambiental intrínseca a cada ação desenvolvida no escopo das atividades dessas companhias, constitui-se num desafio aos gestores desta era. Alcançar o sucesso pleno, no entanto, implica lançar mão de esforços que aprimorem continuamente a percepção da companhia frente à maneira através da qual seu negócio poderá ser perpetuado, identificando meios que garantam o monitoramento e o controle desse estado.

O passar do tempo mostrou que uma organização não pode mais ser monitorada com base, apenas, em indicações de seu desempenho financeiro. Se nos anos 1960 as medidas de eficiência, sobretudo voltadas aos custos, detinham o monopólio das atenções, as décadas seguintes viram nascer e crescer, em relevância, aspectos voltados à qualidade, flexibilidade e inovação, cada qual sendo uma espécie de símbolo, respectivamente, dos anos 1970, 1980 e 1990. Na década atual, o termo sustentabilidade parece encontrar espaço crescente nas discussões acerca do desempenho organizacional.

Aliado a esse fato, tem-se como conseqüência da integração e consolidação de mercados a necessidade de atenção das empresas no que diz respeito ao monitoramento com vistas à otimização do consumo de insumos e geração de resultados. Além disso, a expansão das fronteiras comerciais, requisito ao crescimento corporativo, também depende de um monitoramento adequado das condições a serem encontradas em situações específicas.

Muitas empresas já despertaram para essa realidade, buscando constantemente implementar modelos que lhes permitam compreender com maior clareza a situação na qual se encontram e, principalmente, o rumo para o qual se destinam ao manterem o comportamento passado. Diversas tecnologias foram desenvolvidas nas últimas décadas com o intuito de auxiliar essas empresas a visualizar os resultados de seu empenho, direcionando seus esforços no sentido do atendimento às suas metas. Goldratt e Fox (1992), por exemplo, sugerem um modelo baseado em medidas financeiras e operacionais, enquanto Stewart (1998) procura valorizar o conhecimento presente em uma organização e que pode ser usado como vantagem diferencial. Foram Kaplan e Norton (1997), porém, que, ao modelar o BSC, disseminaram mais fortemente a estrutura que reúne, sob um mesmo modelo relacional, as

principais perspectivas a serem analisadas quando da determinação do desempenho de uma organização, contemplando a importância de atentar ao acionista, ao cliente, aos processos que regem a organização e à sua capacidade de gerar conhecimento e manter o crescimento.

O embate acirrado entre empresas atuando em uma mesma indústria, e mesmo entre potenciais concorrentes atuando em segmentos aparentemente distintos, exige um esforço das corporações no sentido de eliminar desperdícios, quaisquer que sejam, com o intuito de incrementar o seu grau de competitividade. Conhecendo não apenas o mercado e o cenário em que atuam, mas também a si próprias, e agindo de maneira estratégica segundo as suas competências centrais, as organizações estarão mais bem preparadas para resistir às ameaças e aproveitar as oportunidades que se apresentem em seus caminhos. Nesse contexto, a avaliação de desempenho desponta como elemento-chave para o sucesso das organizações, permitindo que a complexidade inerente aos processos seja tratada com ferramental capaz de contemplar as diversas dimensões de desempenho e que permita a análise comparativa entre unidades, a fim de facilitar as suas gestões.

## **1.1 TEMA E OBJETIVOS**

O tema trabalhado nesta dissertação é a Avaliação de Desempenho. Mais especificamente, a mesma contempla a análise de indicadores de desempenho, versando a respeito do estudo de ferramentas de análise que facilitem o seu tratamento sob uma ótica comparativa.

Esta dissertação tem como objetivo geral estruturar uma sistemática de apoio à utilização da DEA para avaliação de desempenho que possa ser replicada em aplicações de naturezas distintas. Além disso, a dissertação apresenta como objetivos específicos:

- aplicar, ainda que parcialmente, a sistemática proposta, a fim de validá-la e compreender as relações presentes entre os elementos passíveis de influenciar o desempenho das unidades sob análise;
- verificar a possibilidade de aplicação conjunta da DEA com outras técnicas de análise multicriterial, como o método de análise hierárquica – AHP.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A complexidade inerente ao gerenciamento eficaz das corporações da era atual exige que esforços sejam lançados no sentido de viabilizar a sobrevivência, o crescimento e o

sucesso das companhias. Ferramentas que permitam a medição adequada do desempenho organizacional surgem nesse contexto como elementos promotores da cultura de controle e disseminação dos resultados alcançados no desenvolvimento das atividades empresariais. Medir pelo simples ato de medir, no entanto, não representa qualquer progresso às organizações, gerando, pelo contrário, informações desnecessárias e desperdício de esforços de coleta e análise dos dados. É imprescindível definir com clareza o que e por que medir. Nesse ponto, faz-se necessário retomar a estratégia corporativa que, se bem formulada, deve indicar o caminho a ser seguido rumo ao sucesso.

Quanto ao planejamento estratégico, Ansoff *et al.* (1981) dizem que este, por si, não produz ações ou mudanças visíveis nas empresas, constituindo-se apenas em um conjunto de planos e intenções. Kaplan e Norton (1997; 2001) dizem que, embora a estratégia seja importante, a principal vantagem só chega depois de a estratégia ter sido implantada e prosseguem afirmando que apenas 10% das estratégias formuladas são executadas com êxito, concluindo que a capacidade de executar a estratégia é mais importante que a sua qualidade em si. Como solução a essa questão, Berliner e Brimson (1992) afirmam que a medição de desempenho é o fator-chave para assegurar a implantação do plano estratégico da empresa.

Garantir a implantação da estratégia organizacional, todavia, requer a capacidade de se avaliar o desempenho empresarial sob diversos pontos de vista. A esse respeito, Sink e Tuttle (1993) dizem que, em geral, há uma correlação muito baixa entre a estratégia e aquilo que é efetivamente medido dois ou três níveis abaixo na organização. Saaty (1994) lembra que a tomada de decisões, sobretudo gerenciais, depende de diversas formas de informação e conhecimento técnico, muitas vezes disponibilizadas a partir do processo de avaliação de desempenho em determinado sistema.

Em um cenário propenso à integração de mercados, no qual a construção de relações fiéis com colaboradores, clientes, parceiros e fornecedores, comprometimento com o ambiente e a sociedade e aumento dos lucros vinculados à operacionalização do negócio se fazem simultaneamente necessários para a sobrevivência das organizações, a avaliação de desempenho, fundamentada nos indicadores, surge como um importante aliado na busca pela excelência empresarial. Hammer (2007) recorda que, nos últimos anos, as empresas desenvolveram sistemas de medida da estratégia mais sofisticados, baseados em ferramentas como o *Balanced Scorecard* – BSC –, *Key Performance Indicators* – KPIs –, planilhas computadorizadas e similares. Apesar disso, entre as centenas de gestores com quem o autor discutiu essa questão, existe um consenso difundido de que eles medem muito pouco, ou

demais, ou as coisas erradas, e de que em caso algum eles utilizam as medidas efetivamente. Conforme discussão proposta pelo autor, os executivos seguem o caminho da menor resistência, usando medidas herdadas do passado ou as primeiras medidas que aparecem em suas cabeças. Como resultado, muitas companhias não dão às medidas operacionais a importância que elas merecem.

Como levantado por Neely (2007), pesquisas sugerem que, nos cinco últimos anos do século XX, cerca de metade das companhias tentaram transformar os seus sistemas de medição de desempenho, enquanto dados mais recentes indicam que 85% das organizações têm iniciativas relacionadas à medição de desempenho em andamento. Risher (2007), por sua vez, lembra que as corporações têm uma razão óbvia e forte, até uma obsessão em algumas, em se preocupar com o desempenho. A questão fundamental é, conforme o autor, que essa é uma questão sempre presente nas mentes dos gestores, uma vez que todos sabem que um desempenho insatisfatório da companhia pode custar os seus empregos. Esse ponto pode conduzir a alguns comportamentos desesperados por parte desses gestores, em alguns casos aceito pelas empresas porque melhora o desempenho, mesmo com um efeito ruim no moral dos trabalhadores no longo prazo.

Apesar de a literatura apresentar um volume considerável de material publicado a respeito do tema Avaliação de Desempenho, a parcela orientada para o tratamento de indicadores segundo várias perspectivas, com base no plano estratégico das organizações e posterior tratamento dos mesmos segundo técnicas estruturadas de avaliação ainda apresenta nichos a serem explorados. Diversos trabalhos têm sido realizados, notadamente nas duas últimas décadas, valendo-se de metodologias de análise multicriterial.

Dentre as técnicas escolhidas como base para a realização desses estudos, uma das que vem recebendo atenção é a DEA, cujo emprego costuma restringir-se aos modelos originais, menos sofisticados. Além disso, as aplicações da DEA ainda são limitadas a um número não muito extenso de áreas organizacionais. Um dos motivos responsáveis pela não disseminação da análise envoltória de dados como ferramenta para a análise de um maior número de cenários tanto por iniciativa das organizações quanto da própria comunidade acadêmica pode ser identificado como sendo a dificuldade em se estabelecer e seguir uma seqüência de passos que permita a bem sucedida aplicação da mesma.

A definição de uma sistemática que permita o estabelecimento dessa sucessão de etapas a serem seguidas de modo a viabilizar uma maior difusão da DEA em diversos ambientes tem como principal meta combater algumas das dificuldades das empresas em



gerenciar objetivos múltiplos e, por vezes, conflitantes. Adicionalmente, pode-se buscar técnicas complementares, como o AHP, de modo a aproveitar os principais benefícios de cada uma para estruturar a avaliação mais concisa e confiável do desempenho organizacional.

### **1.3 MÉTODO**

Pesquisas exploratórias têm o objetivo de permitir maior familiaridade com determinado tema, visando conceder uma visão geral ou o aprimoramento de idéias e acerca de um objeto de estudo não muito difundido, apresentando geralmente uma maior flexibilidade metodológica. Como resultado desse tipo de pesquisa, costuma-se buscar o desenvolvimento de hipóteses ou a clarificação de conceitos. Pesquisas descritivas, por sua vez, almejam estabelecer relações entre variáveis, estudar as características de determinada população, analisar fenômenos ou avaliar programas (GIL, 2002; MARKONI; LAKATOS, 2002).

Desse modo, o método utilizado na elaboração desta dissertação segue uma pesquisa que, com base em seus objetivos, pode ser classificada como exploratória no estágio de revisão da literatura, buscando sedimentar conceitos, e quantitativo-descritiva nas fases aplicadas, onde se procura avaliar, comparativamente, o desempenho de unidades e identificar relações relevantes entre as variáveis estudadas. Quanto aos procedimentos utilizados para prospectar as informações necessárias à elaboração deste trabalho, tem-se uma pesquisa bibliográfica como pano de fundo para a realização do estudo exploratório. A etapa quantitativo-descritiva desta dissertação fundamenta-se sobre uma pesquisa documental, baseada em informações que, de alguma forma, já foram analisadas, como relatórios de empresas, quadros estatísticos e tabelas disponibilizadas por organismos especializados.

Trata-se de uma pesquisa aplicada, de interesse prático, voltada à compreensão de problemas que ocorrem na realidade e estão relacionados às necessidades imediatas dos diferentes campos da atividade humana. A aplicação desta pesquisa se dá por meio da consulta a diversas bases de dados que permitem a realização de dois estudos de caso, um conduzido com base em organizações empresariais pertencentes a uma mesma indústria e outro a partir da avaliação de um conjunto de nações em relação a uma questão específica.

O desenvolvimento desta dissertação se dá segundo algumas etapas. No levantamento do referencial teórico busca-se estabelecer uma fundamentação adequada a

respeito do tema Avaliação de Desempenho e seus desdobramentos, para que o trabalho possa ser desenvolvido.

Em seguida, é realizado um estudo acerca da literatura escrita a respeito dos principais temas relacionados à proposta desta dissertação: avaliação de desempenho, *benchmarking*, análise multicriterial, AHP e DEA. Por se tratar do núcleo do trabalho, a ênfase repousada sobre a Análise Envoltória de Dados – DEA – é clara durante a revisão da literatura. A fim de obter-se uma melhor perspectiva a respeito da evolução da técnica, utilizaram-se preferencialmente artigos internacionais publicados nos periódicos mais conceituados da área, para a seção correspondente. Isso justifica o fato de artigos publicados há algumas décadas integrarem o acervo consultado (em geral, referindo-se aos desenvolvimentos originais da DEA ou de suas extensões), sendo que sempre que alguma referência às percepções acerca da ferramenta ou a alguma aplicação de vanguarda tenha sido requerida, tenha-se privilegiado informações constantes em materiais mais recentes

A próxima etapa consiste na proposição de uma sistemática fundamentada no estudo de modelos presentes da literatura. A sistemática deve permitir um monitoramento facilitado dos elementos responsáveis pela determinação do desempenho organizacional, e ser capaz de retornar informações relevantes no auxílio à tomada de decisão para os gestores do negócio.

Na seqüência, procede-se à aplicação do modelo proposto a dois cenários de natureza distinta, tendo em vista a observação prática do mesmo. O processo de aplicação conta, além do pesquisador/autor, com participantes que representam elementos externos, como acadêmicos estudiosos do assunto e profissionais da área, que podem servir como referência para a solução de casualidades surgidas no decorrer dessa etapa do trabalho.

A etapa final a ser realizada na execução desta pesquisa consiste na análise dos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto. Nessa etapa, procura-se analisar e discutir os resultados obtidos, reunindo informações suficientes para tentar validar o modelo proposto. As discussões geradas a partir do processo de aplicação do modelo devem contribuir para angariar elementos que possam justificar a disseminação do uso da DEA como técnica de apoio à medição do desempenho.

#### **1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Esta dissertação apresenta algumas delimitações de escopo e aplicação. Primeiramente, deve-se ter em mente que a apresentação sobre ferramentas de análise

multicritério é bastante sucinta, servindo fundamentalmente para apresentar o contexto onde são desenvolvidos o Método de Análise Hierárquica (AHP) e a Análise Envoltória de Dados (DEA), os quais são contemplados no modelo proposto. Apesar de dezenas de técnicas fundamentadas na DEA terem sido desenvolvidas nos últimos trinta anos desde a apresentação do modelo original, apenas as julgadas mais relevantes para a solução dos casos estudados são introduzidas na revisão da literatura, a saber: Retornos Constantes à Escala, Retornos Variáveis à Escala, Regiões de Garantia, *Cross-Efficiency* e *Super-Efficiency*. Além disso, em prol da sintetização do trabalho, não são contempladas as análises que permitem identificar as unidades referenciais a serem utilizadas por cada unidade não eficiente, sendo apresentados apenas os resultados finais dessa etapa. Ainda a respeito da DEA, este trabalho privilegia a análise gerencial, discutindo a interpretação dos resultados, dando menos ênfase à discussão matemática da técnica, assumida como bem resolvida na literatura.

Quanto à etapa aplicada do trabalho, deve-se considerar que as análises foram conduzidas com base, exclusivamente, em informações disponíveis publicamente ou cujo acesso e divulgação tenham sido autorizados pelas entidades competentes. Como consequência, ficaram excluídas todas as variáveis cujos valores apresentassem caráter sigiloso e cujos usos inviabilizassem ao leitor a possibilidade de replicar, para fins didáticos, os procedimentos adotados para que os resultados apresentados fossem alcançados.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação está estruturada segundo cinco capítulos. O primeiro inicia com uma breve contextualização sobre o trabalho. Em seguida, apresenta o seu tema e objetivos, justificando-os em face de sua orientação acadêmica e prática. Logo após, indica-se o método de pesquisa, bem como uma breve descrição das etapas do trabalho e a sua delimitação. Finalmente, apresenta-se a estrutura do trabalho, abordando brevemente o que é contemplado em cada capítulo.

No capítulo 2, expõe-se o referencial teórico sobre o qual o trabalho se fundamenta. O conteúdo deste capítulo contempla: (i) a importância e aplicabilidade das técnicas de avaliação de desempenho para o monitoramento das atividades empresariais; (ii) a avaliação de desempenho em um contexto estratégico; (iii) o uso do *benchmarking* no gerenciamento organizacional; e (iv) técnicas de análise multicritério, com destaque para o AHP e a DEA.

O terceiro capítulo é constituído pela proposição de uma sistemática para a avaliação de desempenho que permita utilizar a DEA como ferramenta principal. É feita uma explanação acerca dos critérios utilizados na escolha do material consultado e dos *softwares* empregados, além de elucidar o método utilizado para conduzir os estudos aplicados apresentados no capítulo seguinte.

O quarto capítulo deste trabalho é iniciado com uma breve apresentação dos dois casos estudados, contextualizando as questões a serem discutidas e trazendo perspectivas de como a sistemática proposta pode contribuir com a solução das mesmas. Em seguida, cada caso é apresentado individualmente, partindo-se da identificação do problema a ser estudado e seguindo para a aplicação do modelo que resulta na determinação de resultados referentes à questão abordada. Ao final, discute-se a aplicação da DEA aos casos propostos e procura-se identificar benefícios e limitações da sistemática apresentada, bem como avaliar os ganhos obtidos com a utilização conjunta da DEA com o AHP em um dos casos.

O último capítulo apresenta as principais conclusões obtidas ao longo do trabalho, retomando as principais idéias da dissertação e destacando o cumprimento, ou não, dos objetivos. Finalmente, algumas recomendações para trabalhos futuros a serem desenvolvidos na área são realizadas.

## 2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A sustentação da competitividade de determinada empresa no mercado depende da constituição de uma ligação forte entre os seus objetivos organizacionais e a operacionalização das atividades ali desenvolvidas. Conforme a conceituação proposta por Smith (2005), gerenciamento do desempenho é a estratégia e o processo para alavancar as melhores práticas, metodologias e tecnologias para gerir o desempenho de uma organização e suas redes de negócios pela alavancagem de ativos para alcançar um conjunto comum de metas e objetivos. O gerenciamento do desempenho foca na compreensão, otimização e em ações e decisões de alinhamento, além de buscar garantir a colaboração de todos os indivíduos na rede do negócio. Dessa forma, permite-se alinhar ações nos níveis estratégico, tático e operacional de modo a garantir um resultado ótimo.

Segundo Hronec (1994), medidas de desempenho são sinais vitais da organização, comunicando a estratégia para baixo, os resultados dos processos para cima e o controle e melhoria dentro dos processos, devendo, por isso, ser desenvolvidas de cima para baixo, interligando as estratégias, recursos e processos. Para o autor, medição de desempenho é a quantificação de quão bem as atividades dentro de um processo ou suas saídas atingem uma meta especificada. O autor diz ainda que a medição de desempenho deve ser um processo contínuo que proporcione o estabelecimento de novas metas e ajuste da estratégia, através da existência de retorno de informações no sistema.

De acordo com Hansen (1995), os objetivos básicos de um sistema de medição de desempenho são:

- apresentar um quadro equilibrado dos diferentes aspectos de desempenho;
- garantir um ambiente consistente e uma sistemática de medição de desempenho;
- apresentar as informações de forma rápida, com fácil interpretação por todos os segmentos da organização.

Ghalayini e Noble (1996) tratam da evolução da medição de desempenho, caracterizando-a em dois momentos. Primeiramente, durante cerca de um século a partir de 1880, a ênfase era dada às medidas de desempenho financeiras, ou tradicionais – como lucro e produtividade. Em seguida, durante a década de 1980, teria havido uma mudança devido à revisão das prioridades estratégicas, passando-se a considerar também a qualidade, flexibilidade, atendimento e entregas confiáveis. É esta fase que se estende até os dias de hoje,

se caracterizando por incluir indicadores de desempenho não financeiros no montante das medidas de desempenho organizacionais.

No passado, a avaliação de desempenho se dava com base em um pequeno número de variáveis, mais direcionadas para o controle da utilização de recursos na empresa. Atualmente, no entanto, existe a necessidade de se controlar o posicionamento da empresa em relação ao mercado, tendo em vista a manutenção dos negócios. De fato, Müller (2003) afirma que a avaliação de desempenho tornou-se tão relevante que é impossível pensar em gerenciar uma organização sem um processo sistemático de avaliação de desempenho.

De acordo com Neely (1998), um sistema de medição de desempenho possibilita que decisões e ações sejam tomadas com base em informações, pois ele quantifica a eficiência e a eficácia de decisões passadas por meio da aquisição (coleta), compilação (tratamento), categorização (classificação em categorias), análise (busca de padrões nas categorias), interpretação (explicar as implicações em cada categoria e no todo) e disseminação (comunicação das implicações) de informações adequadas para os tomadores de decisão.

Um sistema de indicadores deveria estar voltado não apenas para a análise do desempenho passado, mas ser capaz de permitir análises prospectivas. A chave para isso é focar nos fatores geradores e não apenas nos resultados (BONELLI; FLEURY; FRITSCH, 1994).

## **2.1 IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Como afirmado por Dey, Hariharan e Clegg (2006), o propósito elementar de qualquer sistema de medição de desempenho é orientar a melhoria contínua e otimizar o desempenho operacional. A fim de atingir esse objetivo, os autores garantem ser fundamental escolher os fatores apropriados para o sucesso, usar uma sistemática de medição quantitativa e ter em mente passos metodológicos claros para essa aplicação.

De modo complementar, Smith (2005) afirma que o gerenciamento do desempenho provê um fundamento para as organizações gerirem os indivíduos para fazê-los tomar as decisões certas de modo a maximizar a eficiência. Para o autor, a habilidade de alavancar a informação e colaboração através da compreensão, otimização e alinhamento de atividades, melhora a qualidade da organização, sendo que a absorção do conhecimento gerado através da organização pode construir um valor de longo prazo aos *stakeholders*, ou seja, a todas as partes interessadas na sua prosperidade.

No que diz respeito à importância de se adotar um sistema de avaliação de desempenho, Lebas (1995) levanta cinco razões pelas quais se poderia desejar medir: (i) identificar onde se esteve; (ii) saber onde se está; (iii) determinar onde se quer estar; (iv) definir como se chega lá; e (v) como saber quando tiver chegado, lembrando que a medição não deve ser separada do *feedback*, ou retorno. Neely (1998) volta a tratar deste ponto, propondo quatro categorias que englobam os motivos para a medição: (i) verificar posição; (ii) comunicar posição; (iii) confirmar prioridades; e (iv) induzir progresso.

A avaliação de desempenho é mais do que uma ferramenta gerencial: é uma medida estratégica de sobrevivência da organização (MIRANDA; SILVA, 2002). Afinal, como expresso por Harrington (1993), se não for possível medir, não se pode controlar; se não controlar, não se pode gerenciar; se não gerenciar, não se pode melhorar. O autor ainda afirma que a menos que exista um sistema de retorno de informações (que seja específico), o sistema de medição é um desperdício de tempo e dinheiro.

Sink e Tuttle (1993) sugerem que a mais importante razão para a medição é apoiar e aumentar a melhoria, medindo-se pela necessidade humana de retorno, para saber como melhorar, onde concentrar a atenção e colocar os recursos. Quanto à necessidade de disseminar as informações obtidas, a afirmação de Carlzon (2005) de que nenhum homem pode ser responsável se não tiver acesso à informação, mas que, por outro lado, nenhum homem cuja informação lhe tiver sido transmitida pode deixar de se sentir responsável, deixa bastante clara a importância de as mesmas serem efetivamente difundidas.

No que diz respeito à importância de se reconhecer e premiar a melhoria no desempenho, Harrington (1993) diz que um bom sistema de recompensas estimula os indivíduos e as equipes a lançarem mão de esforços adicionais que levem a organização a se destacar. O autor ainda diz que, sem a medição, se tira do indivíduo o sentimento de realização.

## **2.2 ESTRUTURAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Müller (2003) cita o fato de que, na estruturação de um sistema de avaliação de desempenho, deve-se ter em conta alguns elementos estruturais básicos, como o planejamento da medição e o controle do desempenho.

A importância da fase de planejamento é destacada por Harrington (1993), ao afirmar que um desempenho fraco pode ser prevenido através de esforços em um planejamento adequado. Altmayer (2006) ratifica esse ponto, ponderando que quando dados são coletados com regularidade, mas há um questionamento quanto ao que fazer com a informação, o problema pode ser que a organização tenha partido do local errado. Quando se começa o questionamento perguntando o que se quer medir ao invés do que se quer alcançar, o foco passa a recair sobre processos de medição ao invés de em processos estratégicos. Para sair de um gerenciamento baseado em medidas, deve-se começar perguntando o que se quer atingir e então considerar como medir o seu progresso rumo a esse objetivo. Esse ponto deveria servir de base para boa parte das organizações que apresentam forte resistência em investir o tempo necessário para desenvolver o planejamento e inteirar as pessoas afetadas pelas medidas a respeito de seu conteúdo.

O controle do desempenho é outro ponto vital no processo de estruturação de um sistema de avaliação, uma vez que é o responsável pela precisão dos dados obtidos. Plossl (1991) apresenta alguns requisitos de controle, a saber:

- planejamento realista (capaz de ser executado);
- integridade de dados (confiabilidade e qualidade - eliminação de erros);
- *feedback* oportuno, pontual e exato (comparação pronta de desempenho contra plano);
- medidas de desempenho (concentração das pessoas nas variáveis importantes);
- tolerâncias pré-estabelecidas (para realçar variações significativas);
- relatórios de exceção (para iniciar ações corretivas);
- análise correta (distinção clara entre problemas básicos e sintomas, para determinar as respostas adequadas);
- correção rápida (soluções permanentes para problemas crônicos);
- acompanhamento (para garantir o término bem sucedido de ações ou mudanças necessárias).

Quanto à implementação, Berliner e Brimson (1992) e Hronec (1994) apresentam alguns aspectos importantes a serem cumpridos por qualquer empresa que deseje operacionalizar um sistema de avaliação de desempenho, como: (i) desenvolver um sistema hierárquico de medições que ligue os diversos níveis organizacionais; (ii) selecionar as medidas que estejam em consonância com as metas da organização; (iii) determinar o que, por



que, quando e como medir; (iv) validar internamente as medidas; (v) avaliar a efetividade das medidas; e (vi) avaliar e melhorar continuamente as medições.

Tendo esses aspectos em mente, as etapas de implantação da medição de desempenho, segundo Miranda e Silva (2002), são:

- definição dos objetivos da avaliação;
- definição dos parâmetros;
- escolha dos indicadores de desempenho;
- avaliação do desempenho.

Quanto ao número de indicadores adequados para integrar um sistema de medição de desempenho, Lee e Dale (1998) criticam o foco excessivo do TQM – Gerenciamento pela Qualidade Total – por medições, gerando uma quantidade muitas vezes excessiva de indicadores. Johnson e Kaplan (1993), por sua vez, afirmam que nenhuma empresa ou gerente pode se deter em melhorar o desempenho de mais de quinze indicadores simultaneamente, enquanto Carvalho (1995)<sup>1</sup> *apud* Müller (2003) sugere que nenhuma pessoa deveria controlar mais do que cinco ou sete indicadores. Rafaeli e Müller (2007), em contrapartida, apresentam um método alicerçado no AHP, em que o monitoramento de um conjunto de 35 indicadores é permitido através do uso de saídas gráficas, viabilizado pela construção de um Índice Consolidado de Desempenho - ICD. O fato é que, embora a observação de um pequeno número de indicadores críticos costume ser mais benéfica que o controle de uma grande porção de resultados periféricos, determinadas situações podem exigir o controle de um montante mais elevado de indicadores, casos nos quais pode-se lançar mão de ferramentas específicas para complementar a análise dos dados.

Na concepção de Neely (2007), parte do problema associado à medição do desempenho é que muitas pessoas vêem esses sistemas simplesmente como um método de controle. Alvos são determinados, o desempenho é monitorado e ações corretivas são tomadas quando o desempenho parece cair abaixo das expectativas. Outra forma de ver os sistemas de medição do desempenho, conforme o autor, é pensar neles como sistemas de aprendizado ao invés de sistemas de controle. Sistemas de medição providenciam dados que podem ser usados para desafiar o modo como as pessoas percebem a forma com que suas organizações trabalham.

---

<sup>1</sup> CARVALHO, L. **Indicadores de desempenho gerencial**. Apostila (Projeto Gestão Empresarial e Qualidade), Porto Alegre: SENAI / FIERGS, 1995.

### 2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NO CONTEXTO ESTRATÉGICO

O sucesso de um sistema de avaliação de desempenho empresarial tem como condição a compreensão da estratégia da organização alvo da avaliação. O conceito de planejamento estratégico, na concepção de Ansoff e McDonnell (1993), diz respeito a um procedimento sistemático de gestão empreendedora, no qual um exame de alternativas serve de base para a estratégia futura. Seguindo um direcionamento mais amplo, a administração estratégica compreende, além do planejamento estratégico, também o planejamento de potencialidades e a gestão de mudanças consistindo, assim, em um processo de relacionamento da empresa com o seu ambiente.

A fim de possibilitar a implantação do planejamento estratégico, alguns elementos devem ser avaliados. Um deles, a identidade corporativa, é definido por Leuthesser e Kohli (1997) como o modo através do qual uma organização revela a sua filosofia e estratégia através da comunicação, comportamento e simbolismo. Identidade corporativa é uma ligação entre aquilo que uma companhia é, aquilo que ela faz e como ela o faz, estando relacionada à forma através da qual a empresa trata o seu negócio e as estratégias que ela adota, sendo constituída por diversos elementos, como visão, negócio, valores e missão.

Para ser bem sucedido no mundo dos negócios, no entanto, é preciso, além de conhecer-se muito bem, também conhecer o ambiente no qual a organização está inserida. Nesse sentido, Ansoff e McDonnell (1993) afirmam que o diagnóstico estratégico, ou análise do ambiente, é necessário para responder como diagnosticar os desafios ambientais futuros com os quais se defrontará a empresa e como determinar a reação estratégica da empresa que garantirá o sucesso.

A partir das análises ambientais interna e externa, tanto isoladamente como das suas relações, constituem-se elementos melhor estruturados para a definição dos objetivos e planos estratégicos de melhorias, ou para delinear as estratégias (MÜLLER, 2003). O mesmo autor afirma, ainda, que a essência da formulação estratégica reside na definição das bases de competição para atingir o objetivo do sucesso a partir da contemplação dos ambientes interno e externo.

Kennedy *et al.* (2007) enfatizam o fato de que, basicamente, medidas de desempenho fornecem informação e retorno para promover a tomada de decisão necessária para atingir os objetivos estratégicos. Os autores citam, como exemplo, o fato ocorrido em uma planta industrial em que a utilização de determinado equipamento era de 92%, sendo que qualquer

resultado abaixo desse nível atrairia a atenção dos gestores. Essa métrica fazia com que boa parte da avaliação do gerente da planta estivesse vinculada à operação do equipamento, de modo que o mesmo era mantido em operação mesmo quando desnecessário. Como destacado pelos autores, essa cultura encoraja – e até recompensa – a produção de inventário em excesso simplesmente pelo interesse do gerente em manter o equipamento funcionando, algo que se opõe aos princípios básicos de produção eficiente.

O monitoramento do desempenho nos diversos níveis organizacionais e a sua aderência aos interesses estratégicos das companhias costuma ser realizado a partir da identificação de um conjunto de indicadores de desempenho. Desse modo, os indicadores acabam agindo como instrumentos de apoio à implantação da estratégia organizacional.

Indicadores de desempenho são meios de reconhecer a presença e a frequência de determinadas atividades, produtos ou fatos, convertendo-os em informação (CAMPOS, 1998). Tendo em mente o porquê de se implantar um sistema de medição de desempenho, e conhecendo os elementos fundamentais a serem respeitados na sua concepção, se faz necessário definir o conjunto de indicadores que viabiliza a medição de desempenho.

Não existe, até hoje, nenhum método ou modelo de avaliação de performance organizacional que seja único para toda e qualquer variável do mundo empresarial. Em vez disso, os gestores e analistas se utilizam de uma série de metodologias de avaliação de desempenho para lidar com os diferentes elementos de uma organização (MACEDO *et al.*, 2004, p. 1).

Slack *et al.* (1997) declaram que há uma necessidade real em se monitorar diversos indicadores de desempenho, com o objetivo de englobar os diferentes aspectos sobre os quais a estratégia de uma corporação possa estar estabelecida. Ainda segundo os autores, é necessário compreender como esses indicadores interagem entre si, a fim de viabilizar a constituição de ferramentas eficazes de gestão.

Algumas propostas já desenvolvidas a fim de solucionar a problemática envolvida ao se buscar uma solução para determinar o desempenho de determinados processos, departamentos ou organizações como um todo são elencadas em seguida:

- EVA – *Economic Value Added* / Valor Econômico Agregado: ver Stewart (1991);
- TOC – *Theory of Constraints* / Teoria das Restrições: ver Goldratt e Fox (1992);
- TQM – *Total Quality Management* / Gerenciamento pela Qualidade Total: ver Campos (1993);
- BSC – *Balanced Scorecard*: ver Kaplan e Norton (1997; 2001);
- CI – Capital Intelectual: ver Stewart (1998) e Edvinson e Malone (1998);
- Modelo Quantum: ver Hronec (1994);

➤ Modelo de Rummler e Brache: ver Rummler e Brache (1994).

Estas propostas, melhor abordadas conjuntamente em Miranda e Silva (2002) e Müller (2003), caracterizam-se pelo caráter complementar ao considerarem fatores que contemplam desde a análise direta dos interesses econômicos até aqueles considerados intangíveis, como o conhecimento, valorizando também aspectos como a qualidade dos produtos/serviços e dos processos envolvidos na sua viabilização.

Além de monitorar sistemas através da implementação de indicadores, um modelo de avaliação de desempenho deveria, complementarmente, ser capaz de identificar meios de promover a melhora no desempenho das unidades avaliadas. Uma das formas de alcançar essa melhoria se dá através da identificação de unidades comparáveis às avaliadas, que possam ser utilizadas como referência em um ou mais requisitos julgados importantes na avaliação.

#### **2.4 O *BENCHMARKING* COMO FERRAMENTA DE GESTÃO**

Com o objetivo de compreender quais as práticas necessárias para se alcançar um padrão de desempenho superior, diversas organizações têm lançado mão do uso de ferramentas de *benchmarking* como forma de reunir conhecimento. O termo *benchmarking* pode ser definido como a busca, em uma indústria, pelas melhores práticas, responsáveis pela apresentação de um desempenho mais elevado. De acordo com Min e Min (1997), trata-se de um processo contínuo de melhoria da qualidade, no qual a organização pode avaliar suas forças e fraquezas internas bem como as vantagens competitivas dos melhores competidores, além de identificar as melhores práticas da indústria, incorporando esses achados a um plano estratégico direcionado à conquista de uma posição de superioridade.

Conforme Drew (1997), o *benchmarking* tornou-se uma das ferramentas mais populares para o gerenciamento estratégico, graças ao seu potencial de permitir o aprendizado e a mudança organizacional de uma forma mais ágil. Ainda segundo o autor, estudos empíricos apontam para o fato de o *benchmarking* estar proximamente associado ao sucesso dos processos de negócio, desenvolvimento de novos produtos e outras iniciativas relevantes de mudança. É importante ressaltar, no entanto, que o *benchmarking* não é, em si mesmo, uma estratégia para o alcance de vantagem competitiva, sendo primariamente um instrumento para o desenvolvimento e implantação de estratégias que sejam imitadoras ou que apresentem inovações apenas incrementais, embora possa ser um suplemento no processo de implementação de mudanças mais profundas.

Min e Min (1997) definem dois tipos de *benchmarking*: o competitivo, voltado à medição do desempenho organizacional em relação às unidades concorrentes, e o de processos, voltado à medição do desempenho de processos específicos em relação a outras organizações que utilizem esses processos. Drew (1997), por sua vez, classifica o *benchmarking* segundo três variedades, mantendo o de processos, mas desdobrando o competitivo em: estratégico, usado para comparar estruturas organizacionais, práticas de gestão e estratégias de negócio, e o de produtos/serviços, focado na comparação direta dos produtos e serviços oferecidos.

Embora o *benchmarking* seja comumente aceito como uma ferramenta de valor para o aprendizado organizacional, Drew (1997) destaca a importância de se estar a par das possíveis limitações, usos efetivos e resultados advindos da sua utilização. Os benefícios diretos do seu uso resultam na transmissão e absorção de conhecimento para além das fronteiras organizacionais. Indiretamente, esses benefícios podem resultar no estímulo a um maior nível de reflexão interna acerca de lições aprendidas ou conhecimento descoberto.

Um dos principais problemas com a implementação do aprendizado organizacional, de acordo com Goh e Richards (1997), é o fato de não existir, até então, uma metodologia para tal. De acordo com um estudo realizado pelos autores, no entanto, cinco dimensões de aprendizado podem ser utilizadas: clareza da missão, comprometimento da liderança, experimentação, transmissão do conhecimento e trabalho em equipe. Voss, Ahlström e Blackmon (1997) argumentam que o aprendizado é necessário para que uma companhia sobreviva em um ambiente competitivo, afirmando haver um relacionamento positivo entre uma predisposição da organização para o aprendizado e o *benchmarking*, uma etapa vital do repertório de uma empresa na busca pela melhoria do seu desempenho. Fundamentados nesse argumento e nos resultados da análise de informações, os autores propõem os seguintes relacionamentos entre *benchmarking*, aprendizado e desempenho:

- organizações voltadas ao aprendizado são mais propensas a utilizar *benchmarking*;
- o *benchmarking* promove o alto desempenho ao auxiliar a companhia na identificação de práticas e objetivos desafiadores;
- o *benchmarking* eleva a compreensão de uma empresa acerca de suas forças e fraquezas;
- essa compreensão, por sua vez, beneficia o desempenho, uma vez que o plano de melhorias será focado em necessidades reais.

## 2.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTICRITERIAL COMO APOIO À COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO

As organizações em geral devem observar uma variedade diversificada de fatores a fim de analisar e resolver seus problemas de maior complexidade. Desse modo, o pensamento multicriterial deve ser usado formalmente para facilitar o processo decisório em todos os níveis de tomada de decisão.

Saaty (1994) lembra que a análise multicriterial torna mais claro quais são as vantagens e desvantagens de cada alternativa possível, sob condições de risco e incerteza, servindo também como ferramenta vital para a formulação das estratégias corporativas necessárias à competição efetiva. Segundo o parecer de Bernroider e Stix (2007), a análise de decisão tem sido reconhecida como uma importante ferramenta de avaliação para decisões relevantes, tanto na comunidade científica como no setor público. Ainda de acordo com os autores, o uso de metodologias de análise de decisão não é muito difundido em corporações, sendo que apenas um pequeno número de empresas de consultoria é capaz de demonstrar o valor dessas metodologias aos seus clientes corporativos.

Voltando ao artigo de Saaty (1994), tem-se que, devido ao fato de problemas complexos geralmente serem constituídos pela relação entre muitos fatores, o pensamento lógico tradicional pode conduzir a seqüências de idéias emaranhadas, cujas interconexões não são prontamente discerníveis. Devido a essa constatação, conclui-se que a falta de um procedimento coerente para tomar decisões seja especialmente problemática quando a intuição não pode, por si própria, auxiliar a determinar qual das diversas opções disponíveis é a mais desejável, ou a menos indesejável. Desse modo, é necessário que se desenvolva um modo de identificar quais as questões capazes de melhor servir ao interesse organizacional tanto no curto quanto no longo prazo, e com que intensidade, permitindo, preferencialmente, o estabelecimento de um compromisso entre os envolvidos no processo decisório no sentido de cumprir os objetivos traçados.

Entretanto, na concepção de Liedtka (2005), o uso de métodos multicriteriais de decisão, ou MCDMs, do inglês *Multicriteria Decision Making*, para medição de desempenho requer comparações freqüentes e muitas vezes difíceis. Para o autor, os tomadores de decisão deveriam considerar a importância relativa dos objetivos escolhidos. Além disso, a avaliação do desempenho organizacional geral ou de uma sub-unidade requer que os tomadores de decisão conciliem de algum modo medidas de múltiplos critérios, as quais variam em

natureza (orientado ao cliente contra relacionado aos colaboradores, por exemplo), espaço de tempo (histórico contra futuro) e unidades de medida (reais contra minutos).

Complementarmente, para que uma decisão seja adequadamente tomada, é necessário que se disponha de diversos tipos de conhecimento, informação e dados técnicos referentes a (SAATY, 1994):

- detalhes sobre o problema para o qual a decisão é necessária;
- pessoas ou atores envolvidos;
- objetivos e políticas;
- influências que afetam os resultados;
- horizontes de tempo, cenários e restrições.

Gass (2005) afirma que, colocado de maneira simples, o problema-base na análise de decisão é: “como um tomador de decisão seleciona entre alternativas competidoras que são avaliadas em relação a objetivos conflitantes?”

A falta de uma medida formal para priorizar e comparar objetivos estratégicos e medidas limita a utilidade dos MCDMs, garante Liedtka (2005). Para o autor, sem uma adequada atribuição de pesos aos objetivos estratégicos, um MCDM pode não comunicar adequadamente a estratégia organizacional, o que inclui a intensidade de esforço necessário que deveria ser direcionado para cada objetivo. Adicionalmente, na avaliação de desempenho, a falta de um sistema de suporte à decisão deixa as pessoas com uma tarefa muito difícil de julgamento. Nesses casos, estudos apontam que o tomador de decisão pode vir a tomar ações sub-ótimas para reduzir a sua responsabilidade cognitiva.

Apesar de diversas técnicas de avaliação serem amplamente aplicadas, diversas delas têm sido rejeitadas, apresentando como justificativa afirmações como: (i) elas avaliam apenas alguns dos critérios importantes, (ii) são muito complexas e exigem muitos dados, (iii) são muito difíceis de entender e utilizar, ou (iv) podem não ser utilizáveis na forma de um processo organizado. Os métodos mais utilizados para avaliação de alternativas são, geralmente, classificados em uma das seguintes categorias (RABBANI; SORKHAB; VAZIFEH, 2005):

- exame não estruturado;
- pontuação (por escores);
- programação matemática, incluindo as programações inteira, linear, não-linear, por objetivos e dinâmica;

- modelos econômicos, como taxa interna de retorno (TIR, ou IRR), valor presente líquido (VPL, ou NPV), retorno sobre o investimento (ROI), análise de custo-benefício;
- análise de decisão, incluindo a teoria da utilidade multi-atributos (MAUT), árvores de decisão, análise de risco, e o método de análise hierárquica (AHP);
- métodos interativos, como o Delphi, Q-sort, apoio à decisão comportamental (BDA) e modelagem hierárquica descentralizada (DHM);
- inteligência artificial, incluindo conjuntos *fuzzy*.

Desse modo, como confirmado pela literatura, a grande maioria dos problemas de interesse prático demanda uma análise simultânea dos diversos atributos que compõem cada alternativa. Ou seja, os problemas de decisão requerem uma visão global que compreenda vários critérios. Diversas técnicas foram desenvolvidas para realizar tais análises, entre as quais se destacam o ELECTRE, PROMETHEE, MAUT, AHP, NCIC, MACBETH, TOPSIS e DEA.

Segundo Salomon, Montevechi e Pamplona (1999), métodos como o ELECTRE (*Election et Choix Traduisant la Réalité*) fornecem apenas a ordenação das alternativas com base em princípios de dominância, enquanto outros métodos podem fornecer, além desta ordenação, uma medida do desempenho das alternativas, considerando todos os critérios. Já o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), outro representante da dita Escola Européia é, de acordo com Yurdakul e Iç (2004), capaz de combinar as razões desenvolvidas pela análise de relações de lucro e prejuízo e equilíbrio financeiro, calculando um valor para a eficiência organizacional e criando um *ranking* para as alternativas a partir desses valores de eficiência organizacional.

O MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) parte da construção de utilidades individuais para cada critério (SUF – *Surrogate Utility Factor*) para, dentro deste, quantificar e ordenar as preferências, e da agregação de diversas SUF em uma única função de utilidade (MAUF – *Multi-Attribute Utility Function*) que comporta a importância de cada critério. As alternativas são, portanto, ordenadas de acordo com os valores obtidos na MAUF (EHRlich, 1996). Essa técnica também pode ajudar os consumidores, no momento da compra, e os vendedores, na criação de políticas de valorização de seus produtos. A aplicação da técnica permite a averiguação de um número bastante alto de variáveis.

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) busca resolver problemas através do seu desdobramento hierárquico e resolução de uma matriz de julgamentos comparativos da



importância das diversas condições a serem atingidas para que o objetivo primário seja alcançado. Por se tratar de um método de aplicação consideravelmente mais complexa que o MAUT, por exemplo, é recomendado para casos em que a análise de prioridades deva ser conduzida com maior cuidado, como em decisões estratégicas. Na visão de Liu e Hai (2005), a característica mais forte do AHP diz respeito ao fato de ele gerar prioridades numéricas a partir de conhecimento subjetivo expresso por estimativas em matrizes de comparação de pares.

O NCIC (*Non-Traditional Capital Investment Criteria*) apresenta uma conceituação semelhante ao AHP quanto à identificação da importância relativa de atributos utilizando comparações pareadas. Entretanto, devido ao fato de incorporar a análise de critérios múltiplos em termos monetários, o NCIC é utilizado como uma ferramenta mais apropriada para decisões financeiras por incorporar a análise de diversos critérios em valores monetários (KIMURA; SUEN, 2003).

O método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) pode, em uma primeira observação, aparentar fortes semelhanças com o AHP. No MACBETH, os critérios de uma decisão, denominados Ponto Vista, são operacionalizados por indicadores. Na fase de avaliação também existem, como no AHP, julgamentos entre alternativas aos pares, utilizando-se de matrizes. As principais diferenças estão nas escalas utilizadas nos julgamentos e na validação destes, que no MACBETH também pode ser obtida através da verificação da coerência teórica e da coerência semântica, além da consistência. O MACBETH permite a verificação visual da consistência, uma vez que na matriz de julgamentos os valores da ‘diferença de atratividade’ devem aumentar da esquerda para a direita e de baixo para cima, devido a uma necessária ordenação antes dos julgamentos (SALOMON; MONTEVECHI; PAMPLONA, 1999).

Quanto ao TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), foi desenvolvido por Hwang e Yoon e, assim como o AHP, pertencente à Escola Americana, é caracterizado por apresentar apelos como a simplicidade e o modo como aborda um problema de decisão, comparando duas situações hipotéticas: a ideal e a indesejável. Para o TOPSIS, a localização selecionada será aquela que apresentar o menor afastamento da solução ideal e, ao mesmo tempo, a maior distância da solução indesejável (SALOMON; MONTEVECHI; PAMPLONA, 1999).

Conforme a discussão proposta por Seydel (2006), uma técnica multicriterial geralmente não utilizada para assistir a seleção entre um conjunto de alternativas, embora

apresente um grande potencial para isso, mas mais tipicamente para avaliar unidades tomadoras de decisão é a DEA. Ainda segundo o autor, em contraste com ferramentas de seleção multicriterial, a DEA não foi desenvolvida como uma técnica de escolha entre alternativas. Em vez disso, a DEA pretende avaliar resultados de unidades e identificar resultados eficientes entre uma lista de potenciais candidatos. Como enfatizado por Sinuany-Stern, Mehrez e Hadad (2000), a DEA original não realiza o ranqueamento completo das alternativas, apenas fornece uma classificação em dois grupos: eficiente e ineficiente. Apesar disso, na última década surgiram algumas tentativas de ranquear as unidades no contexto do DEA.

Levando em consideração as conclusões obtidas por diversos autores com base em suas pesquisas e experiência e no espectro de aplicabilidade proporcionado pelos mesmos, este trabalho se concentrará nas abordagens do Método de Análise Hierárquica – AHP, e de Análise Envoltória de Dados – DEA, sendo, este último, tratado com maior ênfase. Nas próximas seções apresenta-se o detalhamento teórico necessário à compreensão e aplicação de cada um desses métodos.

### **2.5.1 *Analytic Hierarchy Process - AHP***

No início da década de 1970, perguntei-me como as pessoas comuns processavam a informação em suas mentes e, na tentativa de tomar uma decisão, como elas expressavam a força de seus julgamentos. A resposta para essa pergunta me levou a considerar hierarquias e redes, comparações pareadas, escalas proporcionais, homogeneidade e consistência, prioridades, ordenamento, e o AHP (SAATY, 1994).

A dependência exclusiva do conhecimento individual e da experiência pode, na opinião de Saaty (1994), ser inadequada para a tomada de decisões objetivando o bem-estar e a qualidade de vida para um grupo. Segundo o autor, a participação e o debate são necessários tanto entre os indivíduos como entre os grupos afetados, sendo que dois aspectos da tomada de decisão em grupo devem ser considerados. O primeiro é apenas uma leve complicação: a discussão e troca dentro do grupo para alcançar alguma espécie de consenso para um dado problema. O segundo, porém, é muito mais difícil: a natureza interdisciplinar de um dado problema faz com que o mesmo seja dividido em áreas menores, cada qual tendo um grupo de especialistas responsáveis pela determinação de como cada área afeta o problema geral. Afinal, como declarado por Yurdakul e Iç (2004), existe a necessidade de combinar diversos

critérios de desempenho técnico, financeiro e econômico em uma estrutura única. Além disso, os autores também classificam como importantes as necessidades de desenvolver consenso e reduzir a dependência da intuição direta nos processos decisórios. Assim, o AHP surge como uma das abordagens que melhor satisfaz tais necessidades, garantem os autores, uma vez que é simples, fácil de usar, e capaz de estabelecer uma estrutura hierárquica de decisão através da combinação de diversos tipos de critério.

Gass (2005) posiciona o AHP como o principal método para a solução de problemas multicriteriais em que seja necessário o ordenamento por prioridades, tendo substituído o MAUT para resolver esse tipo de problema. Rebatendo algumas críticas surgidas a partir de meados da década de 1980, as quais condenavam o AHP por não se enquadrar na estrutura axiomática proposta para o MAUT, Gass (2005) afirma convictamente que o AHP não é uma extensão do MAUT e cita a declaração de Saaty (1990, p. 259)<sup>2</sup>: “dos seus axiomas aos procedimentos, o AHP é historicamente uma teoria diferente e independente da tomada de decisão em relação à teoria da utilidade”.

Na opinião do próprio Saaty (1994), uma abordagem de tomada de decisão deveria ter as seguintes características:

- ser simples de construir;
- ser adaptável tanto a grupos como a indivíduos;
- soar natural para a nossa intuição e para o pensamento comum;
- encorajar o estabelecimento do comprometimento e do consenso;
- ter processos conduzindo à tomada de decisão que possam ser facilmente revistos.

O AHP é uma ferramenta potente para a análise de problemas complexos de decisão envolvendo múltiplos critérios que permite aos tomadores de decisão especificar as suas preferências usando uma escala verbal (WIND; SAATY, 1980; YANG; KUO, 2003; JABLONSKY, 2005). Esta ferramenta trata de desdobrar um problema e então agregar soluções a todos os subproblemas para se chegar a uma conclusão. Ele facilita a tomada de decisão através da organização de percepções, idéias, sentimentos, julgamentos, emoções e experiências em um conjunto que exhibe as forças passíveis de influenciar uma decisão (SAATY, 1994; SHANG; SUEYOSHI, 1995). O AHP é capaz de fornecer pesos objetivos para uma amostra qualitativa de alternativas, tendo como vantagem poder transformar índices

---

<sup>2</sup> SAATY, T. L. An exposition of the AHP in reply to the paper “Remarks on the analytic hierarchy process”. *Management Sciences*, v.36. n. 3. p. 259-268, mar. 1990.

qualitativos em quantitativos e ser relativamente estável porque o tomador de decisão monta sua matriz de julgamentos de modo subjetivo (YANG; KUO, 2003; GUO; LIU; QIU, 2006).

De acordo com Ertay, Ruan e Tuzkaya (2006), a razão para adotar o AHP, especialmente para dados qualitativos de desempenho, é o fato do trato desses fatores geralmente ser complicado e conflitante, sendo que a confiança repassada ao usuário pelo AHP é alta quando comparada com outras abordagens multicriteriais. Ainda segundo os autores, outros benefícios do AHP incluem: fornecer uma sistemática para processos envolvendo decisões subjetivas, permitir análise de sensibilidade, retornar informações a respeito dos pesos implícitos aos critérios sob avaliação, e permitir um melhor entendimento e participação entre os membros do grupo de tomada de decisão, além de também criar um comprometimento com a alternativa escolhida.

Geralmente não é fácil para um tomador de decisão atribuir diretamente graus de importância. Por esse motivo, o AHP é proposto. Trata-se de um método para lidar com graus de importância com respeito a muitos itens, tendo como resultado um ordenamento que indica a preferência consolidada para cada alternativa presente na decisão (SHANG; SUEYOSHI, 1995; ENTANI; ICHIHASHI; TANAKA, 2001).

O AHP é formulado para a avaliação subjetiva de um conjunto de alternativas baseado em múltiplos critérios, organizando o problema de decisão em uma estrutura hierárquica. No nível superior, definido pelo objetivo geral, os critérios são avaliados, e nos níveis mais baixos as alternativas são avaliadas por cada critério. O tomador de decisão realiza a sua avaliação separadamente para cada nível e sub-nível subjetivamente. Ele cria uma matriz de comparação pareada na qual sua avaliação subjetiva para cada par de itens é analisada, de modo que o AHP está baseado na capacidade humana de realizar julgamentos confiáveis acerca de pequenos problemas (SAATY, 1994; SINUANY-STERN; MEHREZ; HADAD, 2000; JABLONSKY, 2005).

Por se tratar de uma abordagem descritivo-analítica, Saaty (1994) afirma que alguns dos benefícios da técnica são:

- a modelagem do problema de decisão, induzindo as pessoas a tornar explícito o seu conhecimento tácito;
- o processo permite ao tomador de decisão usar julgamentos e observações para prever os resultados;
- as pessoas conseguem compartilhar informações de modo mais eficaz do que simplesmente conversando;

- pode-se incorporar tanto julgamentos provenientes da intuição quanto da lógica;
- uma abordagem formal permite que os interessados façam revisões graduais a fim de combinar as conclusões de diferentes investigadores estudando o mesmo problema em posições distintas.

No que se refere aos pontos fracos em potencial do método de análise hierárquica, Yang e Kuo (2003) enfocam a sua ineficiência ao determinar a melhor opção para um conjunto muito grande de alternativas, ou ainda para estabelecer a fronteira de eficiência. Guo, Liu e Qiu (2006), por sua vez, consideram que a principal desvantagem do AHP reside no fato de os especialistas montarem a matriz de acordo com as suas experiências. Uma vez que diferentes especialistas têm diferentes experiências, o método acaba, assim, se tornando um tanto quanto subjetivo, embora este ponto seja considerado justamente uma qualidade do AHP por uma parcela significativa da literatura.

Korhonen e Topdagi (2002) afirmam que, até onde se sabe, ninguém discutiu no AHP se elementos julgados no nível de “9 = diferença absoluta” requerem uma interpretação separada. Os autores se questionam se “diferença absoluta” deveria ser interpretado como objetos simplesmente não comparáveis. Para exemplificar, é apresentado um exemplo envolvendo oito pessoas, sendo quatro vegetarianos, tendo que avaliar sua preferência com relação a oito pratos, quatro deles contendo carnes. Logicamente os vegetarianos apontavam preferência absoluta pelos pratos que não incluíam alimentos de origem animal. Embora essa não seja uma situação na qual o AHP devesse ser usado, algumas vezes esse tipo de comparação é feita acidentalmente. Para a surpresa dos autores, o AHP conseguiu estimar razoavelmente bem os escores para os objetos, embora não tenha conseguido reconhecer que os mesmos estavam em duas escalas combinadas e não em uma única.

Atenção também deve ser tomada com elementos que, embora pesem para a tomada de decisão, não devem constar da estrutura hierárquica sugerida pelo AHP. Liedtka (2005) apresenta o caso da montagem da hierarquia para uma companhia aérea, onde o objetivo não-financeiro “Segurança dos Passageiros” foi eliminado da análise. O especialista encarregado da análise revelou que a segurança dos passageiros é de tal importância que a sua inclusão obscureceria completamente os demais objetivos, ou seja, segurança dos passageiros receberia 100% de peso se incluída na análise. Além disso, como segurança deve ser a prioridade dominante em qualquer companhia aérea, não seria uma característica útil para distingui-las.

De acordo com Liu e Hai (2005), o AHP fornece uma metodologia simples, mas teoricamente bem fundamentada para a avaliação multicriterial de alternativas. A força do

AHP reside na sua habilidade de estruturar de forma hierárquica problemas complexos, envolvendo diversas pessoas e atributos, e então investigar cada nível da hierarquia de maneira individual e combinando os resultados na medida em que a análise progride. Além disso, como observado por Yurdakul e Iç (2004), a construção da hierarquia do AHP só pode ser realizada com a participação e discussão da alta gerência da instituição e consultores, em reuniões que constituem um processo de aprendizado para todos os participantes que podem compartilhar a sua experiência e conhecimento. Como resultado dessas reuniões, os participantes terão uma melhor compreensão acerca do funcionamento do processo avaliado.

Na definição de Sinuany-Stern, Mehrez e Hadad (2000), a proposta do AHP é fornecer um vetor de pesos que expresse a importância relativa de diversos elementos. Quanto à necessidade de uma abordagem formal sistemática para a operacionalização do método, Shang e Sueyoshi (1995) afirmam que a mesma é imprescindível para evitar que o tomador de decisão tenha que encarar o problema de modo puramente intuitivo, correndo o risco de agir de modo ineficaz, especialmente quando a questão envolver percepções subjetivas.

#### *2.5.1.1 Aplicação do AHP*

Saaty (1994) pondera que a decisão seja estruturada a partir do objetivo geral, sendo decomposta tanto quanto necessário até que se descortinem os fatores mais facilmente controláveis. Para isso, sugere alguns passos para auxiliar a elaboração de uma hierarquia: (i) identificar o objetivo geral; (ii) identificar os sub-objetivos do objetivo geral; (iii) identificar os critérios que devem ser satisfeitos para cumprir cada sub-objetivo; (iv) identificar sub-critérios para cada critério; (v) identificar os atores envolvidos; (vi) identificar as metas dos atores; (vii) identificar as políticas dos atores; e (viii) identificar opções ou resultados. A Figura 1 expressa uma hierarquia simples, composta por quatro níveis, sendo que o primeiro representa o objetivo principal, o segundo representa os critérios que afetam o julgamento do tomador de decisão, o terceiro nível lista os sub-critérios que afetam a avaliação de cada critério e o quarto nível identifica as alternativas, que constituem as opções de decisão.

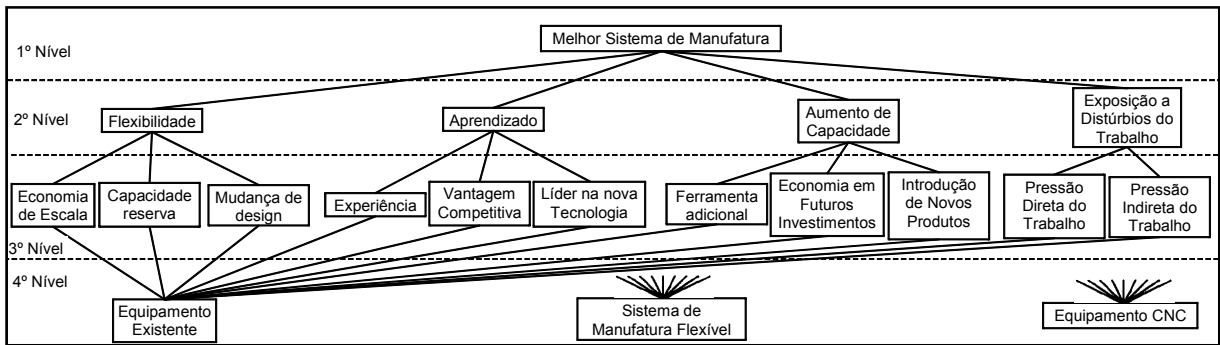


Figura 1: Hierarquia para seleção de um sistema de manufatura

Fonte: adaptado de Shang e Sueyoshi (1995)

A flexibilidade do AHP é alcançada pelo modo como o problema é decomposto em níveis hierárquicos (SINUANY-STERN; MEHREZ; HADAD, 2000). Enquanto o nível superior da hierarquia contém critérios que contribuem para a qualidade da decisão, o nível inferior contém as alternativas de decisão. Tendo a estruturação hierárquica completa, Sinuany-Stern, Mehrez e Hadad (2000), Yang e Kuo (2003) e Azadeh, Ghaderi e Izadbakhsh (2005) sugerem três etapas subsequentes para a operacionalização do AHP: (a) avaliação pelo tomador de decisão através de comparações pareadas; (b) uso do método dos autovetores para determinar prioridades; e (c) sintetizar as prioridades dos elementos por critério em medidas compostas que permitam a determinação de pesos para os elementos.

Uma vez que a hierarquia esteja completa, a priorização deve iniciar a fim de determinar a importância relativa dos elementos em cada nível. Nesse momento, os elementos integrantes de um mesmo nível hierárquico devem ser comparados entre si em relação ao nível imediatamente superior. Os julgamentos, que constituem a representação numérica do relacionamento entre dois elementos que compartilham um objetivo comum, partem do segundo nível (primeiro nível de atributos) e terminam no nível mais baixo das alternativas. Em cada nível os elementos são comparados de maneira pareada de acordo com a sua influência em relação ao elemento posicionado no nível imediatamente acima utilizando a escala proposta por Saaty (1994) e representada na Figura 2. Se o número de componentes ligados a um critério superior for  $n$ , a matriz de comparação é uma matriz quadrada  $n \times n$ , preenchida com  $n*(n-1)/2$  comparações. A importância relativa do componente  $i$  comparado com o componente  $j$  com respeito ao critério julgado na hierarquia do AHP é determinada usando a escala de Saaty e plotada na posição  $(i, j)$  da matriz. O recíproco desse valor é alocado automaticamente à posição  $(j, i)$  da mesma, como exemplificado na Tabela 1. Este método de ordenamento permite que o tomador de decisão inclua a sua experiência e

conhecimento de uma maneira natural e intuitiva (VAIDYA; KUMAR, 2006; RABBANI; SORKHAB; VAZIFEH, 2005; YURDAKUL; IÇ, 2004).

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	Mesma Importância	Duas atividades contribuem igualmente com o objetivo
<b>3</b>	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem levemente uma atividade sobre a outra
<b>5</b>	Importância Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
<b>7</b>	Importância Muito Forte	Uma atividade é muito fortemente preferível à outra; sua dominância é demonstrada na prática
<b>9</b>	Importância Extrema	A evidência de favorecimento de uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível
<b>2,4,6,8</b>	Relações entre os valores acima	Eventualmente pode ser necessário interpolar o relacionamento por estar entre os valores acima
<b>1.1 - 1.9</b>	Em caso de empate	Quando os elementos são praticamente indistinguíveis
<b>1/x, x=1,...,9</b>	Importância menor	Uma atividade é menos preferível à outra com uma intensidade entre 1 (igual) e 9 (extrema)

Figura 2: A escala fundamental de Saaty  
Fonte: adaptado de Saaty (1994)

Tabela 1: Matriz de comparação entre pares de indicadores

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Alternativa A</b>	1	3	5
<b>Alternativa B</b>	1/3	1	3
<b>Alternativa C</b>	1/5	1/3	1

A partir dos dados constantes na Tabela 1 é possível proceder ao cálculo do vetor de priorização dos indicadores, que tem por objetivo determinar a importância ponderada de cada item para a constituição do nível acima do diagrama estratégico. Para isso, deve-se encontrar os autovetores da matriz, obtido através da divisão de cada valor constante da Tabela 1 pela soma dos valores da coluna em que o mesmo está localizado, originando uma nova matriz, expressa pela Tabela 2, cujo valor médio das linhas indica a fração participativa dos respectivos itens na constituição do parâmetro analisado.

Tabela 2: Determinação do vetor de priorização de indicadores

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Priorização</b>
<b>Alternativa A</b>	15/23	9/13	5/9	63,33%
<b>Alternativa B</b>	5/23	3/13	1/3	26,05%
<b>Alternativa C</b>	3/23	1/13	1/9	10,62%
	<b>soma =</b>			<b>1</b>



Ertay, Ruan e Tuzkaya (2006) afirmam que cabe cautela no que se refere a duas questões críticas na abordagem do AHP: robustez e consistência. A robustez pode ser verificada pela análise de sensibilidade dos pesos, estando relacionada com a sensibilidade dos pesos retornados pelos autovetores quando ocorrem pequenas flutuações nos julgamentos que os originaram. Logicamente, é desejável que essa sensibilidade seja mínima. Quanto à questão da consistência, o autor considera importante garantir que uma matriz de julgamentos estabelecida racionalmente seja mais consistente que uma matriz estabelecida a partir de julgamentos aleatórios.

Como a matriz construída pelo AHP é subjetiva, Sinuany-Stern, Mehrez e Hadad (2000) declaram que a mesma pode apresentar certo grau de inconsistência para alguns elementos, embora testes estatísticos possam ser empregados para testar a significância da inconsistência. Entretanto, a fim de evitar potenciais inconsistências comparativas entre os pares, a literatura concorda que um índice de consistência deva ser calculado para garantir a coerência dos julgamentos.

Desse modo, após a formação das matrizes de preferência, o processo matemático expresso pela Equação 1 determina a consistência das comparações, utilizando o maior autovalor da matriz para calcular o valor da taxa de consistência. Um valor de  $CR=0,1$  equivale a dizer que a chance de os elementos não terem sido bem comparados é igual a 10% (RABBANI; SORKHAB; VAZIFEH, 2005). Deve-se ter cuidado, no entanto, para não acreditar que uma maior consistência implique, necessariamente, em maior precisão das informações. Se houver necessidade de melhorar a consistência da matriz, deve-se realizar pequenas alterações nos relacionamentos compatíveis com o conhecimento do analista ou então o tomador de decisão deve rever a estruturação do problema (SAATY, 1994; YURDAKUL; IÇ, 2004). Para o exemplo visto anteriormente, tem-se 3,0385 como maior autovalor, o que retorna uma taxa de consistência de apenas 0,033, ou 3,3%.

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{IR * (n - 1)} \quad (1)$$

onde: CR = taxa de consistência (a consistência é verificada para qualquer  $CR < 0,10$ );

$\lambda_{\max}$  = maior autovalor;

n = número de critérios da matriz;

IR = Índice randômico de consistência, dado pela Tabela 3.

Tabela 3: Índice randômico de consistência

Ordem da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice randômico médio	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991)

Segundo Saaty (1994), psicólogos reconhecem que as pessoas são capazes de realizar dois tipos de comparação: absoluta e relativa. Em comparações absolutas, as pessoas comparam alternativas tendo um padrão em suas memórias, enquanto na comparação relativa elas comparam alternativas aos pares de acordo com um atributo comum. As pessoas usam as medidas absolutas para ranquear alternativas independentes, uma a uma, em função de suas intensidades em relação a cada critério. Comparações relativas são usadas para definir intensidades nas prioridades do ranqueamento. Ainda de acordo com o autor, os seres humanos têm dificuldade em estabelecer relacionamentos apropriados quando as razões vão além de nove, caso em que é recomendado agrupar os elementos sob comparação em diferentes conjuntos, fazendo com que o mais importante de um grupo seja o menos importante de outro grupo, de modo a tornar possível a comparação entre elementos de diferentes grupos.

Ertay, Ruan e Tuzkaya (2006) lembram ainda que o conceito de medida absoluta pode ser utilizado para superar aquela que possivelmente seja a questão mais controversa no uso do AHP: o fenômeno de reversão do *ranking*, no qual o ordenamento das alternativas determinado pelo AHP pode ser alterado a partir da inserção de uma nova alternativa no conjunto sob consideração. Já no que se refere ao conceito de medida relativa, Korhonen e Topdagi (2002) afirmam ser comum que seres humanos comparem o peso de pedras em uma escala proporcional, mas que nem todos acreditem que a expressão “hoje está muito mais quente do que ontem” também possa ser avaliada proporcionalmente. Na verdade, segundo os autores, é bastante plausível que mesmo nesse caso as pessoas façam uma comparação proporcional apresentando suas percepções internas para diferentes temperaturas.

Nas aplicações de MCDMs, a escala de importância relativa tem diversas vantagens sobre outros métodos de julgamento (LIEDTKA, 2005):

- pode ser usada para comparar itens em diferentes unidades;
- as pessoas são mais capazes de realizar julgamentos relativos do que absolutos;
- ao contrário de muitos julgamentos absolutos, julgamentos relativos produzem dados proporcionais, que são mais flexíveis e significativos que dados ordinais ou em intervalos;

- e, mais importante, em situações nas quais os resultados são passíveis de verificação, a escala de importância relativa produz sistemas de ponderação bastante precisos.

Saaty (1994) apresenta dois modos de sintetizar as prioridades locais das alternativas usando prioridades globais para cada critério: o modo distributivo e o ideal. No modo distributivo, utilizado no exemplo expresso pelas Tabela 1 e Tabela 2, os pesos das alternativas somados são iguais a um, sendo o modo usado quando há dependência entre as alternativas. O modo ideal, por sua vez, é usado para obter a melhor alternativa única independentemente de quais sejam as demais alternativas. No modo ideal, as prioridades locais das alternativas são divididas pelo maior valor entre elas. Isso é feito para cada critério, de modo que, para cada critério, uma alternativa se torna ideal com valor de um. A estruturação do modo ideal apresenta uma alternativa que impede os demais critérios de afetarem o posicionamento no *ranking* da alternativa melhor posicionada. Em ambos os casos, as prioridades locais são ponderadas pelas prioridades globais do critério sob avaliação. O autor apresenta um experimento conduzido por si próprio envolvendo 64.000 hierarquias, com prioridades atribuídas aleatoriamente aos critérios e alternativas, a fim de testar o número de vezes que a melhor escolha obtida com os modos distributivo e ideal coincidia. Como resultado, em 92% das vezes a alternativa mais importante foi a mesma.

#### 2.5.1.2 Extensões do AHP

No AHP convencional, o grau de importância de cada item pode ser obtido encontrando-se o autovetor da matriz de comparações. O tomador de decisão faz uma comparação direta, fundamentada em estimativas pontuais, de todos os pares possíveis encontrados em um dado nível hierárquico. Muitas vezes, no entanto, pode ser difícil para os tomadores de decisão preencherem essa condição. Sabendo que esses julgamentos são incertos e que é mais fácil atribuir relações contidas em intervalos do que apontar um valor pontual, Jablonsky (2005) e Entani, Ichihashi e Tanaka (2001) estendem a comparação dos valores para intervalos. Desse modo, por exemplo, ao invés de dizer que A é três vezes preferível em relação a B, ele pode afirmar que A é pelo menos duas, mas não mais que quatro vezes preferível em relação a B, reduzindo-se assim a inconsistência dos julgamentos humanos.

O modelo AHP com intervalo de decisão é chamado de *Interval AHP*, ou IAHP, e é caracterizado por comparações pareadas realizadas através de uma matriz como a mostrada na Equação 2.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \dots & [L_{a_{1n}}, V_{a_{1n}}] \\ \vdots & [L_{a_{ij}}, V_{a_{ij}}] & \vdots \\ [L_{a_{n1}}, V_{a_{n1}}] & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Em seguida, estima-se o grau de importância do item  $i$ , como um intervalo denominado  $W_i$ , que é determinado pelo seu centro  $W_i^c$  e seu raio  $d_i$ , como mostrado na Equação 3, onde  $V_{w_i}$  e  $L_{w_i}$  são as fronteiras superior e inferior do intervalo.

$$W_i = [L_{w_i}, V_{w_i}] = [w_i^c - d_i, w_i^c + d_i] \quad (3)$$

O centro é obtido pelo método dos autovetores, encontrando-se o autovetor  $(W_1^c, \dots, W_n^c)$  para o maior autovalor ( $\lambda_{\max}$ ). O raio é obtido com base em análise de regressão. Nesse problema,  $a_{ij}$  é aproximado por uma razão tal que a relação apresentada na Equação 4 seja pertinente, onde  $W_i$  e  $W_j$  são os intervalos de importância estimados.

$$[L_{a_{ij}}, V_{a_{ij}}] \subseteq \frac{w_i}{w_j} = \left[ \frac{w_i^{c*} - d_i}{w_j^{c*} + d_j}, \frac{w_i^{c*} + d_i}{w_j^{c*} - d_j} \right] \quad (4)$$

Usando os centros  $W_i^{c*}$  obtidos pelo cálculo dos autovetores, os raios devem ser minimizados sujeito às condições de restrição que permitam que a Equação 4 seja satisfeita para todos os elementos, gerando o programa linear expresso pela Equação 5.

$$\text{Min } \lambda \quad (5)$$

sujeito a:

$$\frac{w_i^{c*} - d_i}{w_j^{c*} + d_j} \leq L_{a_{ij}}$$

$$V_{a_{ij}} \leq \frac{w_i^{c*} + d_i}{w_j^{c*} - d_j}$$

$$i = 1, \dots, n-1 \quad j = i+1, \dots, n \quad d_i \leq \lambda$$

Conforme Jablonsky (2005), os julgamentos no IAHP podem ser considerados variáveis aleatórias definidas no intervalo dado, de modo que o mesmo deixa de ser um modelo puramente determinístico e passa a contar com elementos estocásticos. Por esse motivo, não pode ser analisado da forma tradicional, sendo necessário que se utilize uma

abordagem que respeite esse caráter estocástico, como a recém apresentada. Uma alternativa computacional interessante é a simulação de Monte Carlo que, na opinião do autor, é bastante simples e oferece os limites inferior e superior para as preferências em um curto espaço de tempo.

Outra modificação do modelo original do AHP, chamado *Voting Analytic Hierarchy Process*, ou VAHP, é apresentada por Liu e Hai (2005). O modelo estrutura a hierarquia dos critérios tal qual no AHP padrão, mas ao invés de estruturar as matrizes de comparação e calcular os autovetores, no VAHP a priorização dos elementos e subsequente cálculo de suas importâncias relativas são realizados de modo mais simples, a partir de votação direta entre um grupo de interessados, por exemplo gerentes da organização. O método detalhado de aplicação do método foge ao escopo desta dissertação, embora o artigo de Liu e Hai (2005) forneça uma boa apresentação aos interessados.

Extensões ao modelo proposto por Saaty, como o IAHP e o VAHP, são interessantes por permitir uma ampliação no campo de aplicações viabilizadas pela técnica. Em qualquer modelo derivado do original, assim como no AHP tradicional, busca-se a combinação de critérios importantes na avaliação do alvo em estudo com as suas prioridades, baseado nos insumos providos por diversos especialistas com diferentes percepções em uma estrutura hierárquica. É uma abordagem lógica cuja sistemática visa melhorar os processos complexos de avaliação por diversas pessoas e diversos atributos existentes em diversas instituições. O AHP também ajuda as organizações a entenderem e visualizarem os diferentes aspectos envolvidos na análise de problemas. Entretanto, dificuldades e desafios existem e devem ser tratados com cuidado, especialmente ao identificar os critérios mais relevantes, determinar as suas importâncias relativas e combinar os fatores em uma hierarquia, o que requer discussões extensivas e seções de *brainstorming* e acumulação de experiência, bem como conhecimento de diversas partes envolvidas (YURDAKUL; IÇ, 2004).

### 2.5.1.3 Considerações sobre o AHP

O AHP já foi empregado por acadêmicos em mais de 2000 estudos, garante Liedtka (2005). O número e diversidade de aplicações do AHP continuam a crescer porque o AHP é simples de empregar e é baseado em técnicas bem estabelecidas e teoricamente sólidas. Segundo Vaidya e Kumar (2006), os principais periódicos responsáveis pela publicação de trabalhos envolvendo o AHP são: *European Journal of Operational Research*, *International*

*Journal of Production Economics, Information and Management, Omega, Interfaces, International Journal of Project Management, Computer and Industrial Engineering, Computers and Operations Research, Journal of the Operational Research Society, IIE Transactions, IEEE Transactions, Decision Support Systems, International Journal of Quality and Reliability Management e Socio-Economic Planning Science.*

O artigo de Vaidya e Kumar (2006) leva à observação de que, em seus estágios iniciais, o AHP era usado sozinho em aplicações e que, na medida em que a confiança dos pesquisadores na técnica aumentou, passaram a experimentá-la em combinação com outras abordagens. Para os autores, percebendo a necessidade de refinar seus resultados, pesquisadores passaram a usar versões modificadas do AHP, ou AHP combinado com outras ferramentas como programação linear e redes neurais artificiais. Isso significa que o AHP possui uma flexibilidade natural que o faz ser combinado efetivamente com diversas técnicas, concluindo que o AHP é uma ferramenta flexível de tomada de decisão multicritério. Os autores ainda fazem algumas declarações salientando as suas expectativas quanto ao curso futuro de aplicações do AHP, transcritas a seguir:

- o AHP será usado amplamente para tomada de decisão;
- o uso do AHP está crescendo nos países em desenvolvimento;
- o foco parece estar se dirigindo para a combinação de outras técnicas com o AHP. Com isso, pode-se tirar vantagem da versatilidade do AHP juntamente com o uso focado de técnicas de suporte;
- os *softwares* buscarão integrar aplicações do AHP com outras técnicas para representar situações da vida real.

Rebatendo críticas ao método, Gass (2005) afirma que o AHP tem sido amplamente testado no mercado, e sua aceitação como um novo paradigma para a tomada de decisão tem sido notável. Para o autor, o AHP é teoricamente sólido, prontamente compreensível, facilmente implantado e capaz de produzir resultados que atendam às expectativas. Gass se declara um grande fã do AHP e faz um apelo pela continuidade das pesquisas e publicações envolvendo o modelo.

A essência do AHP é o uso de escalas proporcionais na elaboração de estruturas para a avaliação de problemas complexos. Na concepção de Saaty (1994), a técnica se encaixa muito bem nas palavras de Thomas Paine em seu livro *Senso Comum*: “quanto mais simples qualquer coisa for, menos sujeita ela estará a ser desordenada e mais facilmente será consertada quando desordenada”.

Desse modo, o AHP desponta como um método estruturado para a análise de problemas onde existam diversas variáveis a serem avaliadas simultaneamente, num contexto que envolve diversos níveis e critérios, e que viabiliza a análise quantitativa de critérios qualitativos. Esse é um método amplamente discutido, sendo que as recentes inovações teóricas no que se refere a modelos de tomada de decisão têm feito com que o AHP seja uma das ferramentas de suporte à decisão multicritério mais utilizadas na atualidade. Recentemente, observa-se, ainda, a utilização do AHP em conjunto com outros métodos de análise multicriterial. A aplicação conjunta com um desses métodos, a análise envoltória de dados, apresentada em seguida, permite o desenvolvimento de modelos capazes de aproveitar características do AHP para suprir carências da DEA, criando, assim, um modelo de avaliação mais robusto.

### **2.5.2 Data Envelopment Analysis - DEA**

O conceito de economia do bem estar foi criado por Vilfredo Pareto, o economista responsável pela definição de um vetor cujos componentes eram as utilidades dos consumidores. De acordo com a sua teoria, a eficiência do bem estar poderia ser alcançada somente quando não fosse possível aumentar algum componente do vetor de utilidades sem que se reduzisse qualquer dos outros componentes. Esses preceitos foram adaptados ao ambiente produtivo por Tjalling Koopmans, segundo o qual um vetor de *outputs*, ou resultados, somente seria considerado eficiente se não fosse possível aumentar um de seus componentes sem piorar os demais. Além disso, o vetor de *outputs* estaria limitado à disponibilidade de *inputs* – insumos. A eficiência Pareto-Koopmans é considerada o elemento-base sobre o qual se alicerçam diversos conceitos da DEA (AREAS, 2005).

Às idéias preliminares desenvolvidas por Pareto e Koopmans, somam-se duas contribuições levantadas em meados do século passado e que foram importantes para o surgimento da DEA. Debreu (1951) desenvolveu o coeficiente de utilização de recursos, o qual passou a permitir a medida radial da eficiência técnica permitindo que o grau de ineficiência de um vetor fosse determinado. Os trabalhos de Farrell (1957), por sua vez, aprofundaram os estudos de Debreu (1951) para introduzir uma medida simples para a eficiência organizacional.

Farrell (1957) usa a função de produção segmentada para estimar a fronteira de produção, afirmando que a eficiência gerencial de uma empresa é composta por duas

classificações: a eficiência técnica e a eficiência alocativa. Sob a sua concepção, a fronteira de melhores práticas, que representa a fronteira técnica alcançável, diz respeito à capacidade máxima de geração de *outputs* de uma empresa obtida a partir de um montante fixo de *inputs*, bem como, para cada índice de *outputs* desejado, apontar o mínimo necessário de *inputs*. A eficiência alocativa, por sua vez, é descrita como a habilidade de uma empresa ao usar os *inputs* mais apropriados para produzir determinados bens, dados os custos relativos fixos das tecnologias de produção. De acordo com o modelo, a eficiência de uma unidade pode ser determinada pela distância entre o valor de *output* observado e a fronteira eficiente, de modo que uma unidade é dita ineficiente se seus *outputs* e *inputs* estiverem abaixo da fronteira de melhores práticas.

Duas décadas mais tarde, sob a supervisão de William W. Cooper, o aluno Edward Rhodes precisava medir a eficiência de programas educacionais implantados pelo governo dos Estados Unidos para crianças carentes, como parte de sua pesquisa para a obtenção do grau de PhD na *Carnegie Mellon University's School of Urban and Public Affairs*, rebatizada em 1991 como *H. John Heinz III School of Public Policy and Management*. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) deram mais precisão às idéias de Farrell (1957) sugerindo, de acordo com Gattoufi *et al.* (2004), um modo de lidar com a eficiência na prática.

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) apresentaram um algoritmo de solução baseado em programação linear para o problema apresentado por Farrell (1957), definindo eficiência e justificando a necessidade de se utilizar uma medida relativa ao invés de absoluta. Desse modo, desenvolveram o primeiro modelo DEA, conhecido como CCR, em referência às iniciais de seus autores, ou ainda CRS, do inglês *Constant Returns to Scale*. O termo *Data Envelopment Analysis*, traduzido para o português como Análise Envoltória de Dados, foi introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e definido como um método para ajustar dados a exigências teóricas como superfícies ótimas de produção, antes de ser utilizado em testes estatísticos com propósito de análise de políticas públicas. Os mesmos autores afirmam que o objetivo da técnica é medir a eficiência da utilização de recursos qualquer que seja a combinação dos mesmos ou tecnologias adotadas.

Faz-se importante, neste momento, ressaltar o fato de que, embora a comparação entre resultados gerados e insumos consumidos no processo esteja geralmente associada ao conceito de produtividade, conforme sugerido por Sink e Tuttle (1993) e Campos (1993), a literatura consultada é unânime ao tratar o resultado da aplicação da DEA como uma medida de eficiência, voltada à capacidade administrativa de se produzir o máximo de resultados a



partir do mínimo de insumos. Golany e Yu (1997) são bastante específicos ao afirmar que as melhorias em produtividade são discutidas de cinco formas fundamentais: (i) produzindo-se os mesmos produtos com menos recursos; (ii) produzindo-se mais produtos com os mesmos recursos; (iii) produzindo-se mais consumindo-se menos; (iv) um grande aumento de produção para um pequeno aumento de consumo; e (v) uma pequena redução na produção para uma grande redução no consumo. Conforme os autores, a terminologia da DEA assume que, enquanto os três primeiros itens estão associados à “eficiência técnica”, os dois últimos caem na classificação de “eficiência de escala”. Deste modo, à razão entre resultados e insumos utilizados, este trabalho atribui o conceito de eficiência, a fim de manter a coerência com a literatura da área.

Segundo a conceituação proposta por Al-Faraj (2006), Ferrier, Rosko e Valdmanis (2006) e Hoff (2007), a DEA é uma técnica não estocástica e não-paramétrica para a medida da eficiência relativa de unidades organizacionais onde a presença de múltiplos *inputs* e *outputs* torna a comparação difícil. Por ser não-paramétrica, a técnica não exige que se assuma uma forma funcional para a função produção, ou seja, para o relacionamento entre *inputs* e *outputs*, ou para a distribuição de escores de eficiência. Nesse método, múltiplos *inputs* e *outputs* são usados para construir uma fronteira de melhores práticas. Essa fronteira é construída pela solução de problemas de programação linear. A eficiência de uma unidade, também chamada de eficiência de Farrell, é auferida pela sua posição relativamente à fronteira de melhores práticas.

A DEA é, observando a descrição de Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002), um modelo matemático que mede a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão com múltiplos *inputs* e *outputs*, mas que não apresentam uma função de produção óbvia para agregar os dados na sua totalidade. O resultado da DEA é a determinação dos planos que definem uma superfície envoltória, ou fronteira de Pareto, como ilustrado pela Figura 3 para o caso simplificado de um exemplo com dois *outputs* e um *input*. As unidades que estiverem sobre a superfície, neste caso representadas pelos pontos A, B, C e D, determinam a envoltória e são julgadas eficientes, enquanto aquelas situadas fora da superfície são julgadas ineficientes. De modo simplificado, a eficiência de uma unidade ineficiente, como o ponto E, é dada pela razão entre a distância entre o ponto e a origem, e a projeção do ponto na fronteira eficiente e a origem, ou  $OE / OE'$ .

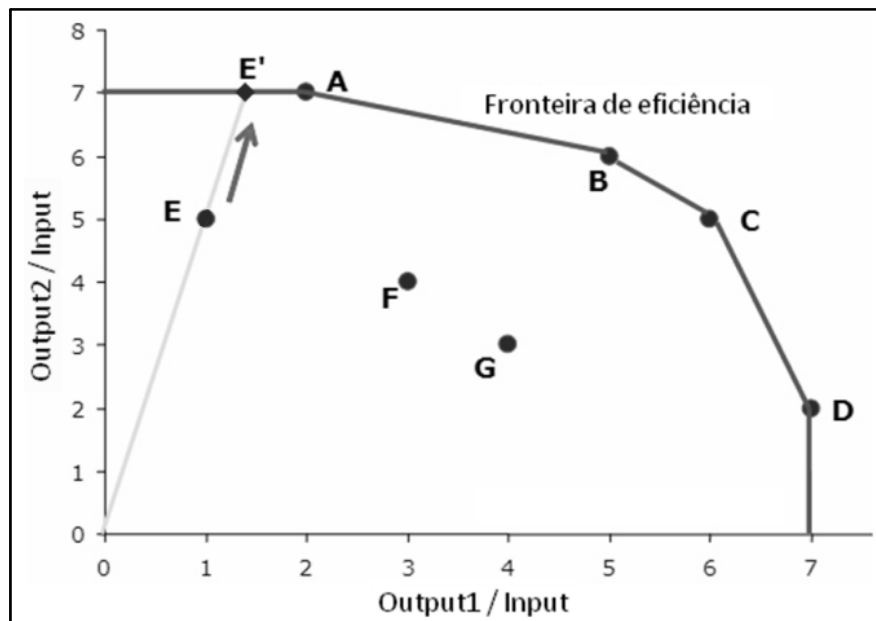


Figura 3: Representação da fronteira de eficiência

A formulação para a DEA, ainda conforme Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002), pode ser descrita em um programa linear que pode ser resolvido de modo relativamente simples, sendo que a DEA deve resolver  $n$  programas, um para cada unidade. Na concepção de Charnes, Cooper e Rhodes (1981), a função descrita por esse programa linear é denominada como *inter-envelope*, uma vez que envelopa as demais funções do conjunto. Desse modo, o nome *Data Envelopment Analysis* (DEA) surge da aplicação desse conceito aplicado a dados observacionais usados para estabelecer as fronteiras de eficiência por meio desses procedimentos de envelopamento.

Segundo Wang (2006), o propósito primário da DEA é computar a eficiência técnica de unidades organizacionais. Na mensuração da eficiência técnica, a transformação de *inputs*, como os serviços dos funcionários e as matérias-primas, em *outputs* é comparada às unidades organizacionais seguidoras das melhores práticas. Resumidamente, uma eficiência técnica de 100% é alcançada quando, em relação às demais unidades sob análise, nenhum desperdício de *inputs* tiver ocorrido na geração de um montante específico de *outputs*.

Min e Foo (2006) caracterizam a DEA como uma técnica capaz de converter os múltiplos *inputs* e *outputs* de cada unidade em uma medida escalar de eficiência operacional, relativamente às suas unidades competidoras. Ainda de acordo com os autores, a DEA foi concebida para identificar as unidades de melhores práticas sem conhecimento *a priori* de quais *inputs* e *outputs* são mais importantes na determinação da medida de eficiência e avaliar o tamanho da ineficiência para as demais unidades.

A DEA pode, também, ser definida como um modelo de programação matemática aplicado a dados observacionais que, em consonância ao parecer de Chen (2007), fornece um novo método para a obtenção de estimativas empíricas de relações extremas, tais quais as funções produção ou superfícies de possibilidades de produção eficientes que são fundamentais na economia moderna. Além disso, conforme exposto em Lozano e Villa (2005), o modelo tem sido extensivamente usado para avaliação da eficiência relativa de entidades comparáveis, tendo sido amplamente aplicada tanto no setor público quanto no privado.

Barros e Garcia (2006) sugerem que a DEA seja uma técnica apta a permitir à equipe gerencial a capacidade de se espelhar nas unidades de melhores práticas, usando-as como referência e fornecendo estimativas para a melhoria potencial que pode ser realizada pelas unidades ineficientes. De Pree Jr. e Jude (1995) corroboram Barros e Garcia (2006), garantindo ser a DEA uma ferramenta poderosa para gestores, que pode identificar o melhor desempenho e guiar a melhoria dos desempenhos ineficientes. Além disso, os autores qualificam a DEA como uma ferramenta que pode combinar muitas medidas de desempenho em um índice significativo de produtividade e que pode auxiliar no gerenciamento das unidades organizacionais rumo ao cumprimento de seus objetivos.

Resumidamente, de acordo com Min e Foo (2006), a DEA determina o seguinte:

- as unidades de melhores práticas que usam menos recursos para prover aos seus produtos ou serviços qualidade igual ou superior aos demais;
- as unidades menos eficientes comparadas àquelas de melhores práticas;
- o montante de recursos em excesso utilizado por cada unidade não eficiente;
- o montante de capacidade excessiva ou potencial de incremento de *outputs* para as unidades não eficientes sem haver necessidade de mais recursos.

A literatura é bastante rica ao enumerar os diversos benefícios da utilização da técnica de análise envoltória de dados. Algumas dessas vantagens são elencadas a seguir:

- em oposição à análise de Fronteira de Produção Estocástica (FPE), por exemplo, para a qual somente um *output* pode ser considerado, a DEA permite a incorporação de diversos *outputs*. Além disso, a DEA é não-paramétrica, o que significa que não é necessário assumir uma forma funcional para o relacionamento entre *inputs* e *outputs*, ou para a distribuição de escores de eficiência, novamente em oposição ao FPE, onde essas pré-considerações devem ser feitas (HOFF, 2007);

- ao contrário da aproximação de fronteira estocástica econométrica, a DEA não impõe qualquer forma funcional aos dados, nem realiza inferências distribucionais para o termo de ineficiência (BARROS, 2006);
- além de lidar com dados numa distribuição livre de probabilidade, a vantagem da DEA está na habilidade de manipular múltiplos *inputs* e *outputs*. A DEA pode, também, ser usada pelas companhias ineficientes para melhorar a eficiência em seus processos de conversão e a escala de operação (HSIAO; SU, 2006);
- a DEA requer suposições técnicas e comportamentais mínimas (SILVA; COSTA, 2006);
- sua aplicação apresenta relativa simplicidade ao demandar apenas as quantidades de *inputs* e *outputs* para computar a eficiência técnica. Adicionalmente, a DEA gera dados que identificam possíveis causas de ineficiência baseando-se na computação dos níveis de eficiência. Finalmente, a abordagem DEA sinaliza as unidades organizacionais que provaram ser eficientes na utilização de *inputs* (WANG, 2006).

Gregoriou (2006) aborda particularmente as vantagens da utilização da DEA em relação a técnicas tradicionais paramétricas como a regressão. A análise de regressão, lembra o autor, aproxima a eficiência das unidades sob investigação relativamente ao seu desempenho médio no período de análise. Em contraste aos métodos de regressão, a DEA foca nas observações individuais das unidades e otimiza a medida de eficiência para cada uma delas. Um cuidado apropriado deve ser tomado, contudo, na determinação dos *inputs* e *outputs*. A base da análise por regressão foca em tendências centrais, enquanto a DEA foca em observações extremas. A análise tradicional por regressão especifica equações lineares que são assumidas de modo a descrever adequadamente cada unidade sob análise. Em contraste, a DEA examina cada unidade unicamente através da geração de escores individuais de eficiência relativa em comparação com toda a amostra sob investigação. Além disso, a DEA se beneficia em relação à regressão por não requerer hipóteses levantadas com antecedência a respeito da forma específica da função produção. Em vez disso, a DEA cria uma fronteira de melhores práticas baseada apenas nos valores das observações individuais, fazendo com que equívocos de má especificação, um problema freqüente na análise por regressão e que pode conduzir a conclusões incorretas, sejam evitados. Além disso, a DEA evita problemas tradicionalmente associados a modelos baseados em regressão que requerem que se façam conjecturas sobre o relacionamento exato entre as variáveis de *inputs* e *outputs*.

Finalmente, Gregoriou (2006) conclui que os resultados obtidos com a análise por regressão podem não oferecer um *insight* sobre como melhorar o desempenho aos gestores das unidades, tal qual a DEA pode.

Um ponto fraco da DEA, da forma como é geralmente implantada, é apontado por Ferrier, Rosko e Valdmanis (2006), e diz respeito à inexistência de tolerância ao ‘ruído’. Como resultado, todos os desvios em relação à fronteira são tipicamente considerados desempenhos ineficientes. Além disso, Seydel (2006) chama a atenção para o fato de a DEA, especialmente em sua forma pura, poder ser facilmente percebida como uma metodologia de ‘caixa-preta’, onde ‘coisas’ diversas acontecem e, então, surge uma solução.

Gattoufi *et al.* (2004) garantem que a DEA ainda está amadurecendo. Existem muitos sinais atestando esse efeito, justificam os autores, os quais incluem livros-texto sendo publicados e *softwares* sendo desenvolvidos para a implantação da metodologia.

Em seu trabalho, Gattoufi *et al.* (2004) realizaram uma pesquisa sobre a disseminação de publicações a respeito do tema Análise Envoltória de Dados. Uma das constatações do trabalho é que o artigo de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) já apresentava 989 citações até Fevereiro de 2003, um clássico para os padrões bibliométricos, por ter superado a marca de 500 citações<sup>3</sup>. Outro resultado relevante mostra que, desde o seu primeiro desenvolvimento, a DEA recebeu um alto número e alta incidência de aplicações no mundo real: em 1995, 700 artigos já haviam sido publicados em jornais referenciados, e em agosto de 2001 já eram 1800 artigos. De acordo com a referida pesquisa, os principais publicadores de artigos sobre a DEA são: *European Journal of Operational Research*, *Journal of Productivity Analysis*, *Journal of Operational Research Society*, *Annals of Operations Research*, *Management Science*, *OMEGA*, *Applied Economics*, *Socio-Economic Planning Sciences*, *Computers and Operations Research*, *INFOR*, *Interfaces*, *Journal of Banking and Finance*, *Journal of Econometrics*, *Operations Research Letters*, *Operations Research* e *International Transactions on Operations Research*.

Enquanto algumas das aplicações recentes da DEA são apresentadas na Figura 4, o restante desta seção trata de apresentar alguns modelos de aplicação da Análise Envoltória de Dados. Os dois primeiros, introduzidos por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984), e conhecidos respectivamente por CCR e BCC, são mais

---

<sup>3</sup> Um levantamento realizado pelo autor desta dissertação, utilizando como referência a base de dados *ISI Web of Knowledge<sup>SM</sup>*, apontou a publicação de 1683 artigos com citação ao artigo original de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) até dezembro de 2007 e 2045 artigos até novembro de 2008.

Autor	Aplicação	Inputs	Outputs
Al-Faraj (2006)	Seleção de revendedores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade tecnológica do revendedor</li> <li>- Estabilidade financeira</li> <li>- Sistema de qualidade</li> <li>- Tamanho do negócio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desempenho histórico de entregas</li> <li>- Qualidade do serviço de pré e pós-venda</li> <li>- Qualidade do produto</li> <li>- Preço/custo</li> </ul>
Barros (2006)	Eficiência do corpo policial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nº de policiais</li> <li>- Remuneração da polícia</li> <li>- Nº de veículos</li> <li>- Outros custos</li> <li>- Nº de roubos</li> <li>- Nº de crimes relat tráfico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nº de operações de busca</li> <li>- Nº de operações contra o tráfico</li> <li>- Nº de pequenas infrações</li> <li>- Esclarecimento de roubos</li> <li>- Escl crimes relat tráfico</li> </ul>
Barros e Garcia (2006)	Comparação entre operadores de fundos de pensão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número equivalente de colaboradores em tempo integral</li> <li>- Capital fixo</li> <li>- Contribuições recebidas de participantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de fundos gerenciados</li> <li>- Valor dos fundos gerenciados</li> <li>- Pensões pagas a cotistas</li> </ul>
Gregoriou (2006)	Comparação entre fundos de investimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desvio padrão médio mensal do rendimento</li> <li>- Retorno médio em períodos de baixa</li> <li>- Máxima queda percentual do topo ao vale antes de um novo topo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % de meses com rendimento positivo no ano</li> <li>- Retorno composto mensal anualizado</li> </ul>
Hsiao e Su (2006)	Determinação da eficiência dos investimentos para seguradoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor depositado em bancos</li> <li>- Valor em ações e outras apólices</li> <li>- Valor emprestado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Receita de juros</li> <li>- Ganhos em ações</li> <li>- Ganhos em investimentos imobiliários</li> </ul>
Hsu <i>et al.</i> (2006)	Examinar a eficiência da governança corporativa na eficiência gerencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor dos bens</li> <li>- Despesas com gestão e vendas</li> <li>- Nº de funcionários</li> <li>- Risco: capital/part acionistas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faturamento com vendas</li> </ul>
Jahanshahloo <i>et al.</i> (2007)	Comparação entre agências bancárias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funcionários</li> <li>- Terminais de computador</li> <li>- Área ocupada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depósitos recebidos</li> <li>- Empréstimos concebidos</li> <li>- Taxas cobradas</li> </ul>
Lu e Lo (2007)	Avaliação ambiental do desenvolvimento regional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reservas de capital</li> <li>- Nº de pessoas empregadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PIB</li> <li>- Emissões de SO2</li> <li>- Emissões de fuligem industrial</li> <li>- Emissões de poeira industrial</li> </ul>
Min e Foo (2006)	Escolha de fornecedores de serviços logísticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recebíveis</li> <li>- Salários e benefícios</li> <li>- Custos com propriedade e equipamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faturamento operacional</li> </ul>
Rosko, Ferrier e Valdmanis (2006)	Avaliação do impacto dos serviços não remunerados na habilidade dos hospitais proverem serviços remunerados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nº de leitos</li> <li>- Enfermeiras registradas</li> <li>- Enfermeiras licenciadas</li> <li>- Residentes</li> <li>- Outros funcionários</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cirurgias em pacientes</li> <li>- Cirurgias ambulatoriais</li> <li>- Atendimentos na emergência</li> <li>- Atendimentos ambulatoriais</li> <li>- Nº de pacientes-dia</li> <li>- Serviços não remunerados</li> </ul>
Sarica e Or (2007)	Verificação da eficiência em usinas de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo do investimento</li> <li>- Tempo de construção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade instalada</li> <li>- Utilização média</li> </ul>
Silva e Costa (2006)	Verificação da teoria da ignorância racional em eleitores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gastos correntes do município</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- População total</li> <li>- Nº de escolares até a 4ª série</li> <li>- kms de estradas municipais</li> <li>- Lixo gerado no município</li> <li>- Consumo de água no município</li> <li>- Pop servida por rede de esgotos</li> </ul>

Figura 4: Exemplos de aplicações recentes da Análise Envoltória de Dados

tradicionais e buscam apenas avaliar a eficiência relativa das unidades organizacionais, sendo que o segundo diferencia a eficiência técnica da eficiência de escala.

#### 2.5.2.1 Modelo CCR

Como visto anteriormente, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) basearam-se no conceito de eficiência técnica de Farrell (1957), ampliando-o para avaliar unidades tomadoras de decisão, denominadas DMUs – do inglês *Decision Making Units* – com múltiplos *inputs* e *outputs*. Hsu *et al.* (2006) lembram que os criadores da DEA propuseram-na primeiramente como um modelo de programação fracionária e, então, a substituíram por um problema de programação linear, desenvolvendo-a até chegar ao CCR. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) justificam o uso do termo DMU afirmando que o mesmo ajudaria a enfatizar que seus interesses estão centrados na tomada de decisão para entidades sem fins lucrativos ao invés das tradicionais ‘empresas’ e ‘indústrias’.

Banker, Charnes e Cooper (1984) afirmam que a natureza das principais aplicações do CCR está relacionada à avaliação do gerenciamento e eficiência de ‘programas’ das DMUs em entidades sem fim lucrativo, como escolas e hospitais. Min e Foo (2006) expandem a abrangência do termo DMU, afirmando que o mesmo se refere à coleção de empresas privadas, organizações sem fins lucrativos, departamentos, unidades administrativas e grupos com os mesmos (ou similares) objetivos, funções padrões e segmentos de mercado.

A medida de eficiência proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) para qualquer DMU é obtida como sendo a maior razão entre *outputs* ponderados e *inputs* ponderados sujeitos à condição de que as razões para cada DMU sejam menores ou iguais à unidade, como expresso pela Equação 6.

Desse modo, a eficiência de um membro desse conjunto de referência de  $j = 1, \dots, n$  DMUs é avaliado em relação às demais DMUs, e a maximização concede a cada DMU o valor mais favorável permitido pelas restrições. Essa razão entre os múltiplos *inputs* e *outputs* é originada, na denominação de Jahanshahloo *et al.* (2007), por um *output* virtual único e um *input* virtual único.

$$\text{Max } h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ para } r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m.$$

onde  $h_k$  é a função objetivo,  $y_{rj}$ ,  $x_{ij}$  – todos positivos – são, respectivamente, os *outputs* e *inputs* conhecidos da  $j$ ésima DMU e  $u_r, v_i \geq 0$  são os pesos variáveis não negativos a serem determinados pela solução desse problema e que não permitem a qualquer DMU obter eficiência maior do que 1.

Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002) afirmam que o resultado da DEA é a determinação de um plano que define a superfície envoltória, também chamada de fronteira de Pareto. Desse modo, a Equação 6 pode ser traduzida em um programa linear, expresso pela Equação 7, para o caso de orientação para *input*. Analogamente, pode-se desenvolver um modelo com orientação para *output*, representado pela Equação 8. Ambos são conhecidos como o modelo dos multiplicadores, sendo que uma análise DEA completa deve resolver  $n$  programas lineares, um para cada DMU.

$$\text{Max } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

$$\text{Min } \frac{1}{h_k} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \quad (8)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m u_r y_{rk} = 1,$$

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

onde  $\varepsilon$  é um número positivo pequeno (como 0,0000001) para evitar a atribuição do valor zero a qualquer insumo ou produto. Os vetores  $v$  e  $u$  são os multiplicadores DEA para atributos de *inputs* e *outputs* e são as variáveis de decisão da programação linear.



O modelo 7 visa minimizar o consumo de insumos, de modo a permitir a produção de, pelo menos, o nível de produção dado pela maximização da soma dos produtos entre as quantidades produzidas  $y$  e os pesos  $u$ . No modelo 8, por outro lado, objetiva-se maximizar o nível de saída mantendo o consumo inalterado.

A forma dual – modelo do envelope – do problema de programação linear proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) para o cálculo do índice de eficiência técnica é expressa pelas Equações 9 e 10, respectivamente para os casos de orientação *input* e *output*. Para o caso de uma DMU eficiente, todas as variáveis duais se igualarão a zero, com exceção de  $\lambda_k$ ,  $f_k$  e  $g_k$ , que refletirão a eficiência da unidade  $k$ , sendo iguais a 1. Na forma dual,  $f_k$  e  $g_k$  representam a eficiência e  $\lambda_j$  representa a contribuição da DMU  $j$  na formação do alvo da DMU  $k$ .

Através da solução da programação linear, cada DMU é livre para escolher seus multiplicadores ótimos de modo a, nas palavras de Bernroider e Stix (2007), aparentar-se melhor, sob a restrição de que nenhuma outra DMU, dados os mesmos multiplicadores, seja mais de 100% eficiente. Como resultado, uma fronteira de Pareto é obtida, o chamado envelope, caracterizado por pelo menos uma DMU 100% eficiente. Ainda, segundo os autores, os escores de eficiência do modelo CCR basicamente agrupam as alternativas em dois conjuntos: aqueles 100% eficientes, que definem a fronteira, e aqueles ineficientes. Al-Faraj (2006) reforça essa questão, enfatizando que, na aplicação da DEA, os pesos não são determinados subjetivamente e que a técnica permite a cada DMU adotar um conjunto de pesos que a torne mais favorável em relação às demais unidades.

$$\text{Min } f_k \quad (9)$$

Sujeito a:

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + f_k x_{ik} \geq 0 \text{ para } i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{rk} \geq 0 \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n.$$

$$\text{Max } g_k \quad (10)$$

Sujeito a:

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + x_{ik} \geq 0 \text{ para } i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - g_k y_{rk} \geq 0 \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n.$$

Os próprios Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propõem que esses resultados sejam utilizados para obter uma superfície correspondente a uma relação bem definida entre *outputs* e *inputs*. Para o caso de um único *output*, essa relação corresponde à função na qual o *output* é máximo para todos os *inputs* considerados, o que preenche formalmente as exigências da

‘função produção’ ou, mais genericamente, da ‘superfície de possibilidades de produção’, no caso de múltiplos *outputs*.

A eficiência determinada pode ser interpretada como um potencial de economia. Como exemplificado por Eling (2006), um valor de 0,8 significa que, com produção eficiente, a mesma quantidade de *outputs* poderia ser alcançada com um *input* 20% menor, o que confirma o fato de a DEA não medir apenas a eficiência, mas fornecer também um guia sobre como melhorar a eficiência de unidades ineficientes.

De modo a resolver o problema de programação linear, Barros e Garcia (2006) sugerem que o usuário deva dedicar atenção especial à escolha da orientação *input-output* do modelo. Charnes, Cooper e Rhodes (1981) afirmam que a orientação para *outputs* aponta uma DMU como não eficiente se for possível aumentar qualquer *output* sem incrementar qualquer *input* e sem diminuir qualquer outro *output*. Por outro lado, a orientação para *inputs* classifica uma DMU como não eficiente se for possível diminuir qualquer *input* sem aumentar qualquer outro *input* e sem reduzir qualquer *output*. Sanjeev (2006) sugere que, quando o *output* não puder ser controlado, prefira-se a orientação para *input*. De acordo com Barros e Garcia (2006), a escolha da orientação é baseada em condições de mercado da DMU. Como regra geral, em mercados competitivos, DMUs são orientadas a *output* desde que se assuma que os *inputs* estão sob o controle da DMU, que deseja maximizar seus *outputs* de acordo com a demanda do mercado (algo que foge ao controle da DMU). Em mercados monopolistas, as unidades analisadas são orientadas para *inputs*.

Nos estudos sobre a DEA, a chave para o sucesso está na seleção dos *inputs* e *outputs*. Isso se deve ao fato de as definições diferentes de *inputs* e *outputs* poderem conduzir a diferenças significativas nos resultados. As eficiências produzidas pelos *inputs* incluem (HSU *et al.*, 2006):

- Eficiência Técnica, ou Geral: habilidade de produzir mais *outputs* usando um dado montante de *inputs* ou a habilidade de consumir menos *inputs* para produzir dada quantidade de *outputs*.
- Eficiência Alocativa: refere-se ao uso de diferentes combinações de fatores de *input* na produção da mesma quantidade de *outputs*. Para a eficiência alocativa ser maior, deve-se usar a combinação mais econômica e que incorre em menos custos na conversão.
- Eficiência de Produção: é igual à eficiência técnica multiplicada pela eficiência alocativa.

- Eficiência de Escala: obtida através da decomposição da eficiência técnica. Mede a razão entre a quantidade de *inputs* mais apropriada para a escala de produção e a quantidade de *inputs* efetivamente usada pela unidade sob dado nível de produção. Quando a escala é muito pequena, os benefícios da economia de escala não estão sendo usufruídos pela unidade. Uma escala muito grande resulta na inabilidade de usar adequadamente os recursos. Ambas levam à redução da eficiência e, conseqüentemente, dos lucros.
- Eficiência Técnica Pura: pode ser vista como um reflexo de decisões gerenciais apropriadas. É obtida pela divisão da eficiência técnica no CCR pela eficiência de escala, de modo que, para duas firmas operando na mesma escala de produção, se uma delas requerer mais insumos que a outra, haverá uma ineficiência pura nessa unidade.

Uma questão de relevância para o sucesso da aplicação da DEA diz respeito a quantos *inputs* e *outputs* devem ser considerados. Contra-intuitivamente, Eling (2006) declara que o uso de muitos *inputs* e *outputs* é de pouca valia porque, quando o número de *inputs* e *outputs* aumenta, mais DMUs tendem a alcançar escore de 1, uma vez que se tornam especializadas demais para serem avaliadas em relação a outras unidades. Ainda segundo o autor, a inclusão de muitos *inputs* e *outputs* pode inflar artificialmente os escores de eficiência, uma vez que a adição de cada variável cria uma nova dimensão na qual o modelo buscará a comparação com os pares. Assim, uma regra geral é que deveria haver pelo menos três DMUs para cada *input* e *output* na implementação da DEA, instrução essa confirmada por diversos outros autores, como Barros (2006) e Sigala *et al.* (2004).

Hsiao e Su (2006) e Eling (2006) lembram que o CCR assume retornos constantes de escala, ou seja, que uma variação qualquer no consumo de insumos gera uma variação proporcional no nível de produtos, e pode, assim, medir e explicar a eficiência geral. Entretanto, assumindo esses retornos constantes de escala, as economias potenciais resultantes das possíveis economias de escala são ignoradas pelo modelo, algo que visa ser estudado pelo modelo proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984): o BCC.

#### 2.5.2.2 Modelo BCC

Seis anos após a primeira publicação sobre a DEA, Banker, Charnes e Cooper (1984), conforme elucidado por Hsu *et al.* (2006), aplicaram o conceito do economista Shephard, desenvolvido em meados do século passado, e ampliaram o conceito do CCR e seu

escopo de aplicação, desenvolvendo-o para o BCC. O BCC, cujo nome, a exemplo do CCR, deriva das iniciais de seus autores, elimina a suposição de retornos constantes à escala do CCR e a substitui por retornos variáveis à escala, ou VRS – do inglês *Variable Returns to Scale* – para avaliar a eficiência técnica pura de diversas DMUs. Desse modo, o axioma da proporcionalidade é substituído pelo axioma da convexidade, permitindo a identificação de retornos crescentes e decrescentes de escala.

De acordo com Banker, Charnes e Cooper (1984), o objetivo do BCC é desenvolver um procedimento para a medida de eficiência que forneça valor igual a 1 se, e somente se, a DMU estiver sobre a superfície de produção eficiente, mesmo que não esteja operando na escala mais eficiente. Essa identificação da superfície de produção eficiente também deve permitir a identificação das classes de ganhos, a fim de determinar se prevalecem os ganhos crescentes, constantes ou decrescentes à escala, nos diversos segmentos da superfície de produção.

Se diferenças de escala tiverem uma influência na eficiência das unidades, assumir retornos constantes de escala pode levar a uma confusão da eficiência de escala devido a diferenças de tamanho e à eficiência técnica. Empregando uma variável adicional  $u^*$  ou  $v^*$ , a abordagem de Banker, Charnes e Cooper (1984) introduz o retorno variável à escala – VRS, representado para os casos de orientação *input* e *output* pelas Equações 11 e 12, respectivamente.

$$\text{Max } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u^* \quad (11)$$

$$\text{Min } \frac{1}{h_k} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - v^* \quad (12)$$

Sujeito a:

$$-\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u^* \leq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v^* \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m u_r y_{rk} = 1,$$

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

A forma dual do BCC é praticamente idêntica à do CCR, expressa pelas Equações 9 e 10, sendo que a restrição  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ , representação matemática da permissão de convexidade da fronteira, é incluída nos modelos de programação. Nas Equações 11 e 12,  $u^*$  e  $v^*$  são as variáveis associadas à condição  $\sum_{j=1}^n \lambda_j$  sendo interpretados como fatores de escala e indicando:

quando positivos, retornos decrescentes à escala; quando nulos, retornos constantes de escala; e, quando negativos, retornos crescentes à escala.

O modelo BCC pode, conforme Barros e Garcia (2006), ser escolhido quando houver grande disponibilidade de *inputs* e *outputs*. Se essa alta disponibilidade de *inputs* e *outputs* for assumida, então a eficiência geral, ou EG, pode ser decomposta em dois componentes: eficiência técnica pura, ou ETP, e eficiência de escala, ou EE, tal que  $EG = ETP * EE$ . O BCC mede apenas a eficiência técnica pura, enquanto o índice CCR é composto da combinação não aditiva de eficiência técnica pura e eficiência de escala. Assumindo que a eficiência seja devida a habilidades gerenciais e efeitos de escala, o BCC pode ser interpretado como reflexo das habilidades gerenciais. Se a unidade tiver retornos decrescentes à escala, então é muito grande em tamanho e a escala deveria diminuir. Unidades com retornos crescentes à escala, por outro lado, são muito pequenas e deveriam ter sua escala expandida. Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002) destacam a necessidade de atenção para o fato de os resultados do CCR orientado a *input* e orientado a *output* serem os mesmos, o que não é o caso do BCC. Golany e Yu (1997) exemplificam um caso em que retornos crescentes de escala podem resultar de um modelo orientado para *input*, enquanto uma aplicação orientada para *output*, com os mesmos dados, pode encontrar retornos constantes de escala. Assim, no BCC, a orientação adotada como base para a solução do problema pode interferir no resultado final de determinação das unidades eficientes. A discussão a respeito desse fenômeno foge ao escopo deste trabalho.

O CCR também pode ser chamado de modelo de eficiência global, de acordo com Sarica e Or (2007), que também denomina o BCC de modelo de eficiência local. Ainda segundo o autor, a ineficiência que uma DMU exibe pode ter diferentes causas, fazendo-se necessário investigar se a mesma está sendo causada pela operação ineficiente da própria DMU ou por condições desvantajosas sob as quais a DMU está operando. A esse respeito, as comparações entre CCR e BCC merecem atenção. Se uma DMU for totalmente, ou seja, 100% eficiente tanto no CCR quanto no BCC, então está operando na escala de produção mais eficiente. Se, ao invés disso, a DMU apresentar escore 1 no BCC, mas não no CCR, então é localmente eficiente, mas não globalmente eficiente, devido ao seu tamanho de escala. Assim, é razoável caracterizar a eficiência de escala – EE – de uma DMU pela razão entre os dois escores  $EE = ef\ CCR / ef\ BCC$ , sendo que, por definição, a eficiência de escala não pode ser maior do que 1, como lembrado por Banker (1996), uma vez que o programa do BCC tem mais restrições que o do CCR e, por isso, um ponto considerado eficiente no CCR também será eficiente no BCC, embora a recíproca não seja necessariamente verdadeira.

A Figura 5 ilustra as fronteiras CCR e BCC para um caso simplificado de fronteira bi-dimensional (1 *input* e 1 *output*). Nessa figura, as DMUs B, C e E são BCC eficientes, mas somente E é CCR eficiente. Tanto A quanto D são ineficientes nos dois casos.

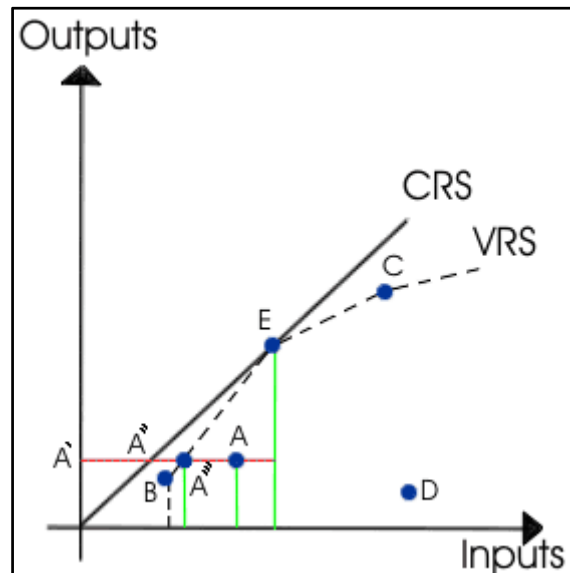


Figura 5: Fronteiras CRS (CCR) e VRS (BCC)  
Fonte: adaptado de Banker, Charnes e Cooper (1984)

Essa ilustração pode ser utilizada para reforçar os conceitos de eficiência técnica e de escala, usando a unidade A como objeto de estudo. A sua eficiência geral (CCR) é medida pela razão  $A'A''/A'A$ , comparando o ponto A com o ponto A'', que reflete a produtividade média atingível na melhor escala de produção, representada pela unidade E. A eficiência técnica pura de A é medida pela razão  $A'A'''/A'A$ , comparando A com o ponto A''', localizado sobre a fronteira eficiente de produção com a mesma escala que A. Finalmente, a eficiência de escala de A é medida pela razão  $A'A''/A'A'''$ . Fica aparente, pela observação da figura, que a eficiência geral (CCR) será sempre menor que a eficiência técnica pura (BCC). Essa relação também é válida para os casos de múltiplos *inputs* e *outputs*.

Uma extensão importante aos modelos convencionais de DEA, como salientado por Asmild *et al.* (2007), passa pela restrição dos pesos dos *inputs* e *outputs* das DMUs, através da incorporação de informações *a priori* na forma de julgamentos gerenciais. As abordagens mais abrangentes estudadas na literatura com respeito à definição de limites para os multiplicadores podem ser encontradas em Thompson *et al.* (1986; 1990), Charnes *et al.* (1990) e Wong e Beasley (1990) e serão discutidas a seguir. Esses complementos aos modelos DEA originais permitem a inclusão de restrições adicionais ao problema padrão – CCR ou BCC – de modo a contornar algumas de suas principais limitações.

### 2.5.2.3 Restrições de pesos no modelo DEA

Em sua forma mais pura, proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a DEA permite total flexibilidade na seleção de pesos dos multiplicadores, de modo que cada DMU atingirá a eficiência máxima possível para os seus valores de *inputs* e *outputs*. Essa completa flexibilidade na seleção dos pesos é importante na identificação das DMUs ineficientes, que têm desempenho sub-ótimo mesmo escolhendo o seu próprio conjunto de pesos. Como consequência, a gerência de uma DMU ineficiente não pode argumentar que não havia sido informada a respeito da importância vinculada pela alta gerência para determinado *input* ou *output*, uma vez que nenhum nível de priorização foi incluído na análise (ALLEN *et al.*, 1997).

O desenvolvimento inicial da DEA foi seguido por uma rápida expansão da teoria e aplicações sem, no entanto, comprometer o principal fundamento da DEA: a flexibilidade na seleção dos pesos. Ao longo dos anos, porém, diversas extensões e novos modelos foram incorporados à literatura a fim de melhorar o poder discriminatório da DEA. Thompson *et al.* (1986) introduziram o conceito de regiões de garantia – *assurance regions* – para a DEA em um trabalho cujo objetivo era escolher a melhor localização para um acelerador de partículas. Os métodos fundamentados nesse conceito buscam restringir o domínio dos multiplicadores baseando-se em informações obtidas *a priori* como a experiência prévia, opinião de especialistas ou senso comum. Desse modo, as limitações relacionadas às restrições de pesos obviamente reduzem a flexibilidade do modelo original mas, como ponderado por Green, Doyle e Cook (1996), estendem a utilidade da abordagem DEA em aplicações onde uma escolha irrestrita de pesos não seria teórica ou intuitivamente apropriada, ou pior: seria inútil na prática.

A evolução da utilização de julgamentos de valor, definidos por Allen *et al.* (1997) como constructos lógicos, incorporados em um estudo de avaliação da eficiência, refletindo as preferências do tomador de decisão no processo de avaliação da eficiência, deu-se naturalmente como um sub-produto da DEA, devido à necessidade de fazerem-se aplicações reais e concretas da técnica e inibindo a total liberdade na variação de pesos permitida pela DEA original, como lembrado por Sarrico e Dyson (2004).

Uma questão-chave a ser lembrada é que diferentes regiões de garantia geralmente conduzem a resultados diferentes com respeito ao número de DMUs identificadas como eficientes, e também ao escore obtido por cada unidade. Sueyoshi (1992) e Thompson *et al.* (1996) lembram que, como esperado, o número de DMUs classificadas como eficientes na

presença de restrições de peso é significativamente menor que os níveis normais encontrados quando da determinação da eficiência radial - CCR.

Na concepção de Allen *et al.* (1997), entre as principais razões que motivaram o uso dos julgamentos de valor na DEA, destacam-se: (i) incorporar informações *a priori* sobre o valor de *inputs* e *outputs* específicos; (ii) relacionar os valores de certos *inputs* e *outputs*; (iii) incorporar informações *a priori* sobre DMUs eficientes e ineficientes; (iv) a necessidade de a eficiência avaliada respeitar noções econômicas de substituição *input/output*, e; (v) permitir a discriminação entre unidades eficientes.

Existem diversas extensões do modelo original da DEA que incorporam os julgamentos de valor. As principais abordagens serão abordadas em seguida, em seções específicas.

#### 2.5.2.3.1 DEA com restrições diretas aos pesos dos multiplicadores

O modelo de programação linear expresso pela Equação 13, e proposto por Allen *et al.* (1997), ilustra algumas restrições diretas aos pesos desenvolvidas para a DEA. Deve-se observar que a exclusão das restrições r1 a r5 faz com que esse modelo se converta no CCR original.

$$\text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (13)$$

Sujeito a :

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$\kappa_i v_i + \kappa_{i+1} v_{i+1} \leq v_{i+2}, \quad \text{r1}$$

$$\alpha_i \leq \frac{v_i}{v_{i+1}} \leq \beta_i, \quad \text{r2}$$

$$\gamma_i v_i \geq u_r, \quad \text{r3}$$

$$\delta_i \leq v_i \leq \tau_i, \quad \text{r4}$$

$$\rho_r \leq u_r \leq \eta_r, \quad \text{r5}$$

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

onde os algarismos romanos ( $\kappa_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ ,  $\delta_i$ ,  $\tau_i$ ,  $\rho_i$ ,  $\eta_i$ ) são constantes especificadas pelo usuário para refletir os valores dos julgamentos, refletindo a importância relativa dos *inputs* e *outputs*.



Na equação, os cinco tipos de restrição podem ser divididos fundamentalmente em três categorias, a saber (ALLEN *et al.*, 1997):

- Regiões de Garantia do tipo I – ARI: as restrições  $r_1$  e  $r_2$  incorporam o peso relativo entre os *inputs* ou entre os *outputs* à análise. Os valores-limite para o ARI são dependentes da escala dos *inputs* e *outputs*, ou seja, são sensíveis às unidades de medida dos fatores relacionados. Foi usada pela primeira vez em Thompson *et al.* (1986);
- Regiões de Garantia do tipo II – ARII: não muito utilizada na literatura, é ilustrada pela restrição  $r_3$  e requer um relacionamento entre os pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs*. Assim como no ARI, o ARII é dependente da escala dos *inputs* e *outputs*. Foi usado pela primeira vez em Thompson *et al.* (1990);
- Restrições absolutas de peso: expressas pelas restrições  $r_4$  e  $r_5$ , são as mais difundidas na literatura. São usadas com o objetivo de evitar que determinados *inputs* ou *outputs* sejam ignorados ou enfatizados demais.

Conforme explicitado por Sarrico e Dyson (2004), no entanto, um dos problemas de restringir diretamente os multiplicadores absolutos é que eles são dependentes das unidades de medida dos *inputs* e *outputs*. Já os *outputs* e *inputs* virtuais, determinados como uma proporção da soma dos multiplicadores absolutos, são adimensionais. Os *inputs* e *outputs* virtuais revelam a contribuição relativa de cada *input* ou *output* para a avaliação da eficiência – quanto mais alto o valor do *input/output* virtual, maior a sua contribuição na determinação da eficiência da DMU. Na opinião dos autores, os pesos virtuais são muito mais intuitivos do que os absolutos, especialmente para pessoas não adaptadas ao uso da DEA.

#### 2.5.2.3.2 DEA com ajuste dos níveis de *inputs* e *outputs*

Um estudo desenvolvido por Charnes *et al.* (1990) levou ao desenvolvimento do *Cone-Ratio* DEA, ou CR-DEA. Nesse modelo, as regiões de garantia são especificadas pela definição de limites para os pesos que reflitam a importância relativa dos diferentes *inputs* e *outputs*. Essas restrições de pesos são representadas na forma de inequações, como as representadas nas Equações 14.1 e 14.2 e adicionadas ao modelo CCR, resultando num problema de programação linear representado pela Equação 15. Nesse método, um conjunto artificial de dados é gerado, produzindo os mesmos escores de eficiência relativa daqueles determinados pela adição da restrição  $r_2$  na Equação 13.

$$\alpha_r u_1 \leq u_r \leq \beta_r u_1 \quad \text{para } r = 2, \dots, s, \quad (14.1)$$

$$\alpha_i v_1 \leq v_i \leq \beta_i v_1 \quad \text{para } i = 2, \dots, m. \quad (14.2)$$

$$\text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (15)$$

Sujeito a :

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad \text{para } j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$\alpha_i u_1 - u_r \leq 0 \quad \text{para } r = 2, \dots, s,$$

$$\beta_r u_1 - u_r \geq 0 \quad \text{para } r = 2, \dots, s,$$

$$\alpha_i v_1 - v_i \leq 0 \quad \text{para } i = 2, \dots, m,$$

$$\beta_i v_1 - v_i \geq 0 \quad \text{para } i = 2, \dots, m,$$

$$u_r \geq \varepsilon \quad \text{para } r = 1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \varepsilon \quad \text{para } i = 1, \dots, m.$$

A formulação do CR-DEA tem algumas vantagens sobre a do CCR – eficiência radial simples, por exemplo. De acordo com Talluri e Yoon (2000), a principal vantagem do CR-DEA é que ele não exige a determinação exata dos pesos pelo tomador de decisão. Apenas requer que uma priorização seja feita entre os critérios de desempenho. Para Brockett *et al.* (1997), a abordagem CR-DEA torna possível o aumento tanto da força quanto da flexibilidade da DEA usando como recurso algumas informações auxiliares para realizar ajustes nos dados, tendo em vista a obtenção de soluções mais razoáveis que as retornadas pelos métodos concorrentes.

#### 2.5.2.3.3 DEA com restrição aos *inputs* e *outputs* virtuais

Wong e Beasley (1990) desenvolveram um método para restringir a flexibilidade dos pesos na DEA baseado no uso de proporções. Desse modo, ao invés de tomar como base os pesos absolutos da DEA, trabalha-se com os *outputs* virtuais de cada DMU. Pelo método,  $S_k$  é definido como sendo uma soma ponderada de todos os *outputs* de cada DMU  $k$ , de modo que

$$S_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} . \text{ Assim, a razão } u_r y_{rk}/S_k \text{ representa a proporção com que o } \textit{output } r \text{ contribui}$$

para o *output* total da DMU  $k$ . Conceitualmente, os autores propõem que  $u_r y_{rk}/S_k$  seja representativa da importância vinculada ao *output*  $r$  pela DMU  $k$ , uma vez que, quanto mais

alto for o seu valor, maior a dependência de  $k$  na medida de  $r$  na determinação da sua eficiência.

Ainda segundo os autores, essa importância pode ser restringida, de modo a, para cada *output*, estar compreendida num intervalo  $[\alpha_i, \beta_i]$ , tal que  $0 \leq \alpha_i \leq \beta_i \leq 1$ . Assim, a restrição que define os limites inferior e superior dos pesos dos *outputs* pode ser expressa matematicamente conforme a Equação 16.

$$\alpha_i \leq \frac{u_r y_{rk}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}} \leq \beta_i \quad (16)$$

Logicamente, apesar de ter-se apresentado somente a formulação para a restrição de limites de *outputs*, a abordagem análoga pode ser aplicada para medidas de *input*. Quanto à especificação dos limites  $\alpha_i$  e  $\beta_i$ , depende de um julgamento de valores por parte do tomador de decisão. A restrição em sua forma final deve ser inserida no modelo básico da DEA e o programa resultante convertido em um programa linear para que possa ser executado.

Como constatado por Barros e Garcia (2006) e reforçado por Bernroider e Stix (2007), na maior parte dos casos o *ranking* das DMUs ineficientes é único, mas as unidades eficientes são indistinguíveis. Isso se deve à limitação tanto do CCR quanto do BCC em, apesar de identificar bem as unidades ineficientes, serem fracas em discriminar entre as unidades eficientes. Ao avaliar a contribuição dos métodos de restrição de pesos à DEA, Talluri e Yoon (2000) lembram que, apesar de efetivamente integrarem as preferências do tomador de decisão ao processo de avaliação, eles não resolvem o problema das múltiplas soluções encontradas pela DEA.

Com um número crescente de atributos, torna-se mais provável que mais alternativas sejam consideradas 100% eficientes por esses métodos. Entretanto, num conjunto de decisões complexas, pode ser necessário desmembrar o benefício, ou utilidade, em diversos atributos, de modo a torná-lo mensurável e observável. A fim de superar esse problema, a literatura aponta algumas metodologias para tratar da questão do ranqueamento no contexto do DEA, como:

- *Cross-Efficiency DEA*: DMUs são auto-avaliadas e por seus pares numa matriz de eficiência cruzada incluindo  $n$  escores de eficiência para cada DMU usando os multiplicadores ótimos calculados na programação.
- *Super-Efficiency DEA*: a DMU sob avaliação não é incluída no conjunto de referência dos modelos DEA convencionais, permitindo que os escores de eficiência técnica sejam maiores do que 1.

Nas próximas seções, os métodos de *Cross-Efficiency* DEA e *Super-Efficiency* DEA serão introduzidos. Embora cada um se utilize de uma técnica distinta, a principal contribuição de ambos reside na sua capacidade de eliminar o empate determinado pelos métodos convencionais na determinação das DMUs mais eficientes.

#### 2.5.2.4 Cross-Efficiency DEA

O modelo *Cross-Efficiency* DEA, ou CE-DEA, teve sua primeira aparição em Sexton, Silkman e Hogan (1986)<sup>4</sup> e, então, em Doyle e Green (1994) que o validaram dizendo que os tomadores de decisão nem sempre têm subsídios suficientes para estimar regiões de garantia para os pesos atribuídos aos indicadores, os multiplicadores. De acordo com Barros e Garcia (2006), Gregoriou (2006) e Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002), o CE-DEA estabelece um procedimento de ranqueamento e computa o escore de eficiência para cada DMU  $n$  vezes, usando os pesos ótimos obtidos com os modelos DEA tradicionais. Neste método, cada DMU avalia todas as outras em termos de todos os *inputs* e *outputs*, através de uma matriz de avaliação cruzada que consiste de linhas e colunas ( $j \times k$ ), onde cada uma é igual ao número de DMUs na amostra, como ilustrado na Figura 6.

		DMUs avaliadas						
		1	2	3	4	5	6	
DMUs avaliadoras	1	<b><math>h_{11}</math></b>	$h_{12}$	$h_{13}$	$h_{14}$	$h_{15}$	$h_{16}$	$A_1$
	2	$h_{21}$	<b><math>h_{22}</math></b>	$h_{23}$	$h_{24}$	$h_{25}$	$h_{26}$	$A_2$
	3	$h_{31}$	$h_{32}$	<b><math>h_{33}</math></b>	$h_{34}$	$h_{35}$	$h_{36}$	$A_3$
	4	$h_{41}$	$h_{42}$	$h_{43}$	<b><math>h_{44}</math></b>	$h_{45}$	$h_{46}$	$A_4$
	5	$h_{51}$	$h_{52}$	$h_{53}$	$h_{54}$	<b><math>h_{55}</math></b>	$h_{56}$	$A_5$
	6	$h_{61}$	$h_{62}$	$h_{63}$	$h_{64}$	$h_{65}$	<b><math>h_{66}</math></b>	$A_6$
		$\bar{h}_1$	$\bar{h}_2$	$\bar{h}_3$	$\bar{h}_4$	$\bar{h}_5$	$\bar{h}_6$	
		Médias das avaliações pelos pares						

Figura 6: Matriz de eficiências cruzadas para a DEA com seis DMUs  
Fonte: adaptado de Doyle e Green (1994)

A eficiência da DMU  $j$  é calculada com os pesos ótimos para a DMU  $k$ . Quanto mais altos os valores na coluna  $k$ , mais provável será que essa DMU  $k$  seja uma unidade eficiente,

<sup>4</sup> SEXTON, T. R.; SILKMAN, R. H.; HOGAN, A. J. Data envelopment analysis: critique and extensions. In: SILKMAN, R. H. (ed.). **Measuring efficiency: an assessment of data envelopment analysis**. San Francisco: Jossey-Bass. 1986. p. 73-104

utilizando técnicas operacionais superiores. Assim, o cálculo da média de cada coluna fornecerá o escore de avaliação pareada para cada DMU. Em outras palavras, o escore pareado é calculado para cada par de DMUs, e o escore de eficiência cruzada é a média de todos os escores pareados de uma dada DMU. Como lembrado por Doyle e Green (1994), embora a média seja o resultado mais óbvio para a avaliação, pode-se, alternativamente, utilizar a mediana ou o menor valor – a pior avaliação da DMU  $k$ . A melhor classificação é logicamente igual à eficiência calculada pelo CCR, uma vez que a melhor avaliação da DMU  $k$  não pode ser maior que a própria auto-avaliação de  $k$ , encontrada na diagonal principal. O modelo de avaliação cruzada usado é representado pela Equação 17.

$$h_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}} \quad \text{para } k = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \quad (17)$$

onde  $h_{kj}$  representa o escore atribuído à unidade  $j$  avaliado pelo peso da unidade  $k$ . Todos os elementos da matriz estão localizados, tal que  $0 \leq h_{kj} \leq 1$ , e aqueles localizados na diagonal,  $h_{kk}$ , apresentam o escore DEA padrão  $h_{kk} = 1$  para unidades eficientes e  $h_{kk} < 1$  para unidades ineficientes.

O método de ranqueamento CE-DEA usa os resultados da matriz de eficiência cruzada  $h_{kj}$  para ranquear as unidades. Para isso, como reforçado por Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002), utiliza-se a média dos escores obtidos para cada unidade  $k$  na matriz, dada pela Equação 18.

$$\bar{h}_k = \frac{\sum_{j=1}^n h_{kj}}{n} \quad (18)$$

Enquanto os escores  $h_{kk}$  não são comparáveis, uma vez que cada um usa pesos diferentes, o escore médio  $\bar{h}_k$  é comparável porque usa os pesos de todas as unidades. Entretanto, esse é também o ponto fraco do modelo, uma vez que a avaliação acaba perdendo a sua conexão com os pesos do multiplicador. Diversos autores, entre os quais Doyle e Green (1994) e Talluri e Yoon (2000) optam por não incluir as DMUs ineficientes no problema, tendo em vista que se um sistema é ineficiente, então ele não pode ser considerado um candidato em potencial para seleção.

Como enfatizado por Doyle e Green (1994), um fator redutor da utilidade percebida do CE-DEA é que os pesos que maximizam a eficiência das DMUs podem não ser únicos. Para resolver essa ambigüidade, os autores propõem a introdução de um objetivo secundário

adotando formulações denominadas agressiva ou benevolente. No caso da formulação agressiva, o objetivo secundário será a minimização das eficiências cruzadas das outras DMUs, como apresentado na Equação 19. A formulação benevolente prevê, como objetivo secundário, a maximização das eficiências cruzadas das demais DMUs, utilizando o mesmo conjunto de restrições do caso anterior – sendo que a função objetivo passa a ser de maximização. À não adoção de uma função objetivo secundária, os autores atribuem a denominação de formulação arbitrária.

$$\min \sum_{r=1}^s \left( u_{rk} \sum_{j \neq k} y_{rj} \right) \quad (19)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \left( v_{ik} \sum_{j \neq k} x_{ij} \right) &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - h_{kk} \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} &= 0 \\ h_{kj} &\leq 1 \text{ para toda DMU } k \neq s \\ v_{ik}, u_{rk} &\geq 0 \end{aligned}$$

Os próprios Doyle e Green (1994), no entanto, afirmam que, em algumas circunstâncias, nem a formulação agressiva nem a benevolente pode ser desejada, embora a arbitrária também apresente algumas limitações. Como há a possibilidade de haver soluções múltiplas na formulação arbitrária, sugere-se o cálculo das médias entre as formulações agressiva e benevolente como alternativa.

Quando uma DMU consegue exibir um alto escore através da ponderação exagerada de uns poucos *inputs* e *outputs* favoráveis, tem-se um valor de eficiência conhecido como ‘falso-positivo’. O índice de falsa positividade – FPI, proposto por Baker e Talluri (1997), é bastante semelhante ao índice de discrepância sugerido por Doyle e Green (1994) e está relacionado ao incremento percentual de eficiência que uma DMU alcança ao transitar da avaliação cruzada para a simples – CCR, sendo introduzido na Equação 20.

$$FPI_k = \left( h_{kk} - \bar{h}_k \right) / \bar{h}_k \quad (20)$$

Sinteticamente, na opinião de Gregoriou (2006), a CE-DEA fornece perspectivas adicionais sobre o desempenho e a eficiência de cada DMU e estabelece se cada DMU tem um bom desempenho de acordo com os *inputs* e *outputs* usados na análise. Em outras

palavras, a CE-DEA permite que dada DMU participe da construção da eficiência relativa das demais DMUs na amostra.

#### 2.5.2.4 Super-Efficiency DEA

A abordagem da *Super-Efficiency DEA*, ou SE-DEA, apresentada por Andersen e Petersen (1993), é similar ao CCR. Entretanto, na otimização, a unidade sob consideração é excluída do cálculo das restrições, como apresentado pela Equação 21. Desse modo, DMUs altamente eficientes podem obter eficiência maior do que 1, enquanto aquelas unidades ineficientes, mantêm o escore corresponde ao valor do CCR. Essa técnica foi desenvolvida como um novo procedimento que torna possível o ranqueamento entre as unidades eficientes.

$$h_k = \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (21)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} &\geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n, j \neq k, \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &= 1, \\ u_r &\geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s, \\ v_i &\geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m. \end{aligned}$$

A formulação dual do modelo SE-DEA, como visto na Equação 22, computa a distância entre a fronteira de eficiência, avaliada sem a unidade  $k$  e a própria unidade para  $J = \{j=1, \dots, n, j \neq k\}$ .

$$\text{Min } f_x \quad (22)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J} \lambda_{kj} x_{ij} &\leq f_k x_{ik} \text{ para } i = 1, \dots, m, \\ \sum_{j \in J} \lambda_{kj} y_{rj} &\geq y_{rk} \text{ para } r = 1, \dots, s, \\ \lambda_{kj} &\geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Barros e Garcia (2006) recordam que tanto escores CE-DEA quanto SE-DEA ranqueiam as DMUs sem deixar margem para equívocos, quebrando o empate dos modelos

tradicionais e superando a dificuldade do CCR e BCC. Os seus resultados não são mais normalizados entre 0 e 1, embora a interpretação de que aquelas com índice menor que 1 sejam ineficientes continue valendo. Entretanto, como enfatizado pelos autores, agora pode-se notar que algumas das unidades são mais eficientes que outras também consideradas eficientes. Assim, aquela unidade avaliada como super-eficiente deve ser vista por todas as outras, eficientes ou não, como *benchmark*.

#### 2.5.2.5 Considerações sobre a DEA

Um dos produtos da DEA é a determinação, para cada DMU ineficiente, de um alvo encontrado na fronteira de eficiência. Tal alvo representa um ponto operacional viável que domina a DMU ineficiente, ou seja, o alvo produz mais *outputs* sem consumir mais *inputs*. De modo a obter a maior redução de *inputs* e expansão de *outputs* da DMU ineficiente, o alvo designado pode se localizar muito longe, o que aumenta a dificuldade de realizar os ajustes de *inputs* e *outputs* necessários. Assim, Lozano e Villa (2005) afirmam que propor alvos para redução de *inputs* ou aumento de *outputs* da ordem de 30%, algo não incomum na DEA, pode demandar demais para ser alcançado em um único passo. Isso pode ter um efeito paralisante na DMU afetada que pode não achar fácil estabelecer um caminho que leve a alvos tão distantes. Os autores propõem uma estratégia para alcançar tais alvos, que consiste na determinação de uma seqüência de metas a serem alcançadas que gradualmente divergem da DMU original e vão convergindo para a fronteira eficiente.

Uma medida de desempenho alternativa como a DEA é importante, segundo Gregoriou (2006), porque fornece uma ferramenta adicional com a qual gestores podem identificar as razões por trás do desempenho aquém do esperado de uma DMU. A DEA pode oferecer a esses gestores um instrumento útil para o ranqueamento de DMUs através de auto-avaliação e avaliação grupal pareada. O processo de identificar os melhores gestores de DMUs através de pesquisas elaboradas pode ser considerado uma tarefa árdua e complexa, mas uma avaliação alternativa de desempenho, tal como a DEA, pode manter os responsáveis mais inteirados a respeito da eficiência e ineficiência de DMUs.

O uso do CCR básico, BCC, CE-DEA, SE-DEA e DEA com restrição aos pesos, cada qual de modo a suprir alguma necessidade de avaliação, como sinteticamente expresso pela Figura 7, permite a obtenção de maior *insight* a respeito do que guia o desempenho de uma DMU e de como cada DMU pontua em termos de sua eficiência relativa. Finalmente, um



gestor poderia usar a DEA como técnica complementar para a avaliação do desempenho de unidades organizacionais.

	Modelo	Principal característica
<b>Modelos Tradicionais</b>	CCR	Assume retornos constantes à escala
	BCC	Assume retornos variáveis à escala
<b>Restrições aos pesos dos multiplicadores</b>	Cone-Ratio	Permite o estabelecimento de relações entre os pesos das variáveis analisadas
	Restrições aos pesos virtuais	Identificação de limites específicos para os pesos das variáveis; abordagem gerencialmente mais intuitiva
<b>Quebra do empate entre unidades eficientes</b>	Cross-Efficiency	Unidades abordadas com os pesos ótimos das demais
	Super-Efficiency	Unidade sob análise excluída do cálculo das restrições

Figura 7: Principal característica dos modelos DEA considerados

Outras técnicas fundamentadas na análise envoltória de dados são apresentadas por Adler, Friedman e Sinuany-Stern (2002), a saber:

- análise de *benchmark*, na qual uma DMU é altamente ranqueada se for escolhida como alvo para se alcançar melhoria por diversas outras DMUs.
- análise estatística multivariada, envolvendo o uso de técnicas estatísticas multivariadas aplicadas depois da classificação em eficiente ou ineficiente pela DEA convencional.
- métodos baseados em medidas proporcionais de ineficiência, que ranqueiam as DMUs ineficientes através de medidas proporcionais de ineficiência.

Barros e Garcia (2006) apresentam, ainda, dois outros modelos de DEA, usados menos frequentemente na literatura: modelo aditivo de Charnes *et al.* (1985)<sup>5</sup> e modelo multiplicativo de Charnes *et al.* (1982)<sup>6</sup>.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Este capítulo contemplou uma revisão acerca do tema Avaliação de Desempenho. Como pôde ser observado ao longo do mesmo, a importância de se implementar sistemas que

<sup>5</sup> CHARNES, A., COOPER, W. W., GOLANY, B., SEIFORD, L. M., STUTZ, J. A. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Productions Functions. **Journal of Econometrics**, v.30 n. 1. p. 91-107, 1985.

<sup>6</sup> CHARNES, A., COOPER, W. W., GOLANY, B., SEIFORD, L. M., STUTZ, J. A. Multiplicative Model of Efficiency Analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**. Vol. 16 n.5. p. 223-224, 1982.

visem controlar resultados e orientar as organizações rumo à melhoria é praticamente consensual na literatura. Entre as diversas técnicas de análise multicriterial estudadas, nota-se que a DEA apresenta características tais que justificam sua maior disseminação e o desenvolvimento de uma sistemática para sua aplicação. Como verificado, esta técnica, capaz de permitir a identificação de *benchmankings* de eficiência organizacional, apesar de ser amplamente discutida na literatura internacional, ainda encontra pouco espaço em trabalhos desenvolvidos nacionalmente.

Mesmo utilizando-se a DEA como ferramenta principal de apoio para o tratamento de indicadores de desempenho, há espaço para a utilização complementar de outras técnicas a fim de suprir eventuais carências da análise envoltória de dados. Uma dessas técnicas, o método de análise hierárquica, graças a sua capacidade de converter um conjunto de julgamentos subjetivos em uma medida quantitativa de ponderação de importância entre variáveis, poderia ser utilizado, por exemplo, a fim de determinar os limites inferiores e superiores para os pesos de cada *input* e *output* ao utilizarem-se restrições aos pesos virtuais. Uma abordagem nesses moldes observada, por exemplo, no trabalho de Shang e Sueyoshi (1995), permite compensar uma das principais críticas a utilização das restrições aos pesos virtuais em análises DEA – a alta subjetividade existente ao atribuírem-se tais restrições.

O próximo capítulo traz a apresentação da sistemática desenvolvida e proposta para a utilização da análise envoltória de dados em cenários diversos. Posteriormente, procede-se a aplicação da mesma em dois casos distintos, com o intuito de verificar a viabilidade da sua operacionalização.

### **3 SISTEMÁTICA PROPOSTA**

Este capítulo tem o objetivo de apresentar as principais etapas a serem seguidas na realização de estudos envolvendo a análise envoltória de dados, resultando na sistemática proposta para a utilização da DEA. A abordagem utilizada a fim de garantir que estudos envolvendo a DEA sejam adequadamente conduzidos é constituída por seis fases, agrupadas em três etapas principais, como ilustrado na Figura 8. Na primeira delas, cujos esforços resultam na viabilização de todas as aplicações propostas mais adiante, constrói-se a base de conhecimento sobre o qual o restante do trabalho deve se fundamentar. Em seguida, segue-se um conjunto de passos que visa garantir a aplicação da Análise Envoltória de Dados e obter resultados passíveis de interpretações que conduzam à determinação das unidades mais eficientes tendo em vista as premissas consideradas. Por fim, ao controlarem-se os resultados obtidos, pode-se encontrar elementos que permitam a realização de novos estudos envolvendo a DEA no ambiente analisado e buscar formas de viabilizar a melhoria dos resultados alcançados.

#### **3.1 ETAPA PRELIMINAR**

A etapa preliminar é iniciada com a seleção e preparação da equipe responsável pela condução dos estudos envolvendo a DEA no cenário-alvo. Esta equipe pode incluir especialistas na execução da técnica, pessoas diretamente envolvidas com os processos a serem avaliados e outros membros confirme a necessidade específica de cada caso. É importante que, ao término desta primeira fase preliminar, os integrantes do grupo de trabalho tenham passado por um nivelamento conceitual que os permita estarem familiarizados com os procedimentos seguidos ao longo da aplicação da DEA. Também é esperado que, ao final dessa primeira fase, os responsáveis pela aplicação sejam capazes de compreender o ambiente no qual o estudo deve ser desenvolvido, sendo assim capazes de identificar o(s) problema(s) a ser(em) verificado(s) e as formas de fazê-lo através da monitoração de um conjunto de indicadores de desempenho. Para isso, deve-se fazer uma análise que envolva algumas questões estratégicas, como alocação de recursos e controle de operações, e que permita relacionar os fatores críticos para o sucesso em cada caso. Idealmente, deve-se buscar compreender como o entendimento a respeito das melhores práticas no mercado pode contribuir para a elevação da eficiência organizacional.

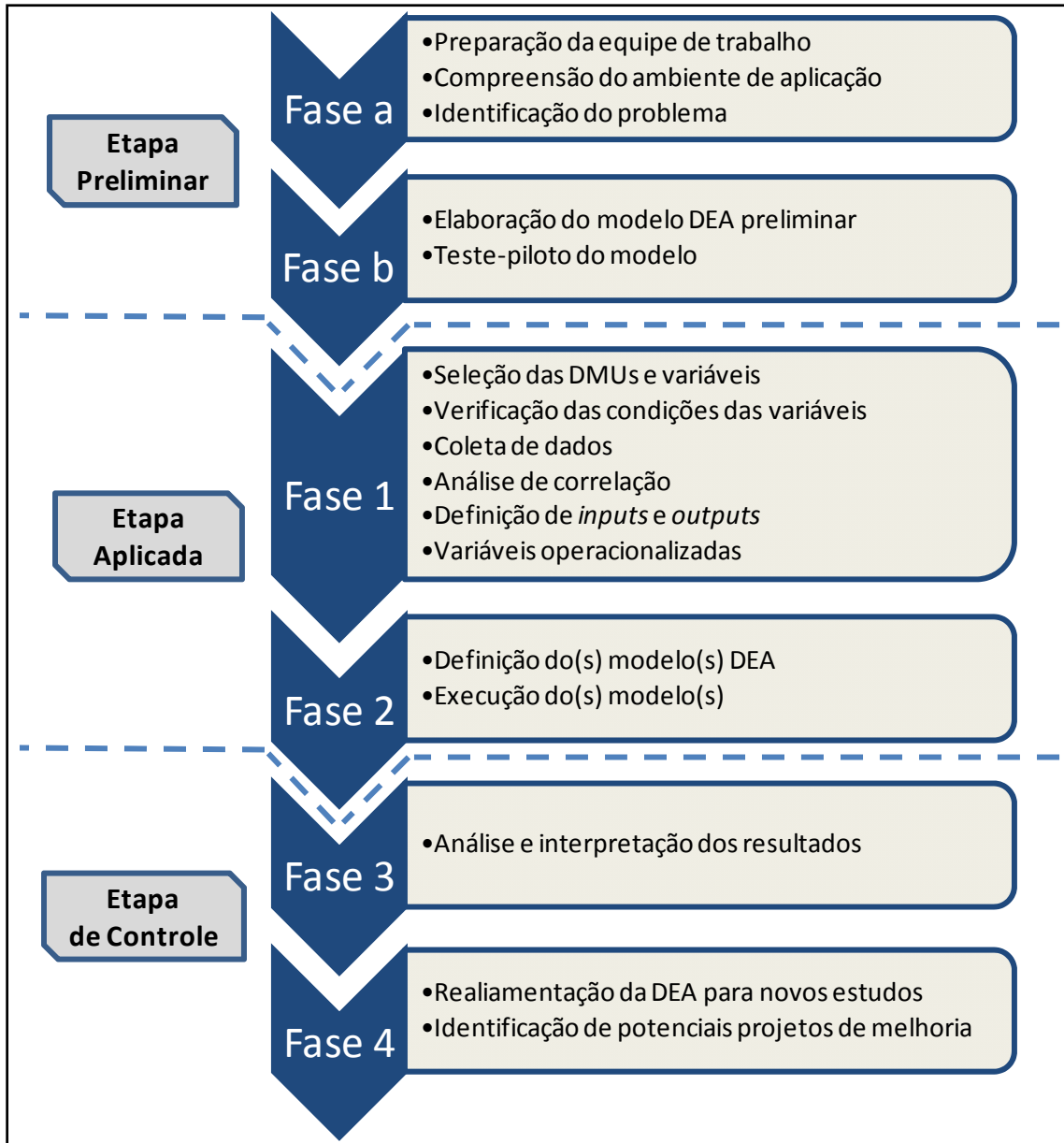


Figura 8: Sistemática proposta para aplicação da técnica DEA

Concluída essa fase, mas antes de partir para as aplicações práticas da técnica DEA, é prudente desenvolver alguns modelos preliminares e conduzir, paralelamente, testes-piloto que permitam a verificação do correto entendimento da dinâmica da mesma. Esses modelos, estruturados a partir de dados obtidos de estudos anteriores, ou ainda de informações disponíveis à equipe de trabalho, devem permitir: (i) a fixação de conceitos teóricos; (ii) definição das extensões à metodologia DEA a serem consideradas no estudo; e (iii) seleção do(s) *software(s)* a ser(em) utilizado(s) para o tratamento dos dados.

### 3.2 ETAPA APLICADA

Tendo concluído essa etapa preliminar, deve-se prosseguir para a parte aplicada do estudo. A primeira fase da execução propriamente dita – uma vez que as anteriores consistem apenas em estágios preparatórios – está amplamente ligada à definição de medidas que possibilitem a construção do modelo DEA utilizado no estudo desejado. Inicialmente, deve-se definir quais são as unidades de análise, ou tomadoras de decisão – DMUs, bem como quais são os fatores, representados pelas variáveis de *input* e *output*, a serem considerados para quantificar o desempenho dessas unidades, respeitando a proporção mínima de três DMUs por variável, conforme recomendação da literatura consultada. Ao escolher as variáveis consideradas, deve-se atentar, paralelamente, para diversos elementos cuja influência podem afetar decisivamente a qualidade dos resultados obtidos, sobretudo questões como a confiabilidade, a precisão e a disponibilidade das informações. Uma vez que as unidades de análise e as informações a serem consideradas tenham sido pré-aprovadas em virtude das suas condições de obtenção, pode-se proceder à coleta propriamente dita dos dados.

A fim de investigar e, por conseqüência, evitar a consideração de informações redundantes, ou ainda que expressem relações de causalidade, os dados coletados são submetidos a uma análise de correlação, como sugerido por Eling (2006) e Shanmugam e Johnson (2007). Variáveis altamente correlacionadas podem significar um esforço desnecessário de monitoramento e podem ser descartadas. O grau de correlação  $\rho$  entre dois vetores é dado pela razão entre a covariância e o produto dos seus desvios-padrão. O coeficiente de determinação  $R^2$ , dado pelo quadrado do grau de correlação, é uma medida de quão bem os dados se ajustam à reta de regressão, sendo que quanto mais próximo de um, maior será o ajuste do modelo. Algo bastante interessante a se fazer consiste em testar a hipótese de que a correlação é nula;  $H_0: \rho = 0$  e  $H_1: \rho \neq 0$ . O valor  $p$  representa a probabilidade de falhar em rejeitar  $H_0$ . Normalmente, considera-se um valor  $p$  de 0,05 como o patamar para avaliar a hipótese nula. Se o valor  $p$  for inferior a 0,05 pode-se rejeitá-la, ou seja, considerar que a correlação é não igual a zero. Em caso contrário, com um valor  $p$  próximo a 1, não há evidência que permita rejeitar a hipótese nula, o que não significa obrigatoriamente que a mesma seja verdadeira. Em situações de maior exigência, usa-se como patamar um valor  $p$  inferior a 0,05. Como a explicação aprofundada dos procedimentos envolvidos nessas análises foge ao escopo desta dissertação, recomenda-se a utilização de Montgomery e Runger (2003) como bibliografia de apoio nessa área.

Após essa análise, os *inputs* e *outputs* podem então ser definidos, restando apenas garantir que os mesmos estejam corretamente operacionalizados. Para isso, as variáveis controláveis pelas unidades de análise devem ser consideradas *inputs* e, às demais, é conferida a classificação de *output*. Como a DEA sempre objetiva a redução dos *inputs* e a maximização dos *outputs*, eventualmente devem ser considerados os inversos dos valores originais – no caso, por exemplo, de desejar-se a maximização de um *input* ou a minimização de uma variável classificada como *output*.

A segunda fase da aplicação da sistemática proposta é constituída pela aplicação propriamente dita da DEA. Os estágios dessa fase são compostos pela definição dos modelos DEA a serem utilizados, com posterior execução dos mesmos. Os modelos considerados nesta dissertação limitam-se aos desenvolvimentos tradicionais CCR e BCC, além das extensões *cross-efficiency* DEA, *super-efficiency* DEA, *cone-ratio* DEA e DEA com restrições aos pesos virtuais, todos apresentados no capítulo 2. Para o estabelecimento das restrições aos pesos virtuais, é proposta uma técnica que utiliza o AHP para a delimitação dos limites inferior e superior das restrições, adaptando uma aplicação realizada por Shang e Sueyoshi (1995). Segundo essa técnica, as variáveis de um mesmo grupo – *inputs* ou *outputs* – são comparadas entre si no que se refere às suas importâncias relativas para a obtenção de um objetivo em comum. A partir dos vetores de ponderação obtidos, determinam-se os limites dos pesos virtuais. Após a definição de cada modelo, o mesmo é processado no *software* específico, retornando um conjunto de resultados.

### 3.3 ETAPA DE CONTROLE

Finalmente, tendo-se concluído a execução do modelo, é possível prosseguir para a terceira e última etapa da sistemática proposta: a etapa de controle. Essa etapa é iniciada pela análise e interpretação gerencial dos resultados. Uma continuação lógica do estágio anterior, a análise matemática dos resultados tem em vista verificar como cada modificação da formulação DEA contribui para o melhor entendimento do caso abordado. Adicionalmente, essa fase pode contemplar um tratamento complementar dos resultados obtidos, lançando mão de instrumentos que permitam uma análise mais específica do caso abordado. Uma possibilidade seria a adoção de um índice capaz de consolidar diversos resultados parciais obtidos em um único indicador que ilustre o desempenho geral das unidades avaliadas segundo um conjunto de dimensões avaliadas de modo independente. A interpretação dos resultados, por sua vez, visa extrair informações de caráter mais estratégico da análise, indo

além da avaliação convencional em unidade eficiente ou não-eficiente para sugerir elementos a serem considerados na fase seguinte da sistemática e que levem a obtenção de possíveis melhorias com o objetivo de promover um incremento futuro nos resultados, observando-se a problemática levantada no início do estudo.

Os resultados alcançados até então podem conduzir a novos questionamentos e possibilidades de alteração da modelagem conduzida, levando à consideração de um conjunto de variáveis distinto do original e, conseqüentemente, a uma realimentação do sistema. Além disso, a fim de garantir que os resultados obtidos com a aplicação e verificação dos resultados obtidos a partir do uso da análise envoltória de dados sirvam como insumos para promover a melhoria contínua do desempenho organizacional, o último passo desta última fase da sistemática proposta contempla justamente a identificação de potenciais projetos de melhoria. Esses projetos devem ter o objetivo de conduzir a organização rumo a um melhor resultado em relação aos seus pares considerados na análise. Para isso, pode-se lançar mão de estratégias de *benchmarking* com alguns concorrentes, ou mesmo de investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias ou procedimentos capazes de levar a organização a níveis de eficiência mais elevados.

O próximo capítulo deste trabalho apresenta a aplicação da sistemática aqui proposta. O mesmo é constituído por dois estudos de caso, independentes entre si, que permitem a verificação da funcionalidade da DEA em situações reais.

#### 4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Este capítulo traz a aplicação prática da sistemática proposta para a utilização da DEA em circunstâncias diversas. Essa etapa do trabalho ganha relevância especial ao considerar-se o seu objetivo de difundir as possibilidades de aplicação da técnica a diferentes cenários.

Levando em consideração o fato de que, apesar de ter sido proposta há três décadas e desde então ter sido alvo de estudos e aprimoramentos, a DEA ainda é, como observado em consulta informal a dez empresários, praticamente desconhecida no meio empresarial, a idéia inicialmente concebida era de promover as aplicações a serem apresentadas neste trabalho em empresas atuantes localmente. Desse modo, poder-se-ia realizar um estudo mais detalhado dos cenários envolvidos, tendo-se acesso às informações julgadas ideais para a condução do estudo e discutindo o progresso das atividades com as pessoas diretamente envolvidas com as problemáticas em questão.

Após contato com diversas organizações, duas delas demonstraram interesse em cooperar com a execução das atividades propostas, dispondo-se a discutir indicadores, lógica de coleta da informação e formas de avaliar os resultados. Essas empresas, mais especificamente uma rede varejista e uma estatal atuante no setor de infra-estrutura, ambas de grande porte, no entanto, após a realização de reuniões preliminares com a presença de membros do corpo diretivo, e com o intuito de clarificar o escopo do trabalho, declinaram da sua intenção de participar da pesquisa em voga.

Tendo em vista tal situação, o foco desta dissertação passou a se direcionar para o estudo de situações reais que pudessem ser estudadas a partir de informações passíveis de disponibilidade remota. A constatação de que a população urbana global cresce em mais de 150 mil habitantes por dia e de que, para que toda população mundial pudesse viver como a norte-americana, 500% a mais de energia teria que ser produzida, 2 bilhões de automóveis acrescidos às estradas do planeta e uma nova região metropolitana como a de Atlanta erguida todos os meses, verificada em Cole (2007), chama a atenção para um tema interessante e potencialmente explorável. Além disso, lembrando uma declaração de Herbert Stein, ex-presidente do Conselho de Consultores Econômicos do governo dos EUA na década de 1970, tem-se que “coisas que são insustentáveis sempre têm um fim” (COLE, 2007, p.8). Assim, a avaliação de quão sustentavelmente cada nação do globo se comporta, utilizando a técnica DEA, foi escolhida para integrar a primeira aplicação apresentada.



Com o intuito de encontrar um cenário composto por diversas empresas diferentes, mas comparáveis entre si, cujas informações necessárias para a condução de um estudo nos moldes requeridos estivessem disponíveis, conduziu-se uma busca envolvendo companhias pertencentes a diversas indústrias. Após algumas considerações que levaram em conta a relação entre maior probabilidade de sucesso no acesso aos dados demandados e menor número de estudos utilizando variações da DEA no setor, optou-se pela avaliação de companhias de transporte aéreo de passageiros.

As próximas seções trazem a aplicação da sistemática proposta no capítulo 3 para a utilização da DEA nos dois casos mencionados anteriormente. Ao final, realiza-se uma breve discussão a respeito das constatações verificadas tanto sobre a operacionalização da sistemática quanto aos resultados encontrados propriamente ditos. Apesar de esta se tratar da parte aplicada do trabalho, lança-se mão de uma revisão da literatura específica sobre cada problemática abordada. Esta literatura, presente no início das duas próximas seções, tem a finalidade de contextualizar cada caso estudado.

#### **4.1 ESTUDO DE SUSTENTABILIDADE COM BASE EM DEA**

No primeiro caso estudado neste trabalho, busca-se avaliar o grau de sustentabilidade relativo alcançado por um conjunto de nações do planeta, tendo em vista a geração de resultados benéficos à população concebidos a partir do consumo de determinados recursos. Esse estudo é apresentado a seguir, tomando como base a seqüência de passos sugerida na proposta apresentada no capítulo 3.

##### **4.1.1 Etapa Preliminar**

Para o estudo proposto neste caso, a equipe de trabalho é constituída fundamentalmente pelo autor, sendo que, na etapa aplicada, nove outras pessoas são consultadas com o intuito de estabelecer a hierarquia de indicadores utilizados para avaliar o problema identificado. A fim de permitir o início do estudo realiza-se, num primeiro momento, um levantamento acerca da literatura envolvendo o tema sustentabilidade, de modo a prover elementos que viabilizem a avaliação proposta.

Alguns problemas tradicionalmente relacionados ao processo de desenvolvimento da civilização, como degradação ambiental, estagnação econômica, aumento da fome e disseminação de doenças, requerem atenção. No que tange a essa questão, observa-se uma

clara discrepância entre a evolução nas condições de desenvolvimento alcançadas pelas cerca de duas centenas de nações deste planeta.

Nas últimas décadas, no entanto, o aumento da percepção de que as conseqüências geradas por um desenvolvimento desbalanceado podem ter reflexos em todo o globo, como resultado, por exemplo, do estabelecimento de correntes migratórias, mercados econômicos crescentemente integrados e escassez de recursos naturais, ergueu o foco de diversas discussões sobre um tema em comum: o desenvolvimento sustentável. Na definição proposta por Munasinghe<sup>7</sup> (1994) *apud* Islam, Munasinghe e Clarke (2003), desenvolvimento sustentável é um processo com o objetivo de melhorar o leque de oportunidades que permitirão às comunidades alcançar suas aspirações, bem como o seu potencial ao longo de um período de tempo sustentado, preservando a resiliência dos sistemas econômicos, sociais e ambientais. Embora diversos autores compartilhem essa opinião, a exemplo de Islam, Munasinghe e Clarke (2003) e Fahy e Cinnéide (2008), não há consenso quanto ao que deva ser considerado em um estudo a respeito do tema. Spangenberg *et al.* (2002), seguindo as recomendações da Agenda 21, documento criado durante a Eco-92 no Rio de Janeiro e que estabeleceu a importância de cada nação refletir a respeito de soluções para os seus problemas sócio-ambientais, consideram também a perspectiva institucional, enquanto Grasso e Canova (2007) incluem uma perspectiva subjetiva à análise, voltada à avaliação das experiências individuais em termos de satisfação com a vida e conquistas realizadas.

Como caracterizado por Islam, Munasinghe e Clarke (2003), a ênfase da perspectiva social se dá sobre o enriquecimento das relações humanas na busca por suas aspirações comuns. Para Grasso e Canova (2007), os indicadores sociais devem servir a, pelo menos, duas propostas principais: monitorar mudanças sociais e medir o bem-estar comum. Na concepção de Schneider (1976), se houver concordância quanto às implicações normativas de indicadores sociais, ou seja, quanto ao que é bom e ao que é ruim, pode-se, de fato, utilizar indicadores sociais como medidas de aspectos específicos da qualidade de vida. Se houver concordância, por exemplo, que uma menor taxa de mortalidade infantil, de sub-habitações e de desemprego são condições desejáveis e boas para as pessoas, então a distribuição dessas condições entre unidades geográficas pode ser examinada e comparações podem ser feitas, inferindo-se sobre a melhora ou piora nos níveis de qualidade de vida observados.

---

<sup>7</sup> MUNASINGHE, M. Sustainomics: a transdisciplinary framework for sustainable development. In: Proceedings of the 50<sup>th</sup> Anniversary Sessions of the Sri Lanka Assoc. for the Adv. of Science (SLAAS), 1995, Colombo. **Keynote Paper**. Colombo, 1995.

De acordo com Diener e Suh (1997), variáveis sociais têm sido usadas para avaliar a sociedade, incorporando sentido aos indicadores econômicos tradicionalmente utilizados e, em geral, privilegiados pelos tomadores de decisão. Segundo o autor, no entanto, esses indicadores alcançam sua maior força quando medidos de forma objetiva, sem confiar nas percepções individuais das pessoas. Como resultado, torna-se viável a realização de comparações desses indicadores entre regiões ou países distintos. Por objetividade, o autor entende indicadores que possam ser medidos com precisão e cujo consenso em relação aos seus valores esteja bem estabelecido, sem depender de percepções individuais.

Contudo, Schneider (1976) coloca que, ainda assim, pode-se argumentar que o bem-estar ou a qualidade de vida legitimamente experimentada por um indivíduo seja uma condição muito mais subjetiva do que aquela expressa no conjunto de dados geralmente utilizado. É possível que indivíduos ou grupos sociais estejam objetivamente expostos a melhores condições de saúde, ambiente e emprego que outros grupos, mas subjetivamente sintam que a qualidade de suas próprias vidas não esteja, efetivamente, melhor. Em seu estudo, o autor conclui que os indicadores objetivos contam apenas parcialmente na percepção subjetiva de qualidade de vida das pessoas.

Como revelado no estudo realizado por Bowling (1995), a primeira, e possivelmente maior dificuldade, ao avaliar-se a qualidade de vida através de indicadores sociais, está em definir especificamente o que deve ser medido. O autor lembra que existem muitas questões não resolvidas no tocante a esse ponto, principalmente porque alguns parâmetros podem ter pesos distintos quando avaliados por pessoas em circunstâncias diferentes. Felce e Perry (1995) trataram desse ponto, ponderando que existem tantas definições para o tema quanto o número de pessoas estudando a questão. Bell e Morse (1999) afirmam que, embora a qualidade de vida venha ganhando importância nas discussões sobre o desenvolvimento sustentável, ainda há pouco consenso a respeito do que deva ser incluído em sua análise. A situação persiste ainda hoje, como observado no artigo de Fahy e Cinnéide (2008), segundo o qual a principal dificuldade em realizar um estudo na área esteja justamente em vencer a complexidade e a ambigüidade inerente à qualidade de vida como conceito. Os autores desabafam ao afirmar que a identificação dos indicadores mais apropriados constitua um desafio envolto em grandes doses de deliberação e debate.

Schneider (1976) já dizia ser o uso de indicadores sociais, como ferramentas para a comparação do bem-estar comum e da qualidade de vida, um aspecto simultaneamente atraente e preocupante da pesquisa. De acordo com Sirgy (1998), a teoria afirma que a qualidade de vida é apenas parcialmente determinada pela satisfação com o padrão de vida, o

qual é determinado pela avaliação do padrão de vida de uma dada população com relação a uma meta estabelecida. Voltando a Islam, Munasinghe e Clarke (2003), tem-se que a sustentabilidade social deve buscar reduzir a vulnerabilidade e manter a saúde dos sistemas sociais e culturais, fortalecendo as instituições e o capital humano, de modo a melhorar a governança e a resiliência dos sistemas sociais.

A perspectiva econômica inclui todas as formas de atividades econômicas, seus meios e atores. O desenvolvimento econômico pode ser considerado sustentável desde que produza benefícios não decrescentes sem ser ambientalmente ou socialmente insustentável (SPANGENBERG *et al.*, 2002).

Como lembrado por Islam, Munasinghe e Clarke (2003), a economia é conduzida principalmente pela melhora do bem-estar humano, fundamentalmente através de melhorias no consumo de bens e serviços. Ainda segundo os autores, o crescimento econômico tem sido grandemente perseguido como o principal objetivo na maioria dos países tendo em vista, entre outros fatores, a melhoria do bem-estar e a erradicação da pobreza. A sustentabilidade econômica, na opinião dos mesmos, deve maximizar o fluxo de capital e consumo enquanto, pelo menos, mantém o montante de investimentos que geram esses resultados benéficos. A eficiência econômica tem como papel-chave garantir tanto a alocação eficiente de recursos na produção como escolhas de consumo eficiente que maximizem a sua utilidade.

Uma conexão interessante desde o ponto de vista da sustentabilidade é estudada por Atkinson e Hamilton (2003). Segundo os autores, há uma correlação negativa e significativa entre a abundância de recursos naturais e o crescimento econômico, um fenômeno chamado de hipótese da maldição dos recursos. A abundância de recursos deveria, a princípio, conferir uma vantagem econômica aos países. Entretanto, diversos estudos mostram que essa vantagem não é apropriadamente exercida, em grande parte devido à inabilidade gerencial de seus governantes.

A perspectiva ambiental, de acordo com Islam, Munasinghe e Clarke (2003), foca na proteção da integridade e resiliência dos sistemas ecológicos. Para os autores, a sustentabilidade ambiental busca a viabilidade geral e a saúde desses sistemas, evitando a degradação de recursos, poluição e perda da biodiversidade.

Arrow *et al.* (1995) lembram que, historicamente, as políticas econômicas têm ignorado o meio-ambiente. A principal justificativa para esse fato é a proposição de que exista uma relação empírica que comprove o fato de a melhora do PIB contribuir com o aumento da degradação ambiental apenas até certo ponto, a partir do qual a qualidade ambiental começa a melhorar. A explicação geralmente aceita é que, nos estágios iniciais de desenvolvimento, a

poluição é vista como um efeito colateral aceitável em prol da expansão econômica. Entretanto, quando o país atinge um padrão de vida suficientemente alto, o povo passa a dar mais importância para as questões ambientais. O revelado por esse trabalho, contudo, é que, embora o crescimento possa realmente estar associado a melhoras nos indicadores ambientais, isso não significa que o crescimento econômico seja suficiente para induzir a melhoria como um todo. Além disso, os autores concluem que os tais efeitos colaterais do desenvolvimento não podem ser negligenciados, uma vez que a base de recursos da Terra não é capaz de alimentar o crescimento econômico indefinido.

Alguns analistas têm usado a curva de Kuznets como argumento. Como lembrado por Islam, Munasinghe e Clarke (2003), uma vez que os níveis de poluição atinjam níveis inaceitáveis, recursos adicionais serão investidos pela sociedade para reduzi-los. Além disso, na medida em que os recursos se tornarem mais escassos, os seus preços serão reajustados para prevenir o seu esgotamento, encorajando assim desenvolvimentos tecnológicos que viabilizem a adoção de fontes alternativas.

A base de recursos ambientais da qual toda atividade econômica depende é finita e o uso imprudente dessa base pode levar a alterações irreversíveis na capacidade de produzir no futuro, o que implica a existência de um limite na capacidade do planeta. Enfim, vale a pena recordar a declaração promovida por Arrow *et al.* (1995) de que o desenvolvimento econômico não é uma panacéia para a qualidade ambiental, sendo que o que realmente importa é o conteúdo do crescimento – incluindo os recursos ambientais consumidos e os resíduos gerados e despejados inadequadamente.

Além da atenção dispensada às perspectivas social, econômica e ambiental, mais comumente consideradas nos estudos acerca do tema sustentabilidade, pelo menos duas outras perspectivas aparecem com algum destaque em trabalhos mais recentes. A perspectiva institucional é caracterizada por Spangenberg *et al.* (2002) como sendo essencialmente interpessoal, cobrindo, por exemplo, o sistema de regras – denominadas instituições – que governam a interação entre os membros de uma sociedade. Entretanto, indicadores referentes à sustentabilidade institucional ainda são bastante raros e apenas eventualmente utilizados. A perspectiva subjetiva, por sua vez, como exposto por Grasso e Canova (2007), diz respeito à experiência de indivíduos com relação a temas como a qualidade de vida ou às suas realizações. Para medir essa perspectiva, faz-se necessário medir as reações cognitivas e afetivas de cada indivíduo avaliado, não sendo por isso menos científica que as demais, ditas mais objetivas. As principais fraquezas desse tipo de avaliação estão relacionadas aos

aspectos pessoais e temperamentais dos respondentes, podendo ser fortemente enviesada pelos níveis de aspiração momentâneos e pelo que eles acreditem ser o mais correto.

A competitividade nacional, como colocado por Kao *et al.* (2008), é uma medida da habilidade de uma nação em criar e manter um ambiente propício à competição, de modo que o grau de prosperidade seja elevado. A desconstrução desse conceito leva à definição de critérios mensuráveis. Finalmente, as observações correspondentes a cada critério podem ser agregadas de acordo com a sua importância, a fim de obter um índice de competitividade nacional que permita a cada país tomar decisões de investimento a fim de gerar melhoras em seus indicadores. Em linhas gerais, pode-se assumir que a competição entre nações relacione-se àquela encontrada em nível empresarial, onde organizações competem por mercados e onde o sucesso pode ser medido observando-se os indicadores de participação e lucratividade.

Uma questão interessante levantada por Diener e Suh (1997) no tocante aos indicadores utilizados para essa avaliação diz respeito à dificuldade em se concordar quanto ao que é ótimo entre um valor muito baixo e outro muito alto. Segundo os autores, essa dificuldade existe mesmo quando deve-se lidar com indicadores básicos como a mortalidade infantil e propõem um exemplo bastante simples: uma nação que tenha um índice de cinco óbitos a cada mil nascimentos, será capaz de reduzir esse número para um em mil somente mediante investimentos gigantescos em saúde, salvando assim a vida de crianças com má formação ou com deficiências severas. Definir se esse decréscimo na mortalidade infantil é desejável do ponto de vista social e econômico constitui um julgamento de valores subjetivo. De modo similar, a extensão da longevidade a qualquer custo poderia levar a quadros controversos.

Assim como não há consenso quanto às medidas a serem usadas como indicadores subjetivos do bem-estar, essa falta de consenso também caracteriza a seleção das variáveis específicas usadas como indicadores objetivos de qualidade de vida. Há, no entanto, certo acordo quanto às categorias às quais essas variáveis deveriam pertencer, as quais incluem: (i) renda, riqueza e emprego; (ii) meio-ambiente; (iii) saúde; (iv) educação; (v) desorganização social (crime, alcoolismo, drogas); e (vi) alienação e participação política. Todo estudo completo sobre a qualidade de vida, de modo objetivo, deveria compreender pelo menos um indicador-chave de cada uma dessas categorias (SCHNEIDER, 1976).

Na concepção de Grasso e Canova (2007), a lista de indicadores a serem considerados na seleção especificamente de indicadores sociais voltados à avaliação do bem-estar deve incluir: (i) recursos econômicos e condição dos consumidores; (ii) nível de emprego e condições de trabalho; (iii) grau de educação e acesso à escola; (iv) nível de saúde

e acesso à assistência médica; (v) relações sociais e familiares; (vi) habitação; (vii) cultura e recreação; (viii) segurança para a vida e propriedades; e (ix) participação política.

O Fórum Econômico Mundial divulga anualmente o seu índice de competitividade global, GCI – ver GCR (2008), estruturado a partir da consideração de 110 indicadores agrupados segundo doze pilares fundamentais: (i) instituições; (ii) infra-estrutura; (iii) estabilidade macroeconômica; (iv) saúde e educação fundamental; (v) educação superior; (vi) eficiência de mercado na produção; (vii) eficiência de mercado voltado ao trabalho; (viii) sofisticação do mercado financeiro; (ix) prontidão tecnológica; (x) tamanho do mercado; (xi) sofisticação dos negócios; e (xii) inovação.

Uma vez que os indicadores estejam definidos, a literatura discute a questão de como ponderar apropriadamente os indicadores de sustentabilidade. O estudo realizado por Becker *et al.* (1987) deixa bastante explícita a necessidade de atentar para essa decisão. Os autores estudaram a qualidade de vida em 329 regiões metropolitanas dos EUA e constataram que, dependendo da combinação de pesos atribuídos às variáveis, existiam 134 regiões com probabilidade de serem a melhor e 150 regiões que poderiam alcançar a última colocação. O mais impressionante é que, dependendo dessas combinações, 59 metrópoles poderiam ser classificadas tanto em primeiro quanto em último lugar. Desse modo, se não houver consenso sobre como ponderar os indicadores, lembrando que sempre há *tradeoffs* entre eles, a avaliação multicriterial da qualidade de vida e, por conseqüência, da sustentabilidade nacional, será problemática.

Bell e Morse (1999) discutem uma série de questões referentes à sustentabilidade. Uma delas é se indicadores simples podem ser usados com sucesso para verificar um conceito tão complexo quanto a sustentabilidade. Segundo os autores, uma das maiores críticas ao uso de indicadores de sustentabilidade é que os mesmos tentam incluir diversos processos, alguns deles de complexidade considerável, em um pequeno número de medidas. Esse posicionamento vai ao encontro, por exemplo, da afirmação de Johnson e Kaplan (1993) citada anteriormente e que sugere que um número pequeno de indicadores seja utilizado ao avaliar-se o desempenho de uma organização. Contudo, como também exemplificado ao revisar a literatura sobre a implantação de sistemas de avaliação de desempenho, alguns casos podem requerer o monitoramento de um volume mais elevado de indicadores, justificando a adoção de modelos capazes de tratar múltiplos indicadores simultaneamente com o intuito de apoiar o seu gerenciamento.

Para Islam, Munasinghe e Clarke (2003), uma questão-chave consiste em saber se o crescimento econômico pode ser também sustentável. Nesse contexto, o uso de indicadores

econômicos, sociais e ambientais apropriados tem um papel fundamental. Contudo, embora avanços tenham sido realizados no sentido de avaliar a sustentabilidade de cada uma dessas três perspectivas, essa abordagem não permite atestar se o caminho adotado para alcançar o desenvolvimento sustentado é ótimo, garantindo máximo crescimento econômico e respeitando as premissas impostas pelas perspectivas social e ambiental. Além disso, como antecipado por Bell e Morse (1999), faz pouco sentido tentar construir um sistema econômica e ambientalmente sustentável, mas que reduza a qualidade de vida das pessoas desse sistema, impactando negativamente a questão social.

Fahy e Cinnéide (2008) atestam que, ainda hoje, embora atrativo, o conceito de desenvolvimento sustentável continua sendo vago e altamente contestado. Conforme os autores, as dificuldades em operacionalizar o conceito de desenvolvimento sustentável estimularam muitos debates e diversas pesquisas com o objetivo de avaliar o progresso realizado em relação a essa meta.

Uma conclusão interessante para essa questão é verificada em Diener e Suh (1997), ao estabelecerem que a qualidade de vida e, por analogia, o desenvolvimento sustentável, é um constructo multifacetado, requerendo diversas abordagens sob diversos ângulos. Ao invés de se embrenhar em discussões infrutíferas sobre quem tem o melhor indicador, os autores atestam que cada disciplina deveria emprestar as suas percepções a respeito do tema, de modo a permitir uma melhor compreensão do todo.

Tomando como base essa discussão preliminar, o caso estudado nesta seção tem o objetivo de sugerir uma forma de avaliar o desempenho das nações em relação aos seus níveis de sustentabilidade, sob uma ótica comparativa da relação entre o consumo de recursos e a geração de resultados que beneficiem a população. Essa avaliação é realizada com a utilização da Análise Envoltória de Dados, DEA, apoiada em ferramentas estatísticas.

A realização dos testes-piloto no modelo preliminar, integrante da 'Fase b' da sistemática proposta, foi conduzida com o apoio de instrumentos computacionais, permitindo a familiarização com alguns dos *softwares* mais utilizados para a execução matemática da técnica. Após uma série de testes e levando-se em conta elementos como interface amigável com o usuário e tipos de análise suportados pelo *software*, chegou-se à determinação dos dois programas a serem utilizados na etapa aplicada da dissertação. Um deles, o EMS – *Efficiency Measurement System*, desenvolvido pelo Prof. Holger Scheel, da Universidade de Dortmund, na Alemanha, é um *software* acadêmico capaz de resolver problemas com até 5000 DMUs e 40 variáveis, de acordo com os modelos convencionais CCR/BCC com orientação a *input* e *output*, super-eficiência e determinação de relações de peso para análise *cone-ratio*, entre



outras utilizações. O outro, denominado *Frontier Analyst 4*, é desenvolvido pela Banxia, uma empresa britânica, e é um *software* comercial cuja capacidade de análise depende da licença adquirida e que, em comparação com o EMS, permite apenas a restrição direta de pesos virtuais, embora possibilite a verificação da eficiência cruzada das unidades.

#### 4.1.2 Etapa Aplicada

Como visto no capítulo 3, uma vez concluída a etapa preliminar do estudo, deve-se proceder à ‘Fase 1’ da sua etapa aplicada, iniciada com a identificação das unidades tomadoras de decisão, DMUs, e das variáveis que tornarão possível a construção do modelo DEA utilizado na análise propriamente dita. Tendo em vista o problema a ser estudado – a avaliação do desempenho das nações em relação ao nível de sustentabilidade, a escolha das DMUs a serem consideradas levou em conta a listagem disponível em UN (2008) com os 192 Estados Membros da Organização das Nações Unidas, uma vez que todos são Estados soberanos e reconhecidos internacionalmente.

A definição das variáveis levadas em conta na condução do estudo, por sua vez, exigiu um esforço consideravelmente maior antes de ser concluída. Primeiramente, seguindo as recomendações constantes da literatura, o conceito de sustentabilidade foi desdobrado segundo suas perspectivas social, econômica e ambiental. Em seguida, sempre tendo como referência o histórico de publicações disponíveis na área, foram salientados os aspectos merecedores de maior atenção em cada uma das perspectivas consideradas. Disso, resultou que questões como nível de saúde, educação, remuneração, desenvolvimento tecnológico, sofisticação do mercado e utilização de recursos naturais pelos países deveriam ser considerados, embora a escolha dos indicadores propriamente ditos tenha sido deixada para um próximo momento.

Concluída essa etapa, passou-se a verificar as condições de oferta dos dados requeridos. Nesse ponto, foram conduzidas diversas buscas aos bancos de dados de mais de uma dezena de organizações reconhecidas globalmente como referências na divulgação das informações demandadas. Após um processo cauteloso de verificação da disponibilidade dos dados, bem como da sua confiabilidade e precisão para as DMUs avaliadas, chegou-se aos três bancos de dados julgados mais adequados para a realização do estudo proposto:

- O *Human Development Report 2007 / 2008* – HDR (2008a) – é publicado pela Organização das Nações Unidas e, conforme declaração do atual Presidente da República Federativa do Brasil em HDR (2008b), deveria ser de leitura

obrigatória para todos os governos, especialmente os das nações mais desenvolvidas;

- O Banco Mundial, constituído pelo Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento e a Associação Internacional de Desenvolvimento e contando atualmente com 185 países membros, é o responsável pela edição do *World Development Indicators 2007 – WDI (2008)*, uma compilação anual de dados relacionados ao desenvolvimento das nações;
- O *The 2008 World Factbook – TWF (2008)* – é disponibilizado pela Agência Central de Inteligência do governo norte-americano, CIA, cuja missão primária consiste em coletar, analisar, avaliar e disseminar informação externa para assistir o governo na tomada de decisões relacionadas à segurança nacional.

Em conjunto, essas entidades disponibilizam algumas centenas de indicadores de alguma forma relacionados ao escopo deste estudo. Desse total, 87 indicadores – sendo 42 disponibilizados pela ONU, 30 pelo Banco Mundial e 15 pela CIA – foram considerados como de maior potencial contributivo para a análise proposta, devido ao fato de estarem mais fortemente alinhados ao escopo deste trabalho, de acordo com as apreciações levantadas junto à literatura, e são apresentados sinteticamente na Figura 9. Pode-se observar que alguns indicadores constam de mais de uma fonte, o que se deve ao fato de apresentarem informações complementares quanto à abrangência geográfica do indicador ou de se tratarem de indicadores que, apesar do mesmo nome, são calculados segundo metodologias distintas.

A terceira etapa dessa segunda fase de aplicação do modelo consiste em proceder à coleta dos dados desejados. Assim, os três bancos de dados escolhidos, todos de acesso público irrestrito, foram acessados e as informações pertinentes colhidas e armazenadas para análise. Uma vez concluído o levantamento, foi iniciado um novo e exaustivo processo de verificação das variáveis. Diferentemente da verificação realizada antes da coleta de dados, e que consistiu fundamentalmente na prospecção de fontes confiáveis para o fornecimento das informações desejadas, com base nas recomendações da literatura, agora chegou o momento de decidir como utilizar os dados brutos para dar seguimento ao trabalho.

Raros são os indicadores cujos dados contemplam a totalidade dos países definidos inicialmente, de modo que, quanto maior o número de variáveis adotadas, menor o número de DMUs disponíveis para a análise. Isso é sabidamente um problema, não apenas sob a face mais lógica da diminuição do conjunto possível de unidades tomadoras de decisão consideradas mas, sobretudo por uma das grandes limitações da técnica DEA que, como visto anteriormente, traz resultados melhores quando a razão de DMUs por variável é maior.

ONU	Banco Mundial	CIA
* Gastos públicos com saúde	* Nascimentos atendidos por prof. de saúde	* Mortalidade infantil
* Gasto com saúde per cápita	* Mortalidade até os 5 anos de idade	* Analfabetismo
* Nº de médicos	* Imunização contra o sarampo	* Índice Gini
* Nascimentos atendidos por prof. de saúde	* Taxa de fertilidade	* Renda per capita
* Mortalidade até o 1º ano de idade	* Fertilidade adolescente	* Expectativa de vida
* Mortalidade até os 5 anos de idade	* Uso de contraceptivos	* Importações
* Crianças abaixo do peso	* Prevalência do HIV	* Exportações
* Casos de tuberculose	* Expectativa de vida	* Inflação
* Prevalência do HIV	* População com ensino primário	* Desemprego
* Homicídios	* PIB	* PIB
* Expectativa de vida	* Cresc PIB	* Crescimento do PIB
* Gastos públicos com educação	* Participação dos 1º, 2º e 3º setores no PIB	* Consumo de energia elétrica
* Gastos com educação em cada nível (1º, 2º e 3º)	* Exportações	* Consumo de petróleo
* Analfabetismo	* Exportações de prod. de alta tecnologia	* Consumo de gás natural
* Analfabetismo funcional	* Importações	* Consumo de água
* Desemprego	* Saldo na balança comercial	
* Desemprego crônico (longo prazo)	* Evolução da balança comercial na década	
* Inflação	* Capitalização de mercado (emp. listadas)	
* Renda per capita	* Inflação	
* Cresc da renda per capita	* Dívida Externa	
* Índice de pobreza	* Investimentos estrangeiros	
* População vivendo com até \$2 por dia	* Auxílio oficial para assistência ao desenv.	
* Índice Gini	* % Terras aráveis	
* Medida de desigualdade (10%)	* Área de florestas	
* População carcerária	* Assinantes de telefonia	
* PIB	* Usuários de internet	
* Exportações	* Gastos militares	
* Exportações de produtos manufaturados	* Tempo nec. para abrir uma empresa	
* Exportações de prod de alta tecnologia	* Consumo de energia elétrica	
* Importações	* Consumo de energia (eq. petróleo)	
* Urbanização		
* Assinantes de celular		
* Usuários de internet		
* Gastos com P&D		
* Gastos militares		
* Pessoal nas forças armadas		
* Consumo de eletricidade		
* Emissões de CO2 per capita		
* Consumo de petróleo		
* Geração elétrica com fonte hidro, solar ou eólica		
* Geração elétrica com fonte nuclear		
* Prod de em elet por lixo e biomassa		

Figura 9: Indicadores de sustentabilidade inicialmente considerados para coleta de dados

Por esse motivo, faz-se necessário tomar uma decisão relevante neste momento: privilegiar a utilização de um número maior de variáveis, reduzindo assim o total de DMUs consideradas, ou avaliar um montante mais amplo de unidades restringindo a quantidade de variáveis? Essa é uma pergunta cuja resposta depende de diversos fatores.

Uma questão avaliada foi a não necessidade, para a execução deste estudo, da consideração de todos os países do planeta. Mais do que isso, assume-se que, desde que as nações consideradas sejam representativas do todo, ou de um conjunto do todo, os resultados obtidos poderão ser julgados válidos. Com isso, os países classificados como mais eficientes o serão dentro do conjunto avaliado mas, logicamente, não serão necessariamente eficientes ao

avaliar-se o todo. Assim, a ênfase da verificação consistiu em privilegiar a contemplação de um maior número de variáveis, atentando para a permanência de países-chave no conjunto avaliado.

Deve-se, aqui, ressaltar que, assim como o conceito de sustentabilidade permanece indefinido, a literatura ainda é incapaz de chegar a um consenso no que tange à escolha dos indicadores mais apropriados para concluir a respeito do seu atendimento. Os indicadores utilizados correspondem aos dados disponibilizados publicamente sobre um conjunto amplo de nações, desde que relacionadas aos preceitos historicamente classificados como relevantes ao estudo da sustentabilidade.

Como resultado dessa definição, diversas variáveis foram excluídas da análise por apresentarem informações apenas para alguns países-chave, serem redundantes ou de interpretação controversa. O indicador referente ao número de nascimentos atendidos por um profissional de saúde, disponibilizada pela ONU e pelo Banco Mundial, por exemplo, foi descartado por não incluir dados sobre nações como Espanha, Itália e Suíça. Outro caso é o do indicador sobre analfabetismo, onde as informações da CIA foram escolhidas em detrimento da ONU por serem mais recentes e não excluírem qualquer nação que já não tivesse sido eliminada da análise devido a outro indicador. Um exemplo claro de interpretação dúbia se refere ao indicador que mede a proporção da população carcerária no país: por um lado, mais detentos podem refletir um país com piores condições sociais e mais crime, embora possa ser reflexo de um sistema judiciário mais rígido ou de um Estado com menos liberdade para o cidadão. Outro caso de interpretação complexa refere-se à taxa de crescimento do PIB, onde nações recém saídas de ambientes recessivos ou simplesmente emergentes no cenário mundial têm a tendência de apresentarem índices superiores àquelas já estabelecidas como economias sólidas, sem necessariamente passarem por um momento melhor.

As variáveis julgadas aptas a permanecerem na análise foram submetidas a testes estatísticos com o intuito de verificar a existência de relações de correlação entre as mesmas. O estudo permitiu verificar, por exemplo, a existência de uma forte correlação entre as indicações do valor do PIB, consumo de eletricidade e consumo de petróleo. Além disso, o valor das importações também apresentou forte correlação com o PIB, assim como, não surpreendentemente, os índices de mortalidade infantil até o primeiro e até o quinto ano de vida. Com isso, os indicadores referentes ao valor do PIB, consumo de eletricidade e mortalidade até o quinto ano de vida foram extraídos da amostra. Algumas variáveis adicionais foram eliminadas após a análise estatística, tendo-se estabelecido como linha de corte o valor de  $R^2 = 0,8$  – indicativo de correlação forte entre as variáveis. A análise também

resultou na adoção de um novo indicador, calculado a partir da razão entre os volumes de importação e exportação, que apresentavam uma ligação forte entre si, permitindo a exclusão de mais um par de indicadores altamente correlacionados. A Tabela 4 apresenta o resultado da análise de correlação para as variáveis selecionadas para compor este estudo.

Concluída a escolha das variáveis, definidas as DMUs e finalizada a análise de correlação, chega-se à base de dados a ser utilizada para a operacionalização da DEA. Essa base é constituída por um total de 76 DMUs avaliadas por 27 variáveis e é apresentada na Tabela 5.

A representatividade da amostra coletada em relação ao conjunto total existente é ilustrada na Tabela 6. Através de sua análise, é possível observar que, embora apenas 40% das nações do planeta tenham sido consideradas, elas representam mais de três quartos da população e mais de 92% da economia mundial. O único continente inteiramente considerado foi a América do Norte, formado por três países de notada relevância e com abundância de informações disponíveis. Situação inversa acontece no continente africano onde, devido à baixa disponibilidade de informações, apenas 15% dos países foram incluídos no estudo, implicando até mesmo na desconsideração de pólos regionais como a Nigéria e o Egito. Ocorrência semelhante é observada na América Central, representada por duas nações insulares e outras três no continente. Nesse caso, merecem destaque as ausências de Cuba, Guatemala e República Dominicana, em conjunto responsáveis por mais de 40% dos habitantes e do PIB do continente.

No caso da Oceania, apesar de não ter sido possível coletar as informações desejadas referentes às pequenas ilhas e arquipélagos, o fato de a economia continental estar centralizada na Austrália e Nova Zelândia permite considerar que o continente esteja bem representado. O principal desfalque da Oceania fica por conta das raras informações a respeito de Papua Nova-Guiné, nação com quase seis milhões de habitantes e caracterizada por alguns dos indicadores econômicos e sociais mais atrasados do mundo. O quadro encontrado para os Estados asiáticos é similar. O fato de seis em cada dez habitantes do continente ser de origem chinesa ou indiana e de esses dois países, junto com o Japão e a Coreia do Sul, responderem por 70% da riqueza gerada na Ásia, contribui para que uma alta representatividade nesses termos tenha sido alcançada mesmo com a exclusão de mais da metade das nações do conjunto analisado.

Tabela 4: Análise de correlação para as variáveis estudadas

	Saude	%sau	Meds	Mort	HIV	Sar	Tub	Vida	%edu	Gini	Desig	Fert	Analf	Fonc	Web	S cap	Com	Abre	Inf	Des	HTech	Bolsa	KWh	Ener	Petro	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Saude	1																										
%sau	0.789***	1																									
Meds	0.505***	0.543***	1																								
Mort	-0.485***	-0.461***	-0.595***	1																							
HIV	-0,183	-0,091	-0,368***	0,648***	1																						
Sar	-0,062	-0,145	-0,374***	0,447***	0,362***	1																					
Tub	-0,126	-0,171	-0,079	-0,031	-0,062	-0,112	1																				
Vida	0,531***	0,440***	0,536***	-0,860***	-0,799***	-0,371***	0,034	1																			
%edu	0,379***	0,472***	0,125	-0,029	0,276**	0,029	-0,074	0,013	1																		
Gini	-0,437***	-0,392***	-0,605***	0,409***	0,532***	0,238**	-0,005	-0,508***	-0,095	1																	
Desig	-0,259**	-0,082	-0,363***	0,255**	0,350***	0,311***	0,023	-0,331***	0,057	0,726***	1																
Fert	-0,503***	-0,417***	-0,583***	0,634***	0,366***	0,308***	-0,036	-0,600***	-0,278**	0,680***	0,518***	1															
Analf	-0,433***	-0,507***	-0,648***	0,625***	0,198*	0,380***	-0,062	-0,475***	-0,069	0,317***	0,151	0,429***	1														
Fonc	0,758***	0,743***	0,670***	-0,689***	-0,261**	-0,272**	0,071	0,625***	0,368***	-0,527***	-0,361***	-0,691***	-0,611***	1													
Web	0,774***	0,651***	0,454***	-0,571***	-0,273**	-0,194*	0,148	0,594***	0,379***	-0,504***	-0,352***	-0,609***	-0,469***	0,820***	1												
S cap	0,899***	0,708***	0,526***	-0,552***	-0,189	-0,134	0,044	0,579***	0,374***	-0,477***	-0,324***	-0,634***	-0,501***	0,863***	0,855***	1											
Com	-0,202*	-0,262**	0,016	0,159	-0,109	0,091	-0,224*	-0,060	-0,093	-0,051	-0,148	0,175	0,336***	-0,222*	-0,250**	-0,298***	1										
Abre	-0,319***	-0,252**	-0,432***	0,313***	0,382***	0,238**	-0,110	-0,384***	-0,089	0,497***	0,434***	0,446***	0,183	-0,431***	-0,408***	-0,382***	-0,196*	1									
Inf	-0,558***	-0,436***	-0,204*	0,495***	0,230**	0,080	-0,117	-0,550***	-0,164	0,253**	0,176	0,428***	0,224*	-0,550***	-0,565***	-0,586***	0,147	0,187	1								
Des	-0,300***	-0,205*	-0,301***	0,601***	0,350***	0,188	-0,107	-0,559***	-0,191*	0,222*	0,031	0,537***	0,331***	-0,412***	-0,405***	-0,388***	0,291**	0,069	0,298***	1							
HTech	0,276**	0,043	0,009	-0,339***	-0,194*	-0,065	0,120	0,325***	0,003	-0,058	-0,138	-0,309***	-0,246**	0,304***	0,368***	0,395***	-0,269**	-0,085	-0,345***	-0,335***	1						
Bolsa	0,469***	0,225*	0,062	-0,220*	0,042	0,029	-0,001	0,186	0,205*	-0,046	-0,197*	-0,314***	-0,137	0,455***	0,448***	0,500***	-0,150	-0,249**	-0,387***	-0,161	0,359***	1					
KWh	0,805***	0,645***	0,445***	-0,456***	-0,159	-0,137	0,089	0,460***	0,377***	-0,479***	-0,314***	-0,541***	-0,450***	0,698***	0,801***	0,850***	-0,285**	-0,387***	-0,484***	-0,287**	0,270**	0,455***	1				
Ener	0,720***	0,500***	0,416***	-0,460***	-0,162	-0,179	0,118	0,413***	0,269**	-0,463***	-0,348***	-0,566***	-0,488***	0,706***	0,728***	0,827***	-0,343***	-0,390***	-0,366***	-0,326***	0,303***	0,482***	0,847***	1			
Petro	0,124	0,118	-0,091	-0,254**	-0,099	-0,011	0,048	0,358***	0,086	0,261**	0,276**	-0,009	0,011	0,171	0,141	0,176	0,007	0,087	-0,316***	-0,293**	0,161	0,185	0,013	-0,067	1		
H <sub>2</sub> O	0,113	-0,006	0,323***	-0,216*	-0,240**	-0,264**	-0,174	0,179	-0,254**	-0,265**	-0,243**	-0,166	-0,187	0,018	-0,006	0,034	0,042	-0,173	0,111	-0,069	0,025	-0,118	0,117	-0,114	0,127	-0,114	1
CO <sub>2</sub>	0,634***	0,417***	0,380***	-0,426***	-0,128	-0,201*	0,056	0,333***	0,223*	-0,403***	-0,337***	-0,522***	-0,461***	0,641***	0,610***	0,731***	-0,315***	-0,366***	-0,301***	-0,298***	0,262**	0,427***	0,765***	0,930***	-0,092	0,211*	1

\*\*\* Correlação significante a 0.01 (bi-caudal)

\*\* Correlação significante a 0.05 (bi-caudal)

\* Correlação significante a 0.1 (bi-caudal)

N = 76

Para o significado das abreviaturas, consultar Figura 9

Tabela 5: Base de dados utilizada para o estudo de sustentabilidade

	Saude	%sau	Meds	Mort	HIV	Sar	Tub	Vida	%edu	Gini	Desig	Fert	Analf	Fone
África do Sul	748	3,5	77	69,00	18,8	15	28	42,37	5,4	65	33,1	63,09	13,6	82,51
Alemanha	3171	8,2	337	4,47	0,1	6	15	79,10	4,6	28	6,9	9,57	1	162,3
Argentina	1274	4,3	301	16,46	0,6	3	9	76,52	3,8	49	40,9	57,66	2,8	81,5
Armênia	226	1,4	359	23,80	0,1	8	85	72,40	3,2	37	8	29,81	0,6	30,2
Austrália	3123	6,5	247	5,60	0,1	6	49	80,73	4,7	30,5	12,5	14,84	1	139,9
Áustria	3418	7,8	338	4,70	0,3	20	43	79,36	5,5	26	6,9	11,99	2	150,4
Bélgica	3133	6,9	449	4,47	0,3	12	144	79,07	6,1	28	8,2	7,43	1	135,7
Bolívia	186	4,1	122	61,20	0,1	19	556	66,53	6,4	59,2	168,1	79,44	13,3	33,4
Botsuana	504	4,0	40	123,80	24,1	10	63	50,16	10,7	63	43	53,95	18,8	52
Brasil	1520	4,8	115	19,95	0,5	1	41	72,51	4,4	56,7	51,3	89,36	11,4	67,4
Bulgária	671	4,6	356	14,28	0,05	4	602	72,83	4,2	31,6	7	41	1,8	112,8
Canadá	3173	6,8	214	5,66	0,3	6	16	81,16	5,2	32,1	9,4	14,26	1	116,9
Casaquistão	264	2,3	354	29,10	0,1	1	208	67,55	2,3	30,4	8,5	30,22	0,5	53,52
Chile	720	2,9	109	9,26	0,3	9	449	77,15	3,5	54,9	33	60	4,3	85,9
China	277	1,8	106	23,70	0,1	7	541	73,18	1,9	47	21,6	6,94	9,1	57,02
Cingapura	1118	1,3	140	2,77	0,3	7	659	81,89	3,7	52,2	17,7	4,73	7,5	143,4
Colômbia	570	6,7	135	20,65	0,6	12	65	72,54	4,8	53,8	63,8	67,14	7,2	65,7
Coréia do Sul	1135	2,9	157	4,92	0,05	1	1161	77,42	4,6	35,1	7,8	3,84	2,1	135,3
Costa Rica	592	5,1	132	11,84	0,3	11	116	77,40	4,9	49,8	37,8	72,54	5,1	57,53
Dinamarca	2780	7,1	293	4,81	0,2	1	68	78,13	8,5	24	8,1	6,01	1	162,4
El Salvador	375	3,5	124	25,40	0,9	2	546	72,06	2,8	52,4	57,5	82,22	19,8	50,74
Equador	261	2,2	148	23,60	0,3	3	5	76,81	1,0	46	44,9	83,14	9	60,68
Eslováquia	1061	5,3	318	8,10	0,05	2	385	75,17	4,3	26	6,7	19,85	0,4	106,5
Eslovênia	1815	6,6	225	3,98	0,05	4	352	76,73	6,0	24	5,9	6,55	0,3	128,7
Espanha	2099	5,7	330	4,43	0,6	3	86	79,92	4,3	32	10,3	9,46	2,1	139,8
Estados Unidos	6096	6,9	256	7,56	0,6	7	6	78,14	5,9	45	15,9	42,66	1	130,9
Estônia	752	4,0	448	6,85	1,3	4	380	72,56	5,3	34	10,8	21,55	0,2	140,2
Filipinas	203	1,4	58	31,60	0,05	8	110	70,80	2,7	45,8	15,5	47,72	7,4	45,11
Finlândia	2203	5,7	316	3,80	0,1	3	431	78,82	6,5	26	5,6	9,54	0	140,8
França	3040	8,2	337	4,34	0,4	13	293	80,87	5,9	28	9,1	7,1	1	134,3
Gana	95	2,8	15	119,90	2,3	15	99	59,49	5,4	39,4	14,1	57,91	42,1	14,18
Geórgia	171	1,5	409	32,00	0,2	5	77	76,51	2,9	40,4	15,4	31,14	0	39
Grécia	2179	4,2	438	4,38	0,2	12	25	79,52	4,3	33	10,2	8,83	4	149,2
Holanda	3092	5,7	315	5,16	0,2	4	5	79,25	5,4	30,9	9,2	4,82	1	143,5
Hungria	1308	5,7	333	7,24	0,1	1	6	73,18	5,5	28	5,5	19,51	0,6	125,6
Índia	91	0,9	60	76,40	0,9	41	179	69,25	3,8	36,8	8,6	63,23	39	12,82
Indonésia	118	1,0	13	33,60	0,1	28	135	70,46	0,9	36,3	7,8	41,27	9,6	27,06
Irã	604	3,2	87	34,40	0,2	1	28	70,86	4,7	43	17,2	21,2	23	37,94
Irlanda	2618	5,7	279	5,18	0,2	14	306	78,07	4,8	32	9,4	16,68	1	152
Israel	1972	6,1	382	5,24	0,05	5	12	80,61	6,9	38,6	13,4	14,38	2,9	154,4
Itália	2414	6,5	420	4,15	0,5	13	588	80,07	4,7	33	11,6	6,44	1,6	164,7
Jamaica	223	2,8	85	31,15	1,5	13	507	73,59	5,3	45,5	17,3	80,28	12,1	117,6
Japão	2293	6,3	198	3,59	0,05	1	18	82,07	3,6	38,1	4,5	3,35	1	120,9
Jordânia	502	4,7	203	25,20	0,05	1	6	78,71	4,9	38,8	11,3	25,07	10,1	69,59
Letônia	852	4,0	301	9,34	0,8	5	518	71,88	5,3	37,7	11,6	14,8	0,3	113,1
Lituânia	843	4,9	397	8,23	0,2	3	269	74,67	5,2	36	10,4	19,06	0,4	150,9
Macedônia	471	5,7	219	16,60	0,05	6	132	74,45	3,5	39	12,5	22,07	3,9	88,24
Malásia	402	2,2	70	11,60	0,5	10	123	73,03	6,2	46,1	22,1	13,21	11,3	93,21
Marrocos	234	1,7	51	37,20	0,1	5	73	71,52	6,7	40	11,7	19,16	47,7	45,56
México	655	3,0	198	35,25	0,3	4	577	75,84	5,4	50,9	24,6	65,84	9	64,66
Mongólia	141	4,0	263	42,55	0,05	1	294	67,32	5,3	32,8	8,2	45,81	2,2	27,93
Namíbia	407	4,7	30	60,60	19,6	37	4	49,89	6,9	70,7	128,8	61,27	15	31,39
Nepal	71	1,5	21	59,40	0,5	15	11	60,94	3,4	47,2	15,8	116,09	51,4	2,63
Noruega	4080	8,1	313	3,84	0,1	9	475	79,81	7,7	28	6,1	8,61	0	148,8
Nova Zelândia	2081	6,5	237	6,19	0,1	18	100	80,24	6,5	36,2	12,5	23,41	1	127,2
Panamá	632	5,2	150	23,10	0,9	6	25	75,17	3,8	56,1	57,5	83,88	8,1	66,91
Paquistão	48	0,4	74	97,20	0,1	20	146	64,13	2,3	30,6	6,5	32,89	50,1	11,55
Paraguai	327	2,6	111	22,20	0,4	12	150	75,56	4,3	56,8	65,4	74,3	6	37,42
Peru	235	1,9	117	25,20	0,6	1	673	70,44	2,4	52	30,4	60,88	12,3	28,72
Polónia	814	4,3	247	6,99	0,1	1	17	75,41	5,4	36	8,8	13,47	0,2	107,4
Portugal	1897	7,0	342	4,52	0,4	7	22	78,04	5,7	38,5	15	14,05	6,7	148,6
Quênia	86	1,8	14	120,60	6,1	23	42	56,64	6,7	44,5	13,6	103,68	14,9	13,75
Quirguistão	102	2,3	251	40,95	0,1	3	27	69,12	4,4	30,3	6,4	31,32	1,3	19,09
Reino Unido	2560	7,0	230	5,73	0,2	15	5	78,85	5,4	34	13,8	24,43	1	165,2
República Tcheca	1412	6,5	351	3,93	0,1	3	466	76,62	4,4	26	5,2	11,06	1	146,5
Romênia	433	3,4	190	18,29	0,05	5	42	72,18	3,4	31	7,5	33,05	2,7	82
Rússia	583	3,7	425	15,75	1,1	1	56	65,94	3,6	41,3	12,7	28,25	0,6	111,8
Suécia	2828	7,7	328	3,40	0,2	5	496	80,74	7,4	23	6,2	4,49	1	161,3
Suíça	4011	6,7	361	4,86	0,4	14	204	80,74	6,0	33,7	9	4,42	1	161,1
Tailândia	293	2,3	37	7,75	1,4	4	753	72,83	4,2	42	12,6	42,14	7,4	60,59
Trinidad e Tobago	523	1,4	79	37,55	2,6	11	495	67,00	4,2	38,9	12,9	34,75	1,4	84,87
Tunísia	502	2,8	134	22,60	0,1	2	559	75,56	7,3	40	13,4	7,21	25,7	69,18
Turquia	557	5,2	135	26,00	0,05	2	24	73,14	3,7	43,6	16,8	39,16	12,6	86,85
Ucrânia	427	3,7	295	23,75	1,4	2	3	68,06	6,4	31	5,9	28,45	0,6	88,45
Uruguai	784	3,6	365	12,05	0,5	6	139	76,14	2,6	45,2	17,9	61,76	2	65,37
Zâmbia	63	3,4	12	182,00	17	16	618	38,59	2,0	50,8	32,3	129,64	19,4	9,1

Tabela 5: Base de dados utilizada para o estudo de sustentabilidade (cont.)

	Web	\$ cap	Com	Abre	Inf	Des	HTech	Bolsa	KWh	Ener	Petro	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
África do Sul	109	9800	1,08	31	7,1	24,3	6,4	280,23	4847,1	2721,9	12,2	264	9,8
Alemanha	455	34200	0,82	18	2,3	8,4	16,65	56,54	7110,5	4180,2	35,8	460	9,8
Argentina	177	13300	0,78	31	8,8	14,1	6,76	37,22	2417,8	1644,4	36,7	753	3,7
Armênia	53	4900	2,35	18	4,4	7,1	1,06	0,94	1503,1	847,68	16,6	977	1,2
Austrália	698	36300	1,12	2	2,3	4,4	12,33	140,4	11480	5978,2	31,1	1193	16,2
Áustria	486	38400	0,99	28	2,2	4,4	13,07	59,41	7888,7	4173,6	42,2	448	8,6
Bélgica	458	35300	1,00	4	1,8	7,5	7,95	100,55	8509,9	5406,5	40,2	714	9,7
Bolívia	52	4000	0,72	50	8,7	7,5	4,45	19,91	478,76	577,98	56,2	157	0,8
Botswana	34	16400	0,68	108	7,1	7,5	0,2	37,24	1405,8	1032,1	36,5	107	2,4
Brasil	195	9700	0,75	152	3,6	9,3	12,09	66,62	2008,2	1121,5	42,2	318	1,8
Bulgária	206	11300	1,55	32	7,6	7,7	6,05	32,8	4121,1	2591,7	24,6	895	5,5
Canadá	520	38400	0,89	3	2,1	6	15,18	133,75	17284,6	8416,5	35,8	1386	20
Casaquistão	27	11100	0,69	21	10,8	7,3	20,84	53,93	3206,3	3461,8	14,5	2360	13,3
Chile	172	13900	0,65	27	4,4	7	6,51	119,69	3074,3	1814,5	39,2	770	3,9
China	85	5300	0,74	35	4,8	4	30,3	91,74	1780,5	1316,3	18,5	415	3,8
Cingapura	571	49700	0,88	5	2,1	2,1	57,79	209,09	8358,2	6932,6	80,3	44	12,3
Colômbia	104	6700	1,02	42	5,5	11,2	4,02	36,64	890,07	636,01	43,3	235	1,2
Coreia do Sul	684	24800	0,96	17	2	3,3	32,01	94,05	7778,6	4426,4	45	389	9,7
Costa Rica	254	10300	1,32	77	9,4	4,6	44,67	8,75	1718,8	882,78	51,4	619	1,5
Dinamarca	527	37400	1,01	6	1,7	2,8	19,67	83,89	6663	3620,7	41,8	123	9,8
El Salvador	93	5800	2,14	26	3,9	6,2	2,76	29,3	665,53	694,17	44,4	186	0,9
Equador	47	7200	0,89	65	2,2	9,3	7,87	9,76	714,49	799,4	83,5	1283	2,2
Eslováquia	464	20300	1,02	25	2,8	8,4	6,21	10,13	4919,8	3495,6	18,4	193	6,7
Eslovênia	545	27200	1,08	60	3,6	4,8	5,11	40,7	6917,7	3656,5	35,8	457	8,1
Espanha	348	30100	1,48	47	2,8	8,3	6,18	108,04	6147,1	3345,6	49,1	864	7,6
Estados Unidos	630	45800	1,71	6	2,9	4,6	30,08	147,57	13647	7892,8	40,7	1600	20,6
Estônia	513	21100	1,33	7	6,6	4,7	12,52	36,34	5567,1	3785,7	15,5	1060	14
Filipinas	54	3400	1,17	58	2,8	7,3	67,64	58,17	588,07	528,49	35,4	343	1
Finlândia	534	35300	0,78	14	1,6	6,8	22,31	126,03	16119	6664,1	30,6	444	12,6
França	430	33200	1,10	7	1,6	8,3	21,2	108,03	7938,3	4533,5	33,1	548	6
Gana	18	1400	1,92	42	9,6	11	0,18	25,05	265,76	396,58	28,7	44	0,3
Geórgia	39	4700	2,43	11	9,2	13,6	16,27	8,63	1671,8	717,57	25,3	808	0,8
Grécia	180	29200	3,38	38	3	8,3	10,54	67,53	5241,5	2789,7	57,1	782	8,8
Holanda	739	38500	0,89	10	1,6	3,2	28,23	117,72	6987,7	5015,3	40,2	544	8,7
Hungria	297	19000	0,99	16	7,9	7,3	23,99	37,14	3771,3	2752,2	26	2082	5,6
Índia	55	2700	1,53	33	6,4	7,2	4,9	89,81	480,49	490,88	23,9	585	1,2
Indonésia	73	3700	0,72	105	6,4	9,6	13,17	38,07	509,32	813,9	36,6	372	1,7
Irã	103	10600	0,64	47	17,5	12	5,87	17,41	2116,5	2352,1	47,5	1048	6,4
Irlanda	276	43100	0,73	13	3	4,6	34,43	74,21	6233,5	3676	56	284	10,5
Israel	470	25800	1,11	34	0,5	7,3	14,43	123,39	6759	2815,7	51,2	305	10,4
Itália	478	30400	0,99	13	2	6	7,19	55,47	5668,7	3159,7	44,2	723	7,8
Jamaica	404	7700	2,48	8	9,3	9,9	0,11	122,48	2474,2	1444,7	86,5	155	4
Japão	668	33600	0,85	23	0	3,9	21,61	108,19	8232,5	4151,6	47,4	690	9,9
Jordânia	118	4900	2,11	14	5,4	13,5	1,2	210,83	1675,5	1310,7	78,5	177	2,9
Letônia	448	17400	1,82	16	10,1	5,7	6,78	13,45	2702,4	2049,9	29,7	108	3
Lituânia	358	17700	1,33	26	5,8	3,5	8,03	34,24	3104	2515	29,1	971	3,8
Macedônia	79	8500	1,49	15	2,3	35	1,09	17,67	3417	1346,3	33,2	1118	5,1
Malásia	435	13300	0,80	24	2,1	3,2	53,77	156,2	3261,6	2388,7	43,3	356	7,5
Marrocos	152	4100	2,13	12	2	2,1	9,78	75,47	643,54	458,25	60,2	400	1,4
México	181	12800	1,04	27	4	3,7	18,89	41,51	1898,6	1712,4	58,8	731	4,2
Mongólia	105	3200	1,12	20	9	3	1,66	3,59	1260	853	22,7	166	3,1
Namíbia	37	5200	1,02	99	6,7	5,2	6,56	8,25	1427,9	682,78	66,8	148	1,2
Nepal	4	1200	2,89	31	6,4	42	0,1	20,2	69,54	338,46	9,2	375	0,1
Noruega	735	53000	0,56	10	0,8	2,5	18,7	83,92	25137,4	6948,5	44,1	519	19,1
Nova Zelândia	672	26400	1,06	12	2,4	3,6	10,5	43	9656	4090,3	40,3	524	7,7
Panamá	64	10300	1,36	19	4,2	6,4	0,25	33,43	1499,6	803,96	71,7	254	1,8
Paquistão	67	2600	1,86	24	7,8	7,5	1,44	35,89	456,22	490	21,9	1072	0,8
Paraguai	34	4500	1,02	35	8,1	5,6	8,39	4,41	848,67	673,54	13,3	80	0,7
Peru	164	7800	0,70	72	1,8	6,9	2,05	64,55	847,61	506,34	53,5	720	1,1
Polónia	262	16300	1,11	31	2,5	12,8	3,81	44	3437,3	2435,9	23,8	304	8
Portugal	279	21700	1,46	7	2,4	7,7	9,31	53,51	4662,5	2575,1	58,5	1056	5,6
Quênia	32	1700	2,11	44	9,8	40	3,1	49,95	138,43	484,45	19,1	46	0,3
Quirguistão	54	2000	2,41	21	10,2	18	2,85	3,29	1842,1	543,99	22,5	1916	1,1
Reino Unido	473	35100	1,40	13	2,3	5,4	33,64	159,63	6253,4	3884,1	36,2	197	9,8
República Tcheca	269	24200	0,95	17	2,8	6,6	14,1	33,98	6343,2	4417,1	22,1	187	11,4
Roménia	208	11400	1,60	14	4,8	4,1	4,41	26,96	2341,9	1772,3	24,6	299	4,2
Rússia	152	14700	0,71	29	11,9	6,2	9,38	107,12	5784,9	4517,5	20,6	535	10,6
Suécia	764	36500	0,88	15	1,7	6,1	15,85	149,36	15440	5781,6	28,5	296	5,9
Suíça	498	41100	0,91	20	0,9	2,5	21,88	318,74	8305,2	3651	47,1	348	5,4
Tailândia	110	7900	0,83	33	2,2	1,4	27,29	68,38	1988,1	1587,8	45,5	1288	4,2
Trinidade e Tobago	123	18300	0,62	43	7,9	6,5	1,03	85,85	5038	9598,6	13,6	237	24,9
Tunísia	95	7500	1,19	11	3,1	14,1	4,9	14,68	1193,9	842,66	50	261	2,3
Turquia	222	12900	1,41	6	8,8	9,9	1,5	40,33	1897,5	1182,3	35,1	544	3,2
Ucrânia	97	6900	1,21	27	12,8	2,3	3,3	40,27	3246	3040,7	10,3	807	7
Uruguai	193	11600	1,10	44	8,1	9,2	2,95	0,65	2007,1	875,15	59,4	910	1,6
Zâmbia	20	1300	0,83	33	10,7	50	1,82	11,04	721,19	620,65	9,6	149	0,2



Tabela 6: Demonstração da representatividade da amostra considerada no estudo

Continente	População			PIB (em milhões de dólares americanos)			Nº de países		
	ONU	Dissertação	% Cons.	ONU	Dissertação	% Cons.	ONU	Dissertação	% Cons.
América do Sul	384.380.817	356.719.212	93	3.673.393	3.331.800	91	12	9	75
América Central	76.144.048	18.406.708	24	422.382	166.390	39	20	5	25
América do Norte	446.992.742	446.992.742	100	16.452.000	16.452.000	100	3	3	100
Europa	745.802.613	697.919.635	94	18.122.831	17.627.010	97	47	31	66
África	953.785.755	165.450.123	17	2.478.337	811.930	33	53	8	15
Ásia	3.996.375.746	3.452.184.875	86	22.327.225	20.193.750	90	43	18	42
Oceania	33.098.917	24.774.316	75	893.858	872.500	98	14	2	14
<b>Total</b>	<b>6.636.580.638</b>	<b>5.162.447.611</b>	<b>78</b>	<b>64.370.027</b>	<b>59.455.380</b>	<b>92</b>	<b>192</b>	<b>76</b>	<b>40</b>

Fonte: TWF (2008)

Quanto à Europa, foram eliminadas fundamentalmente as micro-nações, como Mônaco, além de algumas ex-repúblicas soviéticas e iugoslavas, de modo que se pode considerar o continente bem representado. Finalmente, a América do Sul encontra um painel igualmente favorável, tendo sido descartados apenas a Venezuela, Guiana e o Suriname, que juntos respondem por menos de 10% da população e economia regionais.

Os 27 indicadores de desempenho utilizados, por corresponderem a um terço do número de unidades avaliadas, poderiam ser considerados simultaneamente na análise DEA. Contudo, tendo em vista o desejo de se estabelecerem maiores contrastes entre as DMUs, resultando na obtenção de resultados intermediários que permitissem a verificação do desempenho dessas unidades segundo grupos mais específicos de indicadores, os mesmos foram agrupados segundo quatro perspectivas: saúde, qualidade de vida, econômica e ambiental, conforme a Figura 10. Os dados coletados referem-se às informações mais recentes disponíveis para cada indicador, sendo sempre representativa da situação na última década. Embora as informações referentes a cada indicador sejam, na ampla maioria dos casos, referentes ao mesmo ano para todos os países consultados, não foi possível obter dados de todos os indicadores referentes a um mesmo ano recente. Ainda assim, considera-se válido trabalhar sob esta restrição.

Uma vez definidas essas variáveis, é necessário proceder à operacionalização das mesmas. Para isso, deve-se classificar cada indicador como sendo um recurso, ou *input*, ou um produto, ou *output*. O critério utilizado, embora aparentemente simples, gera algumas discussões. A idéia é que, para cada perspectiva, exista um conjunto de variáveis que permita a obtenção de alguns resultados. Tome-se o caso da perspectiva de qualidade de vida como exemplo: os investimentos em educação são insumos sem um fim em si mesmos. O grau de analfabetismo, de fertilidade adolescente e número de usuários de internet são os resultados obtidos através da utilização eficiente dos insumos. Assim, um país será considerado mais eficiente que outro no que diz respeito a essa perspectiva se conseguir menores taxas de analfabetismo, destinando uma parcela menor de seus investimentos à educação. Idealmente,

encontrar-se-ia uma nação em que todos os recursos financeiros fossem destinados a atividades não relacionadas à educação e, ainda assim, a população fosse culta, utilizando as tecnologias contemporâneas e realizando um planejamento familiar, o que parece ser logicamente impossível.

Perspectiva	Indicador	Definição	Caracterização da variável	Forma de utilização	Fonte	Ano a que os dados se referem
Saúde	Saude	Despesas com saúde, per cápita, em dólares americanos (USD), segundo a técnica da paridade com o poder de compra (PPP) dos Estados Unidos.	Input	Direto	ONU	2004
	%sau	Despesas públicas com saúde, medido como percentual do Produto Interno Bruto (PIB).	Input	Direto	ONU	2004
	Meds	Número de médicos para cada 100.000 habitantes.	Input	Direto	ONU	2004
	Mort	Mortalidade entre crianças com menos de 5 anos, a cada 1.000.	Output	Inverso	Banco Mundial	2006
	HIV	Percentual da população com idade entre 15 e 49 anos portadora do vírus HIV.	Output	Inverso	ONU	2005
	Sar	Percentual de crianças, de 12 a 23 meses, não imunizadas contra o sarampo.	Output	Inverso	Banco Mundial	2006
	Tub	Casos registrados de tuberculose para cada 100.000 habitantes.	Output	Inverso	ONU	2005
	Vida	Expectativa de vida ao nascer, em anos, supondo taxas de mortalidade futuras idênticas às presentes.	Output	Direto	CIA	2008
Qualidade de Vida	%edu	Despesas públicas com educação, medido como percentual do PIB.	Input	Direto	ONU	2005
	Gini	Grau de desigualdade na distribuição de renda, calculado a partir de uma Curva de Lorenz (CL); consiste na razão entre (a) a área entre a CL e uma reta com inclinação de 45° e (b) a área sob a curva de 45°. Indicador do tipo menor é melhor.	Input	Direto	CIA	1997-2007
	Desig	Razão entre o rendimento dos 10% mais ricos e dos 10% mais pobres da população.	Input	Direto	ONU	2007
	Fert	Taxa de fertilidade adolescente, em número de nascimentos para cada 1.000 mulheres entre 15 e 19 anos.	Output	Inverso	Banco Mundial	2006
	Analf	Percentual de analfabetismo na população com idade superior a 15 anos.	Output	Inverso	CIA	1997-2007
	Fone	Número de assinantes de telefone fixo e móvel para cada 100 habitantes.	Output	Direto	Banco Mundial	2005
	Web	Número de usuários de internet a cada 1.000 habitantes.	Output	Direto	ONU	2005
Econômica	\$ cap	Razão entre o PIB, em USD segundo o PPP, e a população em 1º de Julho do ano base.	Output	Direto	CIA	2007
	Com	Razão entre o volume financeiro movimentado pelas importações e pelas exportações, convertido para USD de acordo com a taxa de câmbio média no ano.	Input	Direto	CIA	2007
	Abre	Tempo, em dias, necessário para se abrir legalmente uma empresa.	Input	Direto	Banco Mundial	2007
	Inf	Taxa de inflação anual percebida pelo consumidor.	Input	Direto	CIA	2007
	Des	Taxa de desemprego entre a força de trabalho ativa.	Output	Inverso	CIA	2007
	HTech	Participação de produtos de alta tecnologia no total de exportações, em %.	Output	Direto	Banco Mundial	2006
Ambiental	Bolsa	Razão, em %, entre o valor de mercado das empresas listadas em bolsa de valores e o PIB.	Output	Direto	Banco Mundial	2006
	KWh	Consumo de energia elétrica, per cápita, em KWh.	Input	Direto	Banco Mundial	2005
	Ener	Consumo de energia, per cápita, em kg equivalentes de petróleo.	Input	Direto	Banco Mundial	2005
	Petro	Participação do petróleo como fonte primária de energia, em %.	Input	Direto	ONU	2005
	H <sub>2</sub> O	Quantidade de água potável removida das fontes disponíveis para uso com qualquer finalidade (doméstica, industrial ou agrícola), per cápita, em m <sup>3</sup> .	Input	Direto	CIA	2000
	CO <sub>2</sub>	Emissão per cápita de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), em toneladas.	Output	Inverso	ONU	2004
	\$ cap	Indicador já definido				

Figura 10: Especificação das variáveis consideradas no estudo de sustentabilidade

De modo análogo, na perspectiva ambiental, um Estado será considerado mais eficiente que outro ao conseguir um melhor padrão de vida para a população, representado por uma renda *per capita* mais elevada e menores emissões de poluentes, conseguidas através de um uso mais racional dos recursos naturais como água e petróleo e gerando menos energia. Nesse caso, mesmo a energia gerada por fontes renováveis será considerada um insumo, já que sempre gera algum impacto negativo para o planeta – mesmo a energia eólica ainda depende de tecnologias ‘sujas’ para a fabricação de seus geradores.

A fim de concluir a operacionalização das variáveis e, conseqüentemente da ‘Fase 1’, deve-se definir a forma de utilização das mesmas. Em um modelo DEA, todo *input* deve ser minimizado e todo *output* maximizado. Entretanto, nem sempre esse é o cenário desejado para todos os indicadores. Ao avaliar o índice de analfabetismo, por exemplo, tem-se um indicador do tipo menor é melhor, mesmo sendo considerado um *output*. Nesses casos, em que se deseja minimizar um *output* ou maximizar um *input*, o modelo é alimentado com os valores inversos dos indicadores obtidos.

A ‘Fase 2’ da etapa aplicada do estudo de sustentabilidade deve, conforme a sistemática proposta, contemplar a definição dos modelos DEA a serem adotados bem como a execução da análise envoltória de dados a partir da alimentação desses modelos com os dados coletados e estruturados na primeira fase aplicada. Tomando como base os resultados obtidos na fase anterior, o modelo inicialmente utilizado para a determinação do grau de sustentabilidade nacional contaria com 76 DMUs avaliadas por 27 indicadores agrupados segundo quatro perspectivas. Entretanto, como observado na Tabela 7, o resultado da eficiência simples CCR para a perspectiva da saúde lança luz sobre uma constatação relevante: em geral, os países com piores resultados são considerados mais eficientes que aqueles cujos melhores *outputs* foram obtidos graças a maiores investimentos na área.

Esses resultados levantam uma série de discussões acerca de fatores que fogem ao escopo desta dissertação, especialmente relacionados ao valor dado à vida da população. A Zâmbia, por exemplo, mediante o investimento médio de 63 dólares anuais por habitante, garante uma expectativa de vida de apenas 38 anos para o seu povo. Por outro lado, um investimento cerca de doze vezes maior é realizado pelo Uruguai para garantir uma longevidade média igual ao dobro da zambiana. O questionamento sobre qual dos dois países é mais eficiente na conversão de recursos financeiros na promoção de uma vida mais longa para a sua população não pode ser assumida da forma pretendida pelo modelo adotado, bem como todas as demais relações envolvendo diretamente a questão da saúde humana. Por este motivo, a mesma passa a ser desconsiderada da análise.

Tabela 7: Valores de eficiência nacional para a perspectiva da saúde

País (DMU)	CCR	País (DMU)	CCR	País (DMU)	CCR
Cingapura	1,000	Malásia	0,620	Finlândia	0,383
Coréia do Sul	1,000	Armênia	0,609	Bulgária	0,377
Equador	1,000	Turquia	0,601	Costa Rica	0,353
Filipinas	1,000	Tunísia	0,569	Letônia	0,352
Gana	1,000	Rússia	0,565	Canadá	0,342
Indonésia	1,000	Trinidad e Tobago	0,565	Portugal	0,339
Irã	1,000	China	0,558	México	0,339
Mongólia	1,000	Holanda	0,547	Grécia	0,333
Namíbia	1,000	Romênia	0,524	Espanha	0,326
Nepal	1,000	Reino Unido	0,512	Suécia	0,323
Paquistão	1,000	El Salvador	0,506	Uruguai	0,315
Peru	1,000	Dinamarca	0,503	Noruega	0,307
Tailândia	1,000	Estônia	0,502	Austrália	0,298
Ucrânia	1,000	República Tcheca	0,487	Alemanha	0,294
Zâmbia	1,000	Jamaica	0,482	Itália	0,286
Jordânia	0,997	Chile	0,457	Panamá	0,266
Quênia	0,988	Eslovênia	0,456	Nova Zelândia	0,262
Quirguistão	0,988	Macedônia	0,452	Irlanda	0,259
Casaquistão	0,973	Eslováquia	0,448	Colômbia	0,245
Índia	0,846	Israel	0,424	França	0,243
Japão	0,830	Paraguai	0,421	África do Sul	0,240
Brasil	0,780	Bolívia	0,414	Áustria	0,240
Marrocos	0,741	Estados Unidos	0,407	Suiça	0,217
Polônia	0,730	Argentina	0,401	Bélgica	0,214
Hungria	0,657	Lituânia	0,398		
Geórgia	0,653	Botsuana	0,392		

Com isso, passa-se a dispor de um total de 19 variáveis agrupadas em três perspectivas: social – que passa a contar apenas com os indicadores de qualidade de vida –, econômica e ambiental. Uma nova verificação do banco de dados em busca de novas DMUs que pudessem passar a ser consideradas após a exclusão dos oito indicadores relacionados à saúde foi incapaz de acrescentar unidades à amostra já utilizada.

Como é assumido que o Estado tenha poder de influenciar diretamente as variáveis classificadas como insumos, os modelos DEA dessa análise são orientados a *input*. Neste estudo não será aplicado o modelo BCC, uma vez que não há interesse em analisar efeitos de escala no desempenho das diferentes nações. Isso porque assume-se que o governo não tenha controle absoluto sobre a escala de operação, uma vez que esse é um fator dependente das dimensões do país em diversos segmentos, podendo ser alterado somente no longo prazo. A fim de permitir uma melhor manipulação dos dados, os mesmos foram normalizados através

da divisão de cada número na base de dados pelo maior valor representativo da variável a qual se refere.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo CCR à perspectiva social. Além dos valores da eficiência, são apresentados complementarmente os valores dos pesos  $v_i$  – *inputs* – e  $u_i$  – *outputs* – considerados na determinação dos níveis de eficiência. Os resultados completos das três perspectivas, contando também com as bases de dados normalizadas e a explicitação dos pesos dos *inputs* e *outputs*, são apresentados no Apêndice A.

De acordo com esse resultado tem-se que 13, 7 e 17 DMUs são eficientes tomando como base, respectivamente, as perspectivas social, econômica e ambiental. Dessas, apenas duas, notadamente Cingapura e Noruega, foram consideradas eficientes de acordo com todas as perspectivas consideradas. Entretanto, uma observação mais cautelosa da Tabela 8 permite algumas considerações a respeito das ponderações alocadas a cada variável que permitem questionar a validade dos resultados apresentados.

Tanto a Noruega quanto Cingapura, detentores das duas maiores rendas *per capita* entre os países estudados, ignoraram a existência de outros *outputs* para a perspectiva social, atribuindo peso integral para esse indicador. Por outro lado, enquanto a distribuição dessa renda em Cingapura é consideravelmente desigual entre a população, que não conta com grandes investimentos governamentais em educação, o país escandinavo apresenta uma das menores desigualdades sociais do planeta, investindo com maior intensidade na formação de seus cidadãos. Como consequência, enquanto Cingapura considera a participação dos gastos em educação no orçamento como único *input* da amostra, a Noruega tem no mesmo indicador sua única desconsideração entre os insumos. A Alemanha, por sua vez, aproveita sete das oito variáveis disponíveis para construir seu igualmente alto índice de eficiência geral, caracterizando um maior equilíbrio entre os indicadores sociais.

Situações semelhantes a essas são observadas nas três análises realizadas, envolvendo a integralidade das DMUs que, aproveitando-se da flexibilidade permitida pela análise envoltória de dados, atribuem pesos às variáveis que aparentemente otimizem os seus resultados de eficiência. Contudo, como já discutido, essa flexibilidade pode ser considerada excessiva ao permitir que cada unidade tome para si a distribuição de pesos que julgar mais interessante.

Tabela 8: Aplicação do modelo CCR à amostra em relação à perspectiva social

DMU	CCR	Pesos dos inputs			Pesos dos outputs				
		%edu	Gini	Desig	1/Fert	1/Analf	Fone	Web	\$ cap
Alemanha	1,000	1,42908	0,836745	1,32153	0	0,149191	0,705471	0,152039	0,323745
Austrália	1,000	1,371379	0,921693	0	0	0,239383	0,585765	0,538493	0
Áustria	1,000	0,598928	1,882088	1,5E-07	0	0	0,602157	0	0,623563
Cingapura	1,000	2,891892	0	0	0	0	0	0	1,066398
Equador	1,000	10,7	0	0	0	1,20773	2,704212	0	0
Finlândia	1,000	1,139471	0	9,239436	1E-08	1	7E-08	0	0
Geórgia	1,000	3,689655	0	0	0	1	0	0	0
Holanda	1,000	0,937272	1,205753	2,5E-07	0,104831	0	4E-08	0,55764	0,533783
Irlanda	1,000	1,161215	1,05847	2,2E-07	0	0	0,252865	0	0,943597
Japão	1,000	0,344084	0	33,03102	0,983537	0,329256	0	0	0
Noruega	1,000	0	0,823663	18,56808	0	0	0	0	1
República Tcheca	1,000	0,42253	0,330515	22,78084	0	0,050833	1,124779	0	0
Suécia	1,000	0	2,603979	4,144967	0,538658	2E-08	0,118297	0,482602	0
Itália	0,998	1,934095	0,322315	0	0,14905	0	0,925267	0	0
Suíça	0,990	0,794167	1,134541	0,259255	0,251537	0	0,281926	0	0,689163
Coréia do Sul	0,986	1,10013	1,061601	6E-08	0,147329	1E-08	0,628098	0,398815	0
Dinamarca	0,974	1,3E-07	2,945833	2,5E-07	0	1E-08	0,446374	1E-08	0,795272
Grécia	0,963	2,274779	0,141632	0,325127	1E-08	0	1,107239	0	0
China	0,915	5,631579	0	0	2,071642	6E-08	3,4E-07	0	0
Espanha	0,905	2,17706	0,276407	0	0,092058	0	1,143165	0	0
Canadá	0,889	1,191065	0,819636	0,8767	0	0	0,266827	0,24862	0,88605
Eslovênia	0,884	1,122776	1,091154	1,88E-06	0,1666	0,247816	0,7063	0,453133	0
Bélgica	0,871	0,864708	1,280265	5E-08	0,304646	0	0,354046	0	0,858538
Rússia	0,867	2,736413	0	1,050129	0	0,636013	1,399322	0	0
Reino Unido	0,866	1,717922	0,276586	0	0	2,82E-06	0,841851	0,255446	1E-08
Eslováquia	0,860	1,3063	1,092381	1,839416	0	0,231677	0,799195	0,750532	0
Estônia	0,860	1,454181	0,581622	0	0	0,348534	0,730455	0,436287	0
França	0,859	0,878914	1,301298	1E-07	0,314273	0	0,365235	0	0,88567
Estados Unidos	0,847	0,954964	0,743813	5E-07	0	0	5E-08	0,314941	0,856676
Lituânia	0,845	1,940503	0,067767	0,362794	0	0,463915	1,03128	0	0
Hungria	0,823	0	0,137595	28,89813	0	0,081367	1,234305	0,14094	0
Nova Zelândia	0,763	0,773727	0,961845	0,504202	0	0,168399	0	1,127332	0
Bulgária	0,757	2,420932	0	1,194171	0	0	1,464539	0	0
Indonésia	0,743	10,49931	0	2,518917	2E-08	2,71888	6,018501	2E-08	1E-08
Portugal	0,730	1,651243	0,221035	3,9E-07	0	0	1,111709	0	0
Casaquistão	0,699	4,266972	9E-08	1,637499	4E-08	1,230339	2,706928	0	1,3E-07
Letônia	0,679	1,411225	0,564441	0	0	0,428169	0,897354	0,535973	0
Israel	0,679	0,764766	0,928319	0	0	0	0,740377	0,500705	0
Macedônia	0,673	2,775715	0,096898	0,519146	0	0,833186	1,852169	0	0
Romênia	0,669	2,943212	0	1,451795	0	2E-08	2,014634	0	0
Polônia	0,656	1,815486	0	1,600266	0,036538	0,670997	1,26617	0	0
Uruguai	0,646	3,723874	2E-08	0,893404	0	1,109971	2,457026	0	0
Turquia	0,618	2,509568	0,156251	0,358685	0	1E-08	1,90213	0	0
Jamaica	0,618	1,669613	0,268808	0	0	0	1,146369	0,347848	0
Chile	0,604	2,478263	0,1543	0,354213	1E-08	1,87E-05	1,923166	7E-08	5E-08
Trinidad e Tobago	0,559	2,346948	0,081961	0,438782	8E-08	0,849071	1,88748	3E-08	3,1E-07
Argentina	0,541	2,23257	0,298852	2E-08	1E-08	6,84E-06	2,026994	1,4E-07	2E-08
Ucrânia	0,538	0	3,8E-07	28,49152	0	0,1994	1,836687	1E-08	0
Malásia	0,473	1,19708	0,469848	0	0	0	1,108878	0,657467	0
Panamá	0,432	2,167518	0,290144	0	0	1E-08	2,468988	0	0
Filipinas	0,429	3,643544	0	0,874132	0	1,636105	3,621675	0	0
El Salvador	0,418	2,770898	0,370912	1E-08	2E-08	1,4E-07	3,255814	1E-07	1E-08
Tunísia	0,406	0,25447	1,460644	0	2,152239	0	0	0	0
África do Sul	0,397	1,694747	0,105518	0,242225	0	0	2,002182	0	0
Jordânia	0,394	1,993139	0,124097	0,284873	1E-08	6E-08	2,373904	0	0
Brasil	0,392	1,979329	0,232014	8E-08	0	6,8E-07	2,287237	0,261835	6E-08
Tailândia	0,391	2,328307	1,5E-07	1,148481	4E-08	4,8E-07	2,726523	1E-08	1E-08
Peru	0,368	4,458333	0	0	0	0	3E-08	4,658537	6E-08
Colômbia	0,355	1,816661	0,243178	2E-08	4E-08	9E-08	2,51446	0	1E-08
Costa Rica	0,334	1,75024	0,281789	0	0	0	2,226553	0,675613	0
México	0,322	1,69761	0,198991	2,2E-07	0	2E-08	2,389343	0,273523	0
Armênia	0,310	3,110208	0	1,467602	0,159289	2,088892	4,420058	0	0
Irã	0,234	0,982589	0,934548	0	0,795381	4,9E-07	1,216473	2E-08	2,974692
Marrocos	0,220	0,740472	0,947981	0	1,495723	0	2,677729	0	0
Paraguai	0,219	1,96305	0,262773	2,2E-07	2,35E-06	5,2E-07	4,414751	1E-07	1,4E-07
Botsuana	0,182	0,51749	0,541483	0	0	0	0	0	3,231707
Mongólia	0,168	1,050448	0,878428	1,479148	2,2E-07	0,951319	3,281677	3,081854	4E-08
Paquistão	0,159	4,652174	0	0	9,81791	2E-08	0	6E-08	0
Quirguistão	0,154	1,037892	1,337474	0	2,989849	1,727513	5,311337	0	0
Bolívia	0,140	1,40802	0,188477	0	1E-08	2E-08	4,946108	0	0
Namíbia	0,120	1,284159	0,171897	0	7,8E-06	1,7E-07	5,26282	3E-08	5,6E-07
Zâmbia	0,103	4,291579	1,4E-07	1,029603	1,62E-06	8,031311	17,77807	1,77E-06	1,2E-07
Índia	0,096	2,278204	0,366791	0,000004	5,3E-07	6,56E-06	10,05561	3,051213	5,3E-07
Gana	0,077	0,820931	1,050987	1E-08	4,727782	1,9E-07	8,463942	1E-08	2E-08
Quênia	0,058	1,416264	0,179817	0	0,938227	6E-08	11,65032	0	0
Nepal	0,034	3,147059	4E-08	1E-08	18,4711	6,47E-06	1E-07	3E-08	20,62499

A literatura apresentada, quando da identificação do problema abordado nesta aplicação, é praticamente unânime ao afirmar que tanto o conceito de sustentabilidade quanto o conjunto de indicadores a ser utilizado para a sua medição permanecem indefinidos. Assim, a falta de consenso a respeito do que venha a ser mais importante numa análise de sustentabilidade inviabiliza a atribuição direta de pesos às variáveis de análise. Contudo, apesar de essa informação prover certa vantagem ao resultado obtido pelo CCR, deseja-se conferir certa ordem aos vetores de ponderação, removendo assim a sua aparente aleatoriedade.

A abordagem por *Cone-Ratio DEA* vem justamente ao encontro desse desejo, possibilitando um aumento na força dos resultados expressos pela DEA, enquanto mantém boa parte da flexibilidade inerente ao método. Acrescentando algumas restrições ao modelo original, tem-se como objetivo ativar a capacidade de o mesmo considerar sempre a mesma priorização entre as variáveis de cada perspectiva, evitando a necessidade de determinação exata dos seus limites de pesos possíveis.

Um levantamento envolvendo dez pessoas, sendo duas com formação em áreas relacionadas ao estudo dos indicadores considerados, permitiu o estabelecimento dessas priorizações para cada perspectiva. O resultado deste levantamento é expresso na Figura 11 e permite algumas considerações em relação aos resultados obtidos com a aplicação do modelo simples, CCR. Enquanto 33 DMUs ajustaram os pesos de seus *inputs* sociais segundo a classificação recomendada pelo levantamento, somente duas delas o fizeram de acordo com a recomendação para os *outputs*. Quanto à avaliação econômica, cinco unidades consideram a priorização sugerida para insumos. Por outro lado, 31 nações adotaram para si o mesmo ordenamento de resultados julgado apropriado pelo levantamento.

Perspectiva Social		Perspectiva Econômica		Perspectiva Ambiental	
Inputs	Outputs	Inputs	Outputs	Inputs	Outputs
1° Despesas c/ educação	1° Taxa de fertilidadeadolesc.	1° Taxa de inflação	1° Taxa de desemprego	1° Consumo de água	1° Renda per capita
2° Índice Gini	2° Taxa de analfabetismo	2° Tempo para abrir empresa	2° Valor de mercado bolsa / PIB	2° Cons. en. equiv. petróleo	2° Emissão de CO <sub>2</sub>
3° Taxa de desigualdade 10%	3° N° de usuários de internet	3° Razão imp / exportação	3° Alta tecnologia no PIB	3° Consumo de energia kwh	
	4° Renda per capita			4° Participação do petróleo	
	5° N° de assinantes de telefone				

Figura 11: Priorização das variáveis a ser utilizada pelo CR-DEA

As maiores discrepâncias, no entanto, são encontradas na verificação segundo os indicadores ambientais. De acordo com o levantamento obtido, a maior preocupação das pessoas refere-se à utilização exagerada da água potável disponível, seguida pela produção de energia em equivalentes de petróleo. Por outro lado, confirma-se a informação de que a valia de um sistema que privilegie o meio-ambiente em detrimento do padrão de vida da população

é contestável, o que pode ser observado pela consideração de que a renda *per capita* é mais importante que o volume de dióxido de carbono emitido na atmosfera. Enquanto apenas duas nações respeitaram a priorização para os insumos, somente duas nações, cotadas entre as de pior desenvolvimento no mundo, desrespeitaram a sugestão para os *outputs*.

O resultado da aplicação das restrições aos pesos por CR-DEA na análise de sustentabilidade dos países segundo as três perspectivas, juntamente com a redução percentual em relação ao índice conseguido sem as restrições aos pesos, é apresentado na Tabela 9. Como a aplicação do modelo mais tradicional, o CCR, permite que cada unidade atribua para si o peso mais conveniente, o valor menor de eficiência retornado pelo *Cone-Ratio* já era esperado. Nas poucas exceções em que se observa a manutenção do valor de eficiência, as DMUs haviam, inicialmente, alcançado o seu valor ótimo através da mesma priorização identificada como mais adequada pelo levantamento realizado. Nesses casos, as restrições adicionadas ao modelo pelo CR-DEA não ocasionaram alteração no resultado.

A aplicação das restrições aos pesos das variáveis de análise, contudo, ainda permite que diversas unidades sejam consideradas eficientes de acordo com o modelo. A fim de eliminar a dúvida remanescente e identificar objetivamente quais são as nações que, de fato, apresentam os melhores resultados, a análise é complementada com a aplicação do modelo de super-eficiência, segundo o qual a DMU sob análise é excluída do conjunto de restrições do modelo. Os novos índices determinados para as unidades julgadas eficientes e ainda considerando as restrições aos pesos levantadas são apresentados na Tabela 10. Para as demais DMUs, julgadas ineficientes, os resultados logicamente são idênticos aos calculados pelo modelo *Cone-Ratio* convencional.

#### **4.1.3 Etapa de Controle**

A observação desses resultados permite algumas reflexões acerca de como cada país alcança o seu desenvolvimento, dando início à ‘Fase 3’ da sistemática proposta, a análise e interpretação dos resultados obtidos, integrantes da sua etapa de controle. Enquanto, a julgar pelos escores obtidos, Cingapura pode ser considerada um exemplo de sustentabilidade, alcançando a fronteira de eficiência nos quesitos econômico e ambiental, além de chegar muito próxima da mesma na questão social, o Quirguistão figura entre os últimos colocados segundo todas as perspectivas avaliadas.



Tabela 9: Aplicação do CR-DEA às três perspectivas consideradas na análise de sustentabilidade

Perspectiva Social			Perspectiva Econômica			Perspectiva Ambiental					
CR	CCR	Red (%)	CR	CCR	Red (%)	CR	CCR	Red (%)			
Finlândia	1,000	1,000	0,0	Cingapura	1,000	1,000	0,0	Botsuana	1,000	1,000	0,0
Geórgia	1,000	1,000	0,0	Japão	1,000	1,000	0,0	Cingapura	1,000	1,000	0,0
Japão	1,000	1,000	0,0	Noruega	1,000	1,000	0,0	Dinamarca	1,000	1,000	0,0
Noruega	1,000	1,000	0,0	Suíça	1,000	1,000	0,0	Gana	1,000	1,000	0,0
Cingapura	0,966	1,000	3,4	Tailândia	0,843	1,000	15,8	Irlanda	1,000	1,000	0,0
Holanda	0,929	1,000	7,1	Dinamarca	0,741	0,815	9,1	Nepal	1,000	1,000	0,0
China	0,915	0,915	0,0	Marrocos	0,687	0,734	6,4	Quênia	1,000	1,000	0,0
Suécia	0,900	1,000	10,0	Malásia	0,680	1,000	32,0	Zâmbia	0,967	1,000	3,3
Coréia do Sul	0,883	0,986	10,4	Holanda	0,639	0,644	0,7	Reino Unido	0,957	1,000	4,3
Alemanha	0,839	1,000	16,1	Austrália	0,607	1,000	39,3	Suíça	0,924	1,000	7,6
Austrália	0,826	1,000	17,4	Canadá	0,540	0,878	38,5	Áustria	0,848	0,963	12,0
Suíça	0,820	0,990	17,2	Coréia do Sul	0,497	0,573	13,3	Letônia	0,820	0,897	8,5
Itália	0,803	0,998	19,6	Finlândia	0,466	0,577	19,3	Alemanha	0,812	0,955	15,0
Eslovênia	0,787	0,884	11,0	Suécia	0,453	0,535	15,5	Holanda	0,811	0,986	17,7
Áustria	0,769	1,000	23,1	Reino Unido	0,452	0,521	13,4	Eslováquia	0,751	1,000	24,9
Bélgica	0,707	0,871	18,9	Bélgica	0,449	0,585	23,2	França	0,747	0,947	21,2
França	0,703	0,859	18,1	França	0,449	0,539	16,8	República Tcheca	0,728	1,000	27,2
Espanha	0,697	0,905	23,0	Estados Unidos	0,432	0,555	22,2	Paraguai	0,719	0,739	2,6
Dinamarca	0,695	0,974	28,6	Israel	0,431	0,513	16,0	Itália	0,699	0,852	18,0
República Tcheca	0,694	1,000	30,6	Irlanda	0,420	0,713	41,1	Suécia	0,689	1,000	31,1
Irlanda	0,688	1,000	31,2	Nova Zelândia	0,363	0,421	13,7	Noruega	0,680	1,000	32,0
Canadá	0,674	0,889	24,2	Filipinas	0,338	0,881	61,6	Eslovênia	0,679	0,795	14,6
Equador	0,668	1,000	33,2	África do Sul	0,293	0,744	60,7	Israel	0,668	0,742	10,0
Eslováquia	0,662	0,860	23,0	China	0,292	0,623	53,1	Bélgica	0,666	0,838	20,5
Reino Unido	0,662	0,866	23,6	Áustria	0,277	0,334	17,3	Japão	0,661	0,784	15,6
Grécia	0,635	0,963	34,1	Chile	0,269	0,526	48,9	Polônia	0,649	0,782	17,0
Estônia	0,629	0,860	26,8	México	0,268	0,369	27,3	Grécia	0,629	0,817	23,0
Estados Unidos	0,582	0,847	31,3	Itália	0,265	0,272	2,6	Espanha	0,622	0,775	19,8
Nova Zelândia	0,552	0,763	27,7	Ucrânia	0,238	0,482	50,7	Finlândia	0,592	0,896	33,9
Lituânia	0,536	0,845	36,6	Mongólia	0,236	0,417	43,3	Austrália	0,588	0,947	37,9
Letônia	0,513	0,679	24,5	Alemanha	0,234	0,309	24,1	Estados Unidos	0,574	0,918	37,5
Hungria	0,510	0,823	38,0	Portugal	0,224	0,224	0,1	Nova Zelândia	0,556	0,682	18,4
Israel	0,507	0,679	25,4	Jordânia	0,223	0,409	45,5	Panamá	0,541	0,815	33,6
Indonésia	0,505	0,743	32,0	Lituânia	0,221	0,297	25,4	Coréia do Sul	0,537	0,587	8,4
Portugal	0,471	0,730	35,4	República Tcheca	0,209	0,256	18,5	Estônia	0,534	1,000	46,6
Polônia	0,469	0,656	28,4	Romênia	0,202	0,261	22,7	Romênia	0,530	0,665	20,3
Rússia	0,412	0,867	52,5	Estônia	0,182	0,317	42,5	Turquia	0,519	0,742	30,0
Bulgária	0,402	0,757	46,9	Peru	0,165	0,355	53,7	El Salvador	0,503	0,732	31,4
Uruguai	0,398	0,646	38,3	Espanha	0,162	0,209	22,2	Lituânia	0,497	0,814	38,9
Romênia	0,388	0,669	42,1	Trinidad e Tobago	0,160	0,469	65,9	Colômbia	0,477	0,690	30,9
Casaquistão	0,371	0,699	46,9	Eslovênia	0,157	0,253	38,1	Bolívia	0,475	0,698	31,9
Malásia	0,353	0,473	25,3	Rússia	0,154	0,470	67,2	Canadá	0,471	0,812	41,9
Turquia	0,340	0,618	45,0	Hungria	0,148	0,366	59,5	Brasil	0,443	0,552	19,8
Chile	0,336	0,604	44,4	Panamá	0,142	0,175	18,7	Portugal	0,440	0,635	30,7
Jamaica	0,334	0,618	46,0	Índia	0,137	0,187	26,7	Namíbia	0,437	0,506	13,7
Tunísia	0,326	0,406	19,6	Casaquistão	0,132	0,456	71,0	Malásia	0,429	0,503	14,7
Trinidad e Tobago	0,325	0,559	41,9	Eslováquia	0,132	0,158	16,2	África do Sul	0,426	0,655	35,0
Argentina	0,303	0,541	44,1	Costa Rica	0,131	0,505	74,0	Argentina	0,423	0,637	33,6
Macedônia	0,301	0,673	55,3	Paraguai	0,125	0,216	42,4	Chile	0,408	0,589	30,7
Peru	0,271	0,368	26,4	Jamaica	0,116	0,296	60,9	Tunísia	0,404	0,567	28,7
Ucrânia	0,252	0,538	53,1	El Salvador	0,114	0,121	5,5	Rússia	0,398	0,614	35,1
El Salvador	0,227	0,418	45,7	Grécia	0,114	0,117	2,3	Trinidad e Tobago	0,395	1,000	60,5
Brasil	0,221	0,392	43,7	Polônia	0,111	0,134	17,5	Costa Rica	0,378	0,745	49,3
Costa Rica	0,213	0,334	36,2	Armênia	0,106	0,117	9,4	Hungria	0,372	0,833	55,4
Jordânia	0,212	0,394	46,0	Namíbia	0,100	0,218	54,3	México	0,359	0,567	36,6
Panamá	0,210	0,432	51,3	Letônia	0,100	0,165	39,5	Uruguai	0,337	0,842	60,0
Tailândia	0,201	0,391	48,6	Equador	0,095	0,176	46,0	Jamaica	0,336	0,337	0,3
México	0,201	0,322	37,6	Bolívia	0,089	0,232	61,6	Bulgária	0,328	0,484	32,3
Armênia	0,199	0,310	35,7	Turquia	0,088	0,172	48,8	Peru	0,307	1,000	69,3
Filipinas	0,197	0,429	54,2	Brasil	0,087	0,318	72,8	China	0,290	0,410	29,3
Irã	0,184	0,234	21,4	Tunísia	0,085	0,101	15,2	Filipinas	0,265	0,486	45,4
África do Sul	0,179	0,397	54,9	Bulgária	0,085	0,122	30,0	Irã	0,256	0,469	45,4
Colômbia	0,164	0,355	54,0	Paquistão	0,085	0,111	23,5	Mongólia	0,255	0,275	7,0
Marrocos	0,162	0,220	26,4	Colômbia	0,084	0,146	42,0	Marrocos	0,255	0,597	57,3
Paquistão	0,159	0,159	0,0	Botsuana	0,076	0,286	73,6	Ucrânia	0,243	0,532	54,3
Quirguistão	0,138	0,154	10,0	Argentina	0,070	0,176	59,9	Macedônia	0,240	0,462	48,1
Mongólia	0,127	0,168	24,3	Uruguai	0,070	0,115	39,0	Jordânia	0,237	0,250	5,2
Paraguai	0,104	0,219	52,3	Indonésia	0,070	0,278	74,8	Armênia	0,234	0,484	51,8
Botsuana	0,102	0,182	43,6	Geórgia	0,053	0,128	58,3	Geórgia	0,233	0,454	48,6
Índia	0,077	0,096	19,6	Gana	0,048	0,070	31,1	Indonésia	0,223	0,586	62,0
Zâmbia	0,073	0,103	28,6	Macedônia	0,048	0,050	4,2	Casaquistão	0,212	0,716	70,4
Bolívia	0,073	0,140	48,2	Irã	0,040	0,186	78,2	Tailândia	0,193	0,368	47,5
Namíbia	0,064	0,120	46,8	Quênia	0,038	0,069	45,1	Índia	0,188	0,466	59,8
Gana	0,049	0,077	36,7	Quirguistão	0,027	0,039	32,0	Equador	0,167	0,827	79,8
Quênia	0,041	0,058	29,8	Nepal	0,020	0,026	22,4	Paquistão	0,148	0,470	68,5
Nepal	0,031	0,034	8,9	Zâmbia	0,018	0,047	62,5	Quirguistão	0,072	0,273	73,5

Tabela 10: Resultados do desempate entre as unidades eficientes em cada perspectiva segundo a SE-CR-DEA

<b>Persp. Social</b>		<b>Persp. Econômica</b>		<b>Persp. Ambiental</b>	
	SE-CR		SE-CR		SE-CR
Japão	1.437	Japão	11.055	Cingapura	3.715
Geórgia	1.310	Noruega	1.489	Nepal	1.719
Finlândia	1.112	Cingapura	1.386	Botsuana	1.394
Noruega	1.030	Suíça	1.343	Quênia	1.241
				Dinamarca	1.155
				Gana	1.148
				Irlanda	1.007

Entre as maiores economias do planeta, apenas o Japão pôde ser considerado eficiente na perspectiva econômica, sendo que os Estados Unidos e, especialmente, a Alemanha ficam consideravelmente longe da fronteira. Por outro lado, os germânicos apresentam resultados melhores na questão ambiental, graças ao consumo de água e dependência de petróleo relativamente baixos, com renda e emissão de gás carbônico em níveis semelhantes aos japoneses. Nesse grupo, os americanos apresentam os piores resultados no que se refere às perspectivas ambiental e social, sendo esta justificada pelos piores índices de distribuição de renda e fertilidade adolescente entre as três nações.

Não chega a ser surpreendente que os países escandinavos, beneficiados por uma política de bem-estar, apresentem resultados muito bons na perspectiva social. Além disso, embora apenas a Noruega seja considerada economicamente eficiente, as demais nações também aparecem bem classificadas, entre as 15 primeiras, apesar de seus escores reduzidos. O pior resultado para esse grupo é refletido na perspectiva ambiental, com destaque para a Finlândia, que apesar de apresentar renda semelhante à sueca, consome mais recursos hídricos e energia em equivalentes de petróleo.

No extremo oposto daquilo que pode ser considerado um estado de bem-estar nacional figuram nações como Gana, Quênia, Botsuana e Nepal, todas classificadas como ambientalmente eficientes. Essa constatação reacende a discussão acerca da validade de se justificar um menor nível de qualidade de vida em prol da redução no uso de recursos naturais. Esse é o caso dessas quatro nações que, apesar de apresentarem índices de poluição atmosférica e utilização de recursos energéticos muito abaixo da média mundial, detêm indicadores de analfabetismo e acesso a novas tecnologias, como a internet, em patamares bastante aquém de seus pares globais.

Finalmente, no que diz respeito aos Estados membros do Mercosul – exceto à Venezuela, excluída da amostra devido à indisponibilidade de informações –, tem-se uma situação merecedora de atenção especial. O caso mais crítico refere-se à perspectiva

econômica, no qual o Paraguai alcança uma eficiência de apenas 12,5%, que ainda assim o classifica como a nação mais bem colocada do bloco. A nação guarani também aparece melhor que seus pares do Mercosul na avaliação ambiental, favorecida pelos seus consumos relativamente baixos de água, petróleo e energia, exatamente o oposto do verificado para o Uruguai que, não por acaso, figura em uma posição bem menos favorável nesse quadro. Por outro lado, apesar de seus resultados considerados apenas razoáveis quando comparados ao resto do mundo, os uruguaios conseguem aproveitar-se do melhor grau de distribuição de renda e menor índice de analfabetismo da região para garantir a maior eficiência social do bloco, seguido por Argentina e Brasil. O Paraguai, líder nas outras duas perspectivas, ocupa a última colocação na análise social.

Além dos índices de eficiência, a aplicação da DEA permite constatar, adicionalmente, em qual(is) unidade(s) eficiente(s) cada unidade ineficiente deveria se espelhar a fim de alcançar a fronteira de eficiência. Como a análise detalhada desse procedimento foge ao escopo deste trabalho, o leitor interessado em obter detalhes sobre a determinação de unidades referenciais para DMUs não eficientes é convidado consultar a literatura da área, tendo Hwang e Cheng (2003) como indicação.

O Brasil, por exemplo, assim como outros 71 Estados, deveria enxergar no Japão, seu parâmetro de eficiência na perspectiva social, tomando como base os indicadores analisados. Desses, 47 países também deveriam seguir o exemplo norueguês, um o finlandês e um o da Geórgia. Ao buscar resultados com viés econômico, Noruega, Cingapura e Suíça seriam as nações mais observadas, com respectivamente 47, 37 e 36 seguidores, enquanto somente três países deveriam se orientar de acordo com o comportamento japonês. O Brasil deveria, sempre de acordo com os resultados expressos pela aplicação do CR-DEA, adotar dois *benchmarkings*: Cingapura e Suíça, sendo esta com intensidade quatro vezes maior. Na perspectiva ambiental, por sua vez, cerca de 76% das melhorias potenciais alcançáveis pelo Brasil foram determinadas com base nos indicadores apresentados por Botsuana, que contribuiu diretamente com um total de 24 países nessa análise, 16% pela Irlanda e em torno de 8% pelo Nepal, considerados respectivamente por 18 e 53 nações. Os outros países considerados como referências ambientais foram Dinamarca, por 47 pares, Gana, por nove, e Quênia, por apenas três. Cingapura, apesar de ter sido considerada a unidade com escore mais elevado na análise por Super-Eficiência nessa perspectiva, não foi apontada pelas demais DMUs como parâmetro de comparação, possivelmente devido às condições singulares aplicáveis aos indicadores do país no tocante às questões ambientais, justificados, talvez, pela pequena dimensão e elevado grau de urbanização da nação.

Uma vez que os índices de eficiência para cada unidade tomadora de decisão, neste caso país, segundo cada perspectiva avaliada estejam determinados e compreendidos, pode-se proceder à avaliação geral das mesmas. A idéia para realizar essa avaliação consiste em integrar os resultados determinados com o uso da análise envoltória de dados em um indicador único, capaz de sintetizar o grau de sustentabilidade alcançado por cada nação do globo na busca pelo seu desenvolvimento, de acordo com as três perspectivas mais consensualmente aceitas nas pesquisas sobre o tema: social, econômica e ambiental.

O indicador sugerido para cumprir esse propósito é elaborado a partir da média geométrica dos valores de eficiência determinados pelo *Cone-Ratio* DEA para cada uma das perspectivas estudadas e é denominado Grau de Sustentabilidade Nacional, ou GSN. A preferência da média geométrica em detrimento da aritmética dá-se pelo fato de a mesma constituir um método de análise não-compensatório, privilegiando desempenhos mais homogêneos entre as perspectivas avaliadas, e penalizando flutuações bruscas, como é o caso de nações com indicadores excelentes em algumas áreas, mas deficientes nas demais. O fato de levar em conta a formulação CR-DEA permite que se restrinjam os pesos atribuídos a cada variável de análise pelo modelo sem, contudo, estabelecer limites rígidos para os mesmos. Os resultados obtidos pela adoção da SE-DEA foram preteridos em função de os mesmos terem como principal função o caráter diferenciador entre unidades já julgadas como eficientes. Assim, considera-se que todas as unidades ditas eficientes sejam igualmente dignas de mérito e, adicionalmente, consegue-se garantir que a escala do GSN seja configurada entre zero e um.

A Tabela 11 traz o resultado final da aplicação do modelo proposto na determinação do Grau de Sustentabilidade Nacional – GSN – de cada uma das 76 nações avaliadas. Além da apresentação dos valores GSN atribuídos, a Tabela 11 traz, ainda, a título de comparação, três outros índices, divulgados por organismos internacionais, que buscam compilar diversos indicadores em um único valor:

- IDH – Índice de Desenvolvimento Humano: calculado pela Organização das Nações Unidas, leva em consideração a esperança de vida ao nascer, as taxas de alfabetização e de matrícula em instituições de ensino e a renda *per capita* da população em paridade com o poder de compra norte-americano, PPP. Os valores, divulgados em 2007, referem-se ao ano de 2005.
- GCI – Índice de Competitividade Global: publicado pelo Fórum Econômico Mundial, utiliza mais de 100 indicadores a fim de avaliar a habilidade dos países em garantir níveis altos de prosperidade aos seus cidadãos, algo dependente do

quão produtivamente uma nação usufrui dos recursos disponíveis. Assim, este índice mede o conjunto de instituições, políticas e fatores que colaboram para a manutenção de níveis sustentáveis de prosperidade econômica no curto e médio prazo. Os valores apresentados correspondem à versão 2007-08 do índice.

- EPI – Índice de Desempenho Ambiental: definido pelas universidades de Yale e Columbia, tem o objetivo de quantificar o desempenho ambiental alcançado pelos Estados. O resultado obtido pela análise dos 25 indicadores considerados na edição de 2008 levou especialistas de ambas as universidades a concluir que a riqueza nacional é um determinante fundamental na busca pelo sucesso ambiental.

Tabela 11: Apresentação dos resultados obtidos para o GSN e para outros índices mundialmente reconhecidos

Pos	País	GSN	IDH <sup>1</sup>	GCI <sup>2</sup>	EPI <sup>3</sup>	Pos	País	GSN	IDH <sup>1</sup>	GCI <sup>2</sup>	EPI <sup>3</sup>
1º	Cingapura	0,989	0.922 / 25º / #22	5.45 / 7º / #7	**	39º	Rússia	0,293	0.802 / 67º / #43	4.19 / 58º / #43	83.8 / 28º / #25
2º	Suíça	0,912	0.955 / 7º / #6	5.62 / 2º / #2	95.5 / 1º / #1	40º	África do Sul	0,282	0.674 / 121º / #67	4.42 / 44º / #33	69.0 / 97º / #65
3º	Noruega	0,879	0.968 / 2º / #1	5.20 / 16º / #15	93.1 / 3º / #3	41º	Trinidad e Tobago	0,274	0.814 / 59º / #39	3.88 / 84º / #59	62.3 / 116º / #72
4º	Japão	0,871	0.953 / 8º / #8	5.43 / 8º / #8	84.5 / 21º / #19	42º	México	0,269	0.829 / 52º / #37	4.26 / 52º / #40	79.8 / 47º / #38
5º	Dinamarca	0,802	0.949 / 14º / #12	5.55 / 3º / #3	83.9 / 25º / #23	43º	Filipinas	0,260	0.771 / 90º / #56	3.99 / 71º / #52	77.9 / 61º / #48
6º	Holanda	0,784	0.953 / 9º / #7	5.40 / 10º / #11	78.7 / 55º / #43	44º	Panamá	0,253	0.812 / 62º / #41	4.18 / 59º / #44	83.1 / 32º / #28
7º	Austrália	0,665	0.962 / 3º / #2	5.17 / 19º / #17	79.8 / 46º / #37	45º	Turquia	0,249	0.775 / 84º / #52	4.25 / 53º / #41	78.1 / 59º / #46
8º	Irlanda	0,661	0.959 / 5º / #4	5.03 / 22º / #20	82.7 / 34º / #29	46º	Ucrânia	0,244	0.788 / 76º / #48	3.98 / 73º / #53	74.1 / 75º / #56
9º	Reino Unido	0,659	0.946 / 16º / #16	5.41 / 9º / #9	86.3 / 14º / #13	47º	Peru	0,239	0.773 / 87º / #54	3.87 / 86º / #61	78.1 / 60º / #47
10º	Suécia	0,655	0.956 / 6º / #5	5.54 / 4º / #4	93.1 / 2º / #2	48º	El Salvador	0,235	0.735 / 103º / #62	4.05 / 67º / #49	77.2 / 65º / #51
11º	Finlândia	0,651	0.952 / 11º / #9	5.49 / 6º / #6	91.4 / 4º / #4	49º	Jamaica	0,235	0.736 / 101º / #61	3.95 / 78º / #57	79.1 / 54º / #42
12º	Coreia do Sul	0,618	0.921 / 26º / #23	5.40 / 11º / #10	79.3 / 51º / #40	50º	Geórgia	0,232	0.754 / 96º / #60	3.83 / 90º / #63	82.2 / 37º / #32
13º	França	0,618	0.952 / 10º / #10	5.18 / 18º / #16	87.7 / 10º / #10	51º	Tunísia	0,224	0.766 / 91º / #57	4.59 / 32º / #26	70.3 / 89º / #62
14º	Bélgica	0,596	0.946 / 17º / #15	5.10 / 20º / #18	78.4 / 57º / #45	52º	Bulgária	0,224	0.824 / 53º / #38	3.93 / 79º / #58	78.5 / 56º / #44
15º	Áustria	0,565	0.948 / 15º / #14	5.23 / 15º / #13	89.4 / 6º / #6	53º	Jordânia	0,224	0.773 / 86º / #53	4.32 / 49º / #38	76.5 / 70º / #54
16º	Canadá	0,556	0.961 / 4º / #3	5.34 / 13º / #12	86.6 / 12º / #11	54º	Equador	0,220	0.772 / 89º / #55	3.57 / 103º / #69	84.3 / 22º / #20
17º	Alemanha	0,542	0.935 / 22º / #19	5.51 / 5º / #5	86.3 / 13º / #12	55º	Costa Rica	0,219	0.846 / 48º / #36	4.11 / 63º / #46	90.4 / 5º / #5
18º	Itália	0,530	0.941 / 20º / #18	4.36 / 46º / #35	84.2 / 24º / #22	56º	Casaquistão	0,218	0.794 / 73º / #46	4.14 / 61º / #45	64.9 / 107º / #70
19º	Israel	0,526	0.932 / 23º / #20	5.20 / 17º / #14	79.6 / 49º / #39	57º	Uruguai	0,211	0.852 / 46º / #35	3.97 / 75º / #55	82.3 / 36º / #31
20º	Estados Unidos	0,525	0.951 / 12º / #11	5.67 / 1º / #1	81.0 / 39º / #34	58º	Paraguai	0,211	0.755 / 95º / #59	3.3 / 121º / #73	77.7 / 63º / #50
21º	Nova Zelândia	0,481	0.943 / 19º / #17	4.98 / 24º / #21	88.9 / 7º / #7	59º	Argentina	0,208	0.869 / 38º / #29	3.87 / 85º / #60	81.8 / 38º / #33
22º	República Tcheca	0,473	0.891 / 32º / #26	4.58 / 33º / #27	76.8 / 68º / #53	60º	Brasil	0,204	0.8 / 70º / #45	3.99 / 72º / #51	82.6 / 35º / #30
23º	Malásia	0,469	0.811 / 63º / #42	5.10 / 21º / #19	84.0 / 26º / #24	61º	Indonésia	0,199	0.728 / 107º / #63	4.24 / 54º / #42	66.2 / 102º / #68
24º	Eslovênia	0,438	0.917 / 27º / #24	4.48 / 39º / #30	86.3 / 15º / #14	62º	Botswana	0,198	0.654 / 124º / #68	3.96 / 76º / #56	68.7 / 98º / #66
25º	China	0,426	0.777 / 81º / #50	4.57 / 34º / #28	65.1 / 105º / #69	63º	Mongólia	0,197	0.7 / 114º / #64	3.6 / 101º / #68	68.1 / 100º / #67
26º	Espanha	0,413	0.949 / 13º / #13	4.66 / 29º / #25	83.1 / 30º / #27	64º	Colômbia	0,187	0.791 / 75º / #47	4.04 / 69º / #50	88.3 / 9º / #9
27º	Eslováquia	0,403	0.863 / 42º / #31	4.45 / 41º / #32	86.0 / 17º / #16	65º	Armênia	0,170	0.775 / 83º / #51	3.76 / 93º / #65	77.7 / 62º / #49
28º	Estônia	0,394	0.860 / 44º / #33	4.74 / 27º / #23	85.1 / 19º / #18	66º	Macedônia	0,152	0.801 / 69º / #44	3.73 / 94º / #66	75.1 / 74º / #55
29º	Lituânia	0,389	0.862 / 43º / #32	4.49 / 38º / #29	86.2 / 16º / #15	67º	Bolívia	0,145	0.695 / 117º / #66	3.55 / 105º / #70	64.7 / 110º / #71
30º	Portugal	0,360	0.897 / 29º / #25	4.48 / 40º / #31	85.7 / 18º / #17	68º	Namíbia	0,141	0.65 / 125º / #69	3.85 / 89º / #62	70.6 / 88º / #61
31º	Grécia	0,357	0.926 / 24º / #21	4.08 / 65º / #47	80.2 / 44º / #36	69º	Gana	0,133	0.553 / 135º / #72	*	70.8 / 86º / #60
32º	Letônia	0,347	0.855 / 45º / #34	4.41 / 45º / #34	88.8 / 8º / #8	70º	Paquistão	0,126	0.551 / 136º / #73	3.77 / 92º / #64	58.7 / 124º / #74
33º	Romênia	0,346	0.813 / 60º / #40	3.97 / 74º / #54	71.9 / 83º / #59	71º	Índia	0,126	0.619 / 128º / #71	4.33 / 48º / #37	60.3 / 120º / #73
34º	Chile	0,333	0.867 / 40º / #30	4.77 / 26º / #22	83.4 / 29º / #26	72º	Irã	0,124	0.759 / 94º / #58	*	76.9 / 67º / #52
35º	Polônia	0,323	0.870 / 37º / #28	4.28 / 51º / #39	80.5 / 42º / #35	73º	Quênia	0,116	0.521 / 148º / #75	3.61 / 99º / #67	69.0 / 96º / #64
36º	Tailândia	0,320	0.781 / 78º / #49	4.70 / 28º / #24	79.1 / 53º / #41	74º	Zâmbia	0,108	0.434 / 165º / #76	2.88 / 129º / #74	55.1 / 130º / #75
37º	Marrocos	0,305	0.646 / 126º / #70	4.08 / 64º / #48	72.1 / 82º / #58	75º	Nepal	0,085	0.534 / 142º / #74	3.38 / 114º / #71	72.1 / 81º / #57
38º	Hungria	0,304	0.874 / 36º / #27	4.35 / 47º / #36	84.2 / 23º / #21	76º	Quirguistão	0,065	0.696 / 116º / #65	3.34 / 119º / #72	69.6 / 94º / #63

<sup>1</sup>IDH (escala de 0 a 1) / ranking entre os 177 países avaliados / ranking entre os 76 países desta amostra. Fonte: ONU (2008)

<sup>2</sup>GCI (escala de 0 a 7) / ranking entre os 131 países avaliados / ranking entre os 76 países desta amostra. Fonte: WEF (2008)

<sup>3</sup>EPI (escala de 0 a 100) / ranking entre os 149 países avaliados / ranking entre os 76 países desta amostra. Fonte: YCELP (2008)

\* Gana e Irã não foram considerados na elaboração do GCI

\*\* Cingapura não foi considerada na elaboração do EPI

Esses resultados levam à identificação daquelas nações que, de acordo com a avaliação das 19 variáveis assumidas como delineadoras do desenvolvimento nacional, foram mais eficientes na conversão de insumos em produtos dada a restrição de priorização aos pesos dessas variáveis de acordo com o levantamento apresentado anteriormente. Os valores de GSN já haviam sido, pelo menos em parte, antecipados pela análise do desempenho das

nações segundo cada perspectiva individualmente. Cingapura e Quirguistão ocupam, como esperado a partir dos resultados obtidos, respectivamente a primeira e última colocação no quadro geral. Suíça, Noruega, Japão, Dinamarca e Holanda completam a lista de países sustentáveis, aproveitando-se de seu bom desempenho em todas as perspectivas para atingir um GSN maior que 0,7.

Apesar de não terem alcançado um desempenho suficiente para serem considerados como parte da elite da sustentabilidade mundial, outras quatorze nações, incluindo diversas das maiores economias do mundo, como Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, França e Itália despontam com GSNs maiores que 0,5, integrando a divisão intermediária. No pelotão de desenvolvimento sustentável inferior, com valores GSN de, pelo menos, 0,3, figuram mais onze países, incluindo a China, a economia em maior ritmo de expansão entre as potências mundiais, e o Chile, melhor colocado entre as nações sul-americanas.

Por fim, tem-se o grupo formado por 38 países, ou precisamente a metade da amostra avaliada nesta aplicação, ao qual se atribuiu um Grau de Sustentabilidade Nacional menor que 0,3. Esse conjunto, constituído por nações com desempenho insatisfatório em todas as perspectivas, ou que, embora tenham conquistado escores adequados em algumas delas falharam em demasia nas demais, merece atenção especial por apresentar indicadores em uma ou mais áreas que demonstram a sua vulnerabilidade segundo determinados critérios. Tome-se o exemplo do Nepal, Gana, Zâmbia, Quênia e Botsuana que, apesar de alcançarem resultados excelentes no tocante à questão ambiental, aparecem nas últimas posições do quadro geral de sustentabilidade segundo o GSN. Esse mau desempenho deve-se ao fato de os mesmos países apresentarem indicadores econômicos e sociais que expressam a alta fragilidade dos mesmos em viabilizar condições de vida e de prosperidade comercial adequadas ao seu povo. Quanto ao resultado conseguido pelo Brasil, bastante próximo aos dos demais membros do Mercosul, nota-se que, tal qual observado para as demais nações do bloco, os resultados razoáveis da perspectiva ambiental foram ofuscados por aqueles provenientes da econômica, sendo, à exceção do Paraguai, menos diretamente afetados pelo desempenho no campo social.

A análise comparativa entre o ordenamento conferido a cada nação de acordo com o GSN e os demais índices presentes na Tabela 11 permite algumas constatações a respeito da validade do indicador proposto. A Figura 12 apresenta, de forma sintetizada, alguns desses aspectos. A partir da sua observação, verifica-se o elevado grau de correlação existente entre o GSN e tanto o IDH quanto o GCI. Observa-se que, embora para alguns países haja uma discrepância não desprezível entre a classificação pelo índice proposto em comparação com

os já estabelecidos, a maioria das nações encontra, em ambos, colocações relativamente próximas. Essa informação é confirmada pelo fato de, pelo menos, 90% dos 20 primeiros colocados tanto no IDH quanto no GCI fazerem parte do mesmo grupo no GSN, bem como 70% dos 20 últimos nos índices tradicionais constarem da mesma lista no proposto.

Índice	20 Prim <sup>1</sup>	20 Ult <sup>2</sup>	Correl <sup>3</sup>	Maior Flutuação <sup>4</sup>
<b>IDH</b>	18	14	0,8763	Marrocos / +33 (Argentina / -30)
<b>GCI</b>	19	14	0,8948	Romênia / +21 (Índia / -34)
<b>EPI</b>	11	12	0,6411	China / +44 (Colômbia / -55)

<sup>1</sup>Indica o nº de países, entre os 20 primeiros do índice, que ocupam as 20 primeiras colocações no GSN  
<sup>2</sup>Indica o nº de países, entre os 20 últimos do índice, que ocupam as 20 últimas colocações no GSN  
<sup>3</sup>Indica o grau de correlação entre a classificação dos países no índice e no GSN  
<sup>4</sup>Indica o país que mais ganhou(perdeu) posições no ranking, ao observar o GSN ao invés do índice

Figura 12: Comparação do GSN com outros indicadores utilizados internacionalmente

Na comparação com o EPI, nota-se que, apesar da correlação ser mais fraca e a intensidade da maior flutuação de posições ser maior quando confrontada com o GSN, ainda é possível considerar que haja uma ligação entre os resultados. O fato de mais 50% dos 20 primeiros e dos 20 últimos colocados no ranking do EPI permanecerem no grupo ao serem avaliados pelo GSN confirma essa assertiva.

A explicação para as flutuações mais extremas encontradas ao comparar-se os resultados dos índices pode ser justificada tomando-se como base as suas naturezas diversas. O IDH, por exemplo, valoriza os países que conseguem promover uma melhor qualidade de vida à sua população, caso da Argentina que, no entanto, apresenta resultados menos satisfatórios numa análise econômica, sendo assim penalizada no GSN. Os marroquinos, por sua vez, usufruem de um padrão de vida inferior, recebendo uma pontuação mais baixa no indicador da ONU. Contudo, seu desempenho nas demais perspectivas faz com que o país se recupere ao avaliar-se a questão da sustentabilidade como um todo. Analogamente, a Índia passa por um momento de expansão econômica, o que conta pontos em seu favor na análise do GCI, embora apresente indicadores sociais e ambientais bastante deficitários, recebendo assim um escore baixo no GSN. Outro caso a ser destacado é o da China, responsável por resultados ambientais pouco meritórios – e, por isso, mal colocada segundo o EPI -, mas que, de certo modo, compensa essa falha nas demais perspectivas, sendo privilegiada pelo GSN.

Esta seção buscou trazer à tona uma abordagem inovadora para a verificação do grau de sustentabilidade das nações, uma questão amplamente discutida na atualidade. Fazendo uso de uma aplicação não convencional da análise envoltória de dados, foi possível prover

insumos ao debate sobre esse tema, prestando alguma contribuição para o desenvolvimento de estudos mais avançados nessa área que assume um papel destacado na agenda política de um número crescente de Estados. A próxima seção traz uma mostra mais convencional da DEA, no que tange ao seu escopo de aplicação, mas que apresenta desdobramentos mais sofisticados da técnica, permitindo a obtenção de resultados mais aderentes às necessidades específicas do cenário analisado.

## **4.2 AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA DE TRANSPORTE AÉREO**

O segundo caso estudado neste trabalho diz respeito à determinação da eficiência relativa de companhias de transporte aéreo de passageiros, com base em indicadores operacionais analisados com o uso da análise envoltória de dados. Assim como no caso anterior, este estudo adota a seqüência de etapas e fases sugerida pela sistemática proposta no capítulo 3.

### **4.2.1 Etapa Preliminar**

A equipe-base de trabalho envolvida na realização do estudo apresentado nesta seção constitui-se por apenas um integrante, o próprio autor. Na etapa aplicada no estudo, o mesmo recebe o suporte de dois profissionais da área estudada fim de concluir a respeito das relações existentes entre os indicadores utilizados na avaliação das empresas. A fim de viabilizar a compreensão do ambiente que envolve a indústria aeronáutica, alvo deste estudo, procede-se a uma revisão de conceitos com o objetivo de prover elementos que tornem mais robustos tanto o problema abordado quanto os resultados alcançados.

A indústria do transporte aéreo é intensiva no uso de capital e caracterizada por custos operacionais elevados – combustível, manutenção e salários –, margens pequenas e balanços com valores relativamente altos de obrigações devido à frota arrendada. As principais barreiras de entrada no setor são impostas pela limitação de espaço aeroportuário nos mercados desejados sendo que, em alguns deles, a única forma de expansão consiste na conquista de participação de mercado da concorrência. A elasticidade nos preços oferecidos é um fator determinante para o sucesso nessa indústria; a utilização efetiva da capacidade disponível é fundamental (RILEY JR; PEARSON; TROMPETER, 2003).

Os assentos das aeronaves são o produto oferecido por essa indústria e, como observado para qualquer outro produto, embora uma maior quantidade garanta as vendas, a



um inventário maior incidem custos adicionais. Como esses assentos são perecíveis, uma vez que aqueles não vendidos até o momento da decolagem perdem instantaneamente o seu valor, Sherali, Bish e Zhu (2006) acreditam que a estratégia ideal consista em disponibilizar apenas a quantidade exata de assentos a ser comercializada e negociá-la por um preço ótimo.

De acordo com Alderighi e Cento (2004), as companhias aéreas determinam a sua capacidade através de um processo de planejamento de rede geralmente organizada em três níveis. Primeiramente, sob a ótica estratégica, investiga-se a possibilidade de estabelecimento de alianças a fim de garantir a entrada ou fortalecer a presença em alguns mercados, contribuindo também com o nível de serviço oferecido, principalmente devido ao aumento de frequências de vôo oferecidas. Em seguida, o foco recai sobre a investigação da rentabilidade e decisões de investimento, sobretudo com a realização de previsão de demanda, de crescimento do setor e verificação do ciclo de pedidos de aeronaves. O terceiro nível lida com escolhas operacionais, como equilíbrio de preços e disputa por mercados, recordando que companhias fortemente estabelecidas em uma rota são mais atrativas aos passageiros podendo, com isso, cobrar um valor mais elevado para o transporte.

Francis, Humphreys e Fry (2005) atestam que as empresas de transporte aéreo enfrentam ambientes de mercado dinâmicos e desafiadores, extremamente sensíveis à situação política e econômica mundial no curto prazo. A fim de justificar essa afirmação, os autores afirmam que eventos ocorridos no início desta década, como os atentados ao *World Trade Center* e ao Pentágono, nos Estados Unidos, o surto de gripe aviária e o aumento nos preços do petróleo, levaram a uma estagnação e redução do tráfego aéreo entre os anos de 2001 e 2003, embora empresas em diversos outros setores tenham tido um desempenho melhor. Alderighi e Cento (2004) lembram que, em mais de 50 anos desde o fim da 2ª Guerra Mundial, a indústria de transporte aéreo europeia havia enfrentado apenas um decréscimo anual no volume de tráfego: redução de 6% em 1991, justificada pela combinação da Guerra do Golfo com um período de recessão. Entretanto, a situação enfrentada em 2001 foi muito mais dramática: entre 11 de Setembro e 4 de Novembro daquele ano, o tráfego no Atlântico Norte caiu 26%, no Extremo Oriente caiu 17% e na Europa a queda foi de mais de 10%. Nas semanas que se seguiram a essas perdas, as principais companhias aéreas cortaram a capacidade oferecida em 20% e demitiram ao redor de 16% da força de trabalho.

Gittel *et al.* (2006) ponderam que, embora todas as companhias tenham sofrido um forte impacto inicial devido a essa crise, nem todas reagiram da mesma forma. Enquanto algumas empresas emergiram da crise mais fortes, outras foram extintas ou entraram em concordata. Um estudo apresentado pelos autores com base no espaço aéreo norte-americano

aponta que, enquanto o número de vôos comerciais com até 800 km sofreu redução de até 20% entre 2000 e 2003, os vôos que cobrem distâncias maiores tiveram um aumento nas frequências oferecidas.

A fim de conquistar e reter clientes em um mercado altamente competitivo como esse em questão, Chang e Yeh (2002) afirmam ser de importância estratégica para as companhias compreenderem o seu nível de competitividade relativa no tocante aos elementos críticos passíveis de afetar as suas vantagens competitivas. De acordo com os autores, estudos nessa área geralmente levam em conta medidas-chave de competitividade, como custo, preço, rentabilidade, desempenho operacional, segurança, produtividade e qualidade do serviço, embora isoladamente essas medidas não reflitam a noção de competitividade entre as empresas.

Com razão, o desempenho financeiro representa a dimensão mais amplamente discutida e fortemente buscada pelas empresas, uma vez que reflete o desempenho da organização em uma série de atividades. Entretanto, ao avaliarem o caso das companhias aéreas, Backx, Carney e Gedajlovic (2002) salientam a estrutura das estatais, que geralmente perseguem objetivos múltiplos, resultando em uma menor ênfase no desempenho financeiro. Isso não quer dizer que as empresas públicas sejam menos eficientes que as suas concorrentes privadas, cujo resultado financeiro é usufruído por um conjunto menor de interessados. Para exemplificar, os autores apresentam uma situação comum em países em desenvolvimento, onde as empresas aéreas estatais apresentam um papel estratégico importante no deslocamento de trabalhadores e onde uma maior eficiência pode ser realizada pela oferta de preços mais baixos à população ao invés da obtenção de lucros maiores. Em outros casos, a empresa pública pode operar rotas deficitárias propositalmente, com o intuito de oferecer o serviço à população.

Além disso, outros complicadores existem no caso nas empresas de transporte aéreo. Mackenzie-Williams (2005) chama a atenção para o fato de algumas companhias terceirizarem algumas atividades-chave, como alimentação e manutenção, enquanto outras as mantêm sob responsabilidade própria. Schefczyk (1993), por sua vez, pondera que a avaliação do desempenho de companhias internacionais a partir dos dados financeiros publicados seja difícil, uma vez que muitas delas têm aeronaves arrendadas formando parte expressiva da frota. Em virtude dos diferentes padrões de contabilidade e taxação existente nos diversos países, uma alta participação de ativos arrendados junto ao patrimônio diminui a comparabilidade dos lucros e prejuízos nos balanços disponíveis. Em seu artigo sobre a competição entre alianças globais, Lazzarini (2007) utiliza apenas informações operacionais,

abrindo mão da utilização de dados financeiros, uma vez que os mesmos não estavam disponíveis de forma confiável e padronizada para sua amostra formada por companhias de diversas origens.

Backx, Carney e Gedajlovic (2002) concluem, assim, que dados operacionais devem ser examinados à parte dos dados financeiros, e Schefczyk (1993) atesta que estes possam até mesmo ser desprezados. Para Riley Jr, Pearson e Trompeter (2003), as informações não financeiras de desempenho podem ser usadas para auxiliar a avaliação do desempenho financeiro futuro de curto prazo.

Outra questão de importante acompanhamento, a qualidade dos serviços oferecidos, é caracterizada por Chang e Yeh (2002) como de difícil descrição e medição devido à sua heterogeneidade, intangibilidade e inseparabilidade. Ainda assim, o nível de qualidade funcional percebido pelos clientes pode ser avaliado de modo subjetivo em um processo de pesquisa. A imprecisão, contudo, é inevitável, especialmente quando o tempo disponível pelo passageiro para estimar o nível de qualidade é pequeno.

Apesar de ainda não se ter encontrado uma medida particularmente simples para o custo da produção no setor, McLean (2006) diz aceitar-se comumente que o trabalho realizado pela indústria da aviação seja o RPK – passageiro-quilômetro pago –, obtido pela multiplicação do número de passageiros transportados pela distância voada. Segundo o autor, o uso apenas de um alto fator de carga como referência de alta eficiência operacional é indesejável, uma vez que não indica se a aeronave está passando tempo suficiente ganhando dinheiro. Embora a maioria dos assentos possa estar vendida, a empresa pode ser ineficiente por realizar vôos muito curtos. Além disso, um alto fator de carga pode ser alcançado simplesmente retirando de serviço algumas aeronaves, de modo que outra medida importante seria o grau de utilização das aeronaves, ou seja, o tempo que cada aeronave está operando vôos geradores de receita.

O problema de designação da frota, que trata de alocar aeronaves com capacidades diferentes para os vôos programados, com base nas adequações e disponibilidades, custos operacionais e receitas potenciais, é discutido por Sherali, Bish e Zhu (2006). Os autores enfatizam que esse tipo de decisão tem impacto direto nas receitas da companhia: a designação de uma aeronave menor que o necessário implica em clientes perdidos, mas a alocação de um equipamento muito grande resulta em assentos vagos, aumentando os custos operacionais.

Diversos estudos foram realizados com o intuito de investigar o grau de competição entre as companhias aéreas com base em informações operacionais. Em um desses trabalhos,

publicado por Feng e Wang (2000), observa-se a classificação dos indicadores utilizados em três subconjuntos: insumos, produtos e consumo pelo cliente. Segundo essa análise, as atividades de uma companhia aérea seriam cíclicas, sendo que as decisões a respeito dos insumos, como força de trabalho e frota disponível, mais desejáveis para um período, seriam dependentes do consumo pelos clientes, expresso, por exemplo, pelo número de passageiros e de passageiros-quilômetros no período anterior. Simultaneamente, deve-se buscar uma maior produção – vôos, assentos disponíveis,... – a partir dos insumos utilizados e um maior consumo por parte dos clientes para os produtos disponibilizados.

De acordo com Schefczyk (1993), os insumos podem estar relacionados ao patrimônio ou aos custos propriamente ditos. Enquanto os primeiros representam bens de capital e contribuem com os custos apenas indiretamente através da depreciação, amortização e juros, os últimos incluem combustível, salários, comissões e itens relacionados. A pesquisa apresentada por Oum e Yu (1995), por sua vez, considera cinco variedades de insumos: salários, combustíveis, materiais, equipamento de vôo e propriedades em solo. Os autores também atentam para o fato de as companhias investirem em atividades que não compõem a sua especialidade, como serviços de alimentação, manutenção, reservas para outras companhias, consultorias e serviços de hotelaria. Embora essas atividades não correspondam ao principal negócio das empresas, utilizam uma parte dos recursos disponíveis, o que deveria ser considerado nas análises realizadas. Oum e Yu (1995) também distinguem cinco variedades de produtos: passageiros regulares servidos; transporte de carga regular realizado; serviços de correspondência realizados; fretamentos de carga ou passageiros realizados; e serviços adicionais não envolvendo diretamente o transporte aéreo.

Em um estudo conduzido por Francis, Humphreys e Fry (2005), as 196 maiores companhias aéreas do mundo em movimentação de passageiros no ano de 2001 foram consultadas – apenas 43 responderam – a fim de descobrir quais indicadores operacionais são julgados mais importantes e quais são mais utilizados no setor. O resultado da pesquisa é apresentado na Tabela 12, sendo que, devido às pressões enfrentadas por eficiência de custos, não é surpreendente que o custo por assento-quilômetro seja o indicador julgado mais importante, embora os únicos indicadores considerados por toda a amostra consultada sejam os relacionados à pontualidade e à taxa de ocupação das aeronaves.

Recentemente, tem-se dedicado um espaço amplo a fim de discutir a respeito das vantagens e limitações advindas do estabelecimento de parcerias estratégicas no setor, procurando-se definir parcerias viáveis e o desenvolvimento de planos de colaboração. Conforme Cravens, Piercy e Cravens (2000), a lógica disso é explicada pelo fato de uma

aliança global permitir a expansão da cobertura das companhias em regiões geográficas distintas mais efetivamente que de qualquer outra forma.

Tabela 12: Pesquisa sobre utilização de indicadores operacionais por companhias aéreas

Medida de desempenho operacional	Usado (%)	Não usado (%)	Não sabe (%)	Importância da medida <sup>a</sup>	
				Média	Desv. Pad.
Pontualidade	100	0	0	4,6	0,9
Passageiros quilômetro pago (RPK)	95	5	0	4,2	1,1
Fator de carga / ocupação	100	0	0	4,5	1,0
Idade média da frota	80	17	3	3,0	1,1
Assentos quilômetro disponível (ASK)	93	7	0	4,2	0,9
Toneladas quilômetro disponível por empregado	49	49	2	4,0	0,9
Taxa de retenção dos funcionários	76	21	3	4,1	0,9
Despesas de pessoal como % dos custos operacionais	87	11	2	3,9	1,0
Custo por assento quilômetro	90	8	2	4,7	0,7
Utilização diária das aeronaves (horas)	98	0	2	4,3	1,0
Receita total por unidade de trabalho carga	43	40	17	4,5	0,5

<sup>a</sup> Escala: 1 = não importante; 5 = muito importante

Fonte: adaptado de Francis, Humphreys e Fry (2005)

Gudmundsson e Oum (2005) chamam a atenção para as diferenças entre o estabelecimento de uma rede e de uma aliança no setor aeronáutico. Embora ambas sejam constituídas com a premissa de estender a cobertura dos serviços e coordenar as operações entre as empresas, gerando assim maior valor do que se cada uma perseguisse isoladamente a sua estratégia, essa cooperação entre ambas se dá de forma distinta. Um acordo formal, como uma aliança, permite maiores economias de escala, escopo e densidade, permitindo o compartilhamento de estrutura e acesso privilegiado a novos mercados, uma vez que empresas em uma aliança têm objetivos em comum: um sistema fechado. As redes, por sua vez, são desenvolvidas sem qualquer integração formal e têm como motivação a seleção de horários de vôos para conexões convenientes e serviços aeroportuários já existentes que não demandem o estabelecimento de laços formais: um sistema aberto. Como caracterizado pelos autores, redes não são alianças, mas alianças podem se fundamentar em redes.

Como destacado por Lazzarini (2007), a existência de políticas regulatórias que restringem a aquisição e operação de companhias estrangeiras em diversos países é um dos maiores desafios da indústria aeronáutica. Além disso, como lembrado pelo autor, desde a Convenção de Chicago para a Aviação Civil Internacional, em 1944, a permissão para operar vôos internacionais tem sido concedida, geralmente, através de acordos bilaterais, sendo que as companhias aéreas raramente podem operar rotas entre países estrangeiros. Nesse contexto, a formação de alianças consiste em um recurso essencial para que as empresas de transporte aéreo possam expandir internacionalmente as suas operações. Para Gudmundsson e Lechner

(2006), as alianças permitem relações de cooperação, uma vez que competem em alguns aspectos e cooperam em outros.

No que se refere ao apelo financeiro do estabelecimento de alianças, Morrish e Hamilton (2002) afirmam não haver uma evidência conclusiva de que as principais companhias aéreas tenham conseguido restringir a competição ou aumentar significativamente a lucratividade após o estabelecimento desse tipo de parceria. O fato de essa indústria operar com margens baixas pode fazer com que a prevalência de alianças seja interpretada como um meio de preservar essas margens ao invés de gerar sobras de caixa maiores. Ao avaliar as três maiores alianças da atualidade – *Star*, *Skyteam* e *Oneworld* –, Tiernan, Rhoades e Waguespack (2008) concluem que não há diferenças significativas na qualidade do serviço oferecido segundo alguns indicadores como pontualidade, perda de bagagens e cancelamentos de voo. De acordo com esse estudo, embora pequenas variações anuais sejam percebidas nas comparações entre as alianças, as semelhanças entre elas são notáveis.

Ao formar uma aliança, as empresas buscam parceiros que possam suprir algumas de suas lacunas em recursos ou complementar suas características diferenciais. Conforme Cravens, Piercy e Cravens (2000), sem um conjunto específico de critérios de avaliação montado sob medida para os objetivos do relacionamento, não é possível identificar informações que conduzam ao sucesso da parceria. O mesmo estudo apresentado em Francis, Humphreys e Fry (2005) e citado anteriormente para ilustrar os indicadores operacionais mais comumente utilizados, identificou também que 88% das empresas aéreas consultadas realizavam atividades de *benchmarking*. De acordo com a pesquisa, companhias da Europa, América do Norte e Ásia-Pacífico com alto volume de tráfego – mais de 10 milhões de passageiros por ano – apresentam maior propensão a utilizar esse dispositivo, sendo que 49% delas se espelham nas próprias parceiras de aliança para fazer o *benchmarking*.

A velocidade das mudanças e o rápido crescimento do setor resultaram em uma série de desafios a serem superados pelos gestores de empresas atuantes nessa indústria. Na concepção de Francis, Humphreys e Fry (2005), alguns exemplos desses desafios incluem o crescente congestionamento da infra-estrutura, questões relacionadas à segurança, sustentabilidade, oposição social e ambiental às operações aéreas, privatização de aeroportos e do controle de tráfego aéreo, surgimento de alianças e realização de fusões entre companhias, desregulamentação de mercados, operação de aeronaves novas e de maior capacidade e crescimento das empresas de baixo custo. Segundo os autores, tais pressões levaram os

gestores a utilizar uma variedade de técnicas a fim de medir e gerenciar o desempenho das empresas de transporte aéreo.

Como colocado por Schefczyk (1993), a satisfação da demanda por produtos utilizando a menor quantidade possível de insumos é o objetivo de qualquer companhia aérea, e a viabilização de meios que permitam aos gestores tomar decisões que conduzam a esse resultado deve ser a proposta central de uma análise de desempenho do setor aeronáutico. Recentemente, diversos estudos trataram de usar a DEA a fim de avaliar o desempenho das companhias aéreas. Oum e Yu (1995) analisaram 23 empresas entre 1986 e 1993 e constataram que as européias foram as que mais melhoraram em eficiência no período. Scheraga (2004), usando dados de 38 companhias de todo o mundo entre 1995 e 2000 encontrou uma pequena variação na eficiência relativa entre as empresas. Fare *et al.* (2007), por sua vez, estudaram os efeitos da desregulamentação do setor na produtividade de 13 companhias norte-americanas entre 1979 e 1994 e verificaram uma piora na qualidade dos serviços oferecidos após a desregulamentação.

Uma questão que deve ser respondida é por que preferir a DEA ao invés de outros métodos analíticos de avaliação para analisar companhias atuantes nessa indústria. Na concepção de Schefczyk (1993), a visão holística permitida pela DEA é percebida como uma vantagem fundamental. Segundo o autor, a DEA é a única metodologia viável capaz de ligar todos os fatores que conduzem à eficiência, avaliando os relacionamentos entre cada insumo e produto para chegar a uma medida escalar de desempenho. Ao fazer isso, a DEA passa por cima de algumas dificuldades, como a fraca comparabilidade entre empresas operando em ambientes distintos e a variedade de medidas operacionais demandadas. A análise realizada pelo autor constata que um alto desempenho operacional é fundamental para que se alcance uma alta lucratividade.

Assim, o caso estudado nesta seção objetiva avaliar a eficiência de empresas de transporte aéreo de passageiros de todo o mundo com base em seus indicadores de desempenho operacional. A fim de viabilizar tal objetivo, a Análise Envoltória de Dados, ou DEA, será utilizada como principal ferramenta de análise.

A ‘Fase b’ foi suprimida desta aplicação, uma vez que as constatações obtidas com o primeiro caso puderam ser reaproveitadas. Desse modo, procede-se diretamente da ‘Fase a’ da etapa preliminar para a etapa aplicada deste estudo.

#### 4.2.2 Etapa Aplicada

Identificado o problema a ser atacado nesta aplicação da Análise Envoltória de Dados, referente à determinação da eficiência das empresas de transporte aéreo de passageiros, procede-se à ‘Fase 1’ da etapa aplicada da sistemática, cujos passos iniciais constituem-se na seleção das unidades tomadoras de decisão e das variáveis a serem consideradas na análise. Assim, as DMUs avaliadas serão representadas por companhias aéreas de todo o mundo cujos dados necessários encontrem-se disponíveis, e as variáveis serão formadas pelo conjunto de indicadores operacionais que permitam inferir acerca do desempenho de cada empresa em relação às demais integrantes da amostra estudada.

Inicialmente, buscou-se identificar as informações necessárias diretamente nos sites oficiais das principais companhias aéreas do mundo. Entretanto, devido às dificuldades encontradas, sobretudo à falta de padronização na apresentação dos resultados e às restrições idiomáticas para a interpretação dos dados de algumas empresas, preferiu-se partir para a consulta a bases de dados consolidadas.

Ao verificar as informações disponíveis nessas bases de acesso público, apesar de solucionar as questões lingüísticas e de padronização, encontrou-se um novo problema: os dados relativos aos indicadores, geralmente em número reduzido, não apresentavam valores diretamente comparáveis aos de outras fontes, incluindo os dados oficiais que já haviam sido pesquisados. Tendo em vista esse empecilho, optou-se por abandonar a consulta às bases de domínio público, normalmente disponibilizadas por publicações de varejo sobre a indústria aeronáutica ou entidades representativas do setor, preferindo-se a consulta direta a uma base oficialmente reconhecida, mesmo que o seu acesso não estivesse imediatamente livre.

Após alguma investigação, a Associação Internacional de Transporte Aéreo, IATA, órgão criado há 63 anos e que representa 230 companhias aéreas de 126 países que, em conjunto, respondem por 93% do tráfego aéreo regular mundial, foi contatada. O objetivo desse contato era conseguir acesso às informações disponíveis na base GAIA – Portal para Inteligência e Análise da Aviação – de acesso restrito e com módulos específicos compostos por informações a respeito do transporte de carga, passageiros e informações financeiras. O pedido de acesso com fins acadêmicos foi liberado pela associação, embora algumas restrições no tocante aos indicadores e ao período de abrangência das informações disponíveis tenham sido impostas. Como principal resultado dessas restrições, as informações mais atualizadas disponíveis para consulta referem-se ao ano de 2002 que, embora cronologicamente defasadas, foram acatadas para este trabalho em virtude da confiabilidade



que apresentam, além de permitirem a avaliação de um conjunto expressivo de empresas do setor.

Do conjunto de indicadores disponibilizado para consulta, apenas os sete julgados mais representativos do comportamento operacional das unidades analisadas de acordo com o referencial teórico levantado foram considerados neste estudo:

- FUN – Funcionários: diz respeito ao total de colaboradores, incluindo os temporários, constantes da folha de pagamento da empresa em 31 de dezembro de 2002;
- FRO – Frota: refere-se ao número de aeronaves em serviço e disponíveis para operação em 31 de dezembro de 2002, incluindo os equipamentos arrendados de outras organizações, mas excluindo aqueles arrendados para outros operadores naquele dia;
- HRS – Horas voadas: horas regulares voadas pela companhia no ano de 2002, somando todas as aeronaves, incluindo o tempo de taxi nos aeroportos;
- FRT – Toneladas de carga: número de toneladas de carga paga transportada em 2002, considerando cada tonelada de carga em um determinado voo (que possui o mesmo número de voo durante a viagem da remessa) apenas uma vez independentemente do número de trechos voados. Por exemplo, uma carga despachada em Porto Alegre com destino ao Rio de Janeiro em um voo com escala em São Paulo é considerada apenas uma vez, mas se houver conexão em São Paulo, o volume será computado duas vezes;
- WLF – Taxa de aproveitamento de carga: razão entre a quantidade de toneladas-quilômetro (de pessoas, carga e correspondência) transportadas e a quantidade ofertada em 2002;
- RPK – Passageiros-quilômetros pagos: soma dos produtos obtidos pela multiplicação do total de passageiros pagantes em cada voo realizado em 2002 pela distância voada por cada um;
- PLF – Taxa de ocupação: razão entre a quantidade de passageiros-quilômetros pagos e a oferta total de assentos-quilômetro pela companhia em 2002.

Os indicadores representativos do número de funcionários, frota disponível e horas voadas representam insumos e, portanto, devem ser minimizados. Uma vez que funcionários significam salários e benefícios onerosos, a frota aérea reflete um investimento em ativos imobilizados e o número de horas voadas acarreta em despesas com combustível, manutenção

e outros elementos, é de interesse das empresas que os mesmos sejam reduzidos na medida do possível.

Por outro lado, a quantidade de carga transportada, passageiros-quilômetro pagos e as taxas de ocupação e de aproveitamento de carga são indicadores cujos valores deveriam ser maximizados pelas companhias, representando produtos. Enquanto os dois primeiros significam a entrada direta de recursos no caixa das empresas, os demais refletem a adequação dos equipamentos utilizados para gerar esse caixa, no caso o porte das aeronaves.

Uma consideração relevante a ser levada em conta nesta análise é que o indicador FRO diz respeito exclusivamente ao número de equipamentos em operação por cada companhia, independentemente de seus portes. A capacidade das aeronaves, medida pelo total de assentos disponíveis, e a distância voada na rede servida pela companhia podem ser aglutinadas no indicador ASK, referente à oferta total de assentos-quilômetro disponibilizados pela companhia. Este, por sua vez, foi desconsiderado da análise por ser utilizado, junto com o RPK, no cálculo de outro indicador, a PLF, ambos integrantes do conjunto de variáveis consideradas. É importante frisar que, neste estudo, assume-se que o interesse das companhias aéreas deva ser o de minimizar o número total de horas voadas, maximizando, em contrapartida, o nível de utilização das aeronaves tanto quanto ao número de passageiros quanto à quantidade de carga transportada. Embora isso pareça contra-intuitivo, deve-se ressaltar que a proposta não é a de se manter as aeronaves em solo por um tempo maior, e sim de garantir que, quando em vôo, as mesmas estejam gerando um maior volume de receitas.

Devido à indisponibilidade de informações referentes a algumas empresas, o conjunto de unidades tomadoras de decisão considerados nesse estudo teve que ser adaptado de modo a incluir somente aquelas a cujos dados foi possibilitado o acesso. A base de dados final considerada para a realização desta aplicação da DEA na avaliação da eficiência operacional de companhias de transporte aéreo de passageiros encontra-se disponível no Apêndice B e é constituída por 155 DMUs avaliadas de acordo com sete indicadores, o que corresponde à avaliação das empresas responsáveis pelo transporte de 1,291 bilhão de pessoas, ou mais de 95% do total de passageiros transportados pelas companhias afiliadas à IATA no ano de 2002.

Uma vez que a comparação de companhias operando em condições muito distintas utilizando a DEA não é recomendada, decidiu-se agrupá-las de acordo com a escala de operação. Assim, as empresas com movimentação total superior a 10 milhões de passageiros em 2002 foram avaliadas conjuntamente como Grandes Empresas, as com volume de passageiros compreendido entre 1 e 10 milhões foram aglutinadas no grupo das Médias

Empresas e àquelas com total oscilando entre 100 mil e 1 milhão de passageiros foi concedida a classificação de Pequena Empresa. As companhias com volume anual de passageiros transportados inferior a 100 mil foram descartadas por geralmente apresentarem condições de operação mais exclusivas e de difícil comparação, mesmo com outras de porte semelhante. A Figura 13 apresenta as empresas de transporte aéreo consideradas no estudo de acordo com a sua classificação por porte de operação.

Companhia	Origem	PAX/ano	Companhia	Origem	PAX/ano	Companhia	Origem	PAX/ano
American Airlines <sup>2</sup>	EUA <sup>b</sup>	94.069.596	Olympic Airlines	Grécia <sup>a</sup>	5.576.168	M Croatia Airlines	Croácia <sup>a</sup>	1.127.641
Delta Air Lines <sup>1</sup>	EUA <sup>b</sup>	89.867.636	TAP-Air Portugal	Portugal <sup>c</sup>	5.564.773	É Skyways AB	Suécia <sup>c</sup>	1.110.634
United Airlines <sup>1</sup>	EUA <sup>b</sup>	69.116.102	Aeroflot	Rússia <sup>a</sup>	5.409.301	D Ethiopian Airlines	Etiópia <sup>d</sup>	1.103.184
Northwest Airlines	EUA <sup>b</sup>	53.807.026	Lan Airlines <sup>2</sup>	Chile <sup>a</sup>	5.321.508	I Royal Brunei	Brunei <sup>e</sup>	1.035.793
US Airways	EUA <sup>b</sup>	47.154.795	Gulf Air	Barein <sup>d</sup>	5.022.851	A Air Mauritius	Maurício <sup>d</sup>	1.024.711
Lufthansa <sup>1</sup>	Alemanha <sup>c</sup>	43.950.482	Xiamen Airlines	China <sup>e</sup>	4.721.830	S Corse Air	França <sup>c</sup>	1.007.182
All Nippon Airways <sup>1</sup>	Japão <sup>e</sup>	43.680.438	Eva Airways	Taiwan <sup>e</sup>	4.697.389	Austral Líneas Aéreas	Argentina <sup>a</sup>	996.129
Air France <sup>1</sup>	França <sup>c</sup>	43.609.662	Avianca	Colômbia <sup>a</sup>	4.607.139	Jat Airways	Sérvia <sup>c</sup>	987.157
Continental Airlines	EUA <sup>b</sup>	39.539.155	Egyptair	Egito <sup>d</sup>	4.526.688	Tarom	Romênia <sup>c</sup>	920.374
G British Airways <sup>2</sup>	Reino Unido <sup>c</sup>	34.008.886	SAS Norge	Noruega <sup>c</sup>	4.480.831	Luxair	Luxemburgo <sup>c</sup>	895.032
Japan Airlines	Japão <sup>e</sup>	33.525.752	Aloha Airlines	EUA <sup>b</sup>	4.366.736	Middle East Airlines	Libano <sup>d</sup>	874.152
R China Southern Airlines	China <sup>e</sup>	28.400.322	Pakistan International	Paquistão <sup>e</sup>	4.141.009	YEMENIA	Iêmen <sup>d</sup>	869.296
Iberia <sup>2</sup>	Espanha <sup>c</sup>	24.220.216	Shanghai Airlines	China <sup>e</sup>	4.048.776	PGA	Portugal <sup>c</sup>	855.658
A Qantas Airways <sup>2</sup>	Austrália <sup>a</sup>	23.893.134	Virgin Atlantic	Reino Unido <sup>c</sup>	3.808.687	Oman Aviation Services	Omã <sup>d</sup>	847.846
Air Canada <sup>1</sup>	Canadá <sup>b</sup>	23.323.029	TACA	El Salvador <sup>d</sup>	3.699.245	Syrian Arab Airlines	Síria <sup>d</sup>	828.516
SAS <sup>1</sup>	Suécia <sup>c</sup>	22.896.359	Dragon Airlines	China (HK) <sup>e</sup>	3.431.109	Corse Méditerranée	França <sup>c</sup>	811.638
N Korean Air Lines <sup>1</sup>	Coreia do Sul <sup>e</sup>	22.191.114	VASP	Brasil <sup>a</sup>	3.328.550	Libyan Arab Airlines	Líbia <sup>d</sup>	753.171
Alitalia <sup>1</sup>	Itália <sup>c</sup>	21.862.268	Meridiana	Itália <sup>c</sup>	3.322.510	Iran Aseman Airlines	Irã <sup>d</sup>	740.340
Japan Air System	Japão <sup>e</sup>	21.426.817	Air India	Índia <sup>e</sup>	3.282.886	Adria Airways	Eslovênia <sup>c</sup>	720.516
D America West	EUA <sup>b</sup>	19.433.702	M China Yunnan	China <sup>e</sup>	3.195.473	P Air Tahiti	Pol. Francesa <sup>e</sup>	696.322
KLM	Holanda <sup>c</sup>	19.380.487	Royal Air Maroc	Marrocos <sup>d</sup>	3.145.963	Volare Airlines	Itália <sup>c</sup>	686.404
E Thai Airways <sup>1</sup>	Tailândia <sup>e</sup>	18.111.892	Aerpostal	Venezuela <sup>a</sup>	3.104.455	Air Kazakhstan	Casaquistão <sup>e</sup>	592.833
Malaysia Airline	Malásia <sup>e</sup>	16.207.790	É Jersey European Airways	Reino Unido <sup>c</sup>	2.875.219	E Southern Winds	Argentina <sup>a</sup>	518.240
S Singapore Airlines <sup>1</sup>	Cingapura <sup>e</sup>	15.337.000	LOT	Polônia <sup>a</sup>	2.845.919	Air Seychelles	Seicheles <sup>d</sup>	518.183
Alaska Airlines	EUA <sup>b</sup>	14.132.947	D CSA <sup>1</sup>	República Tcheca <sup>c</sup>	2.800.519	Q Air Luxor	Egito <sup>d</sup>	512.324
Saudi Arabian Airlines	Arábia Saudita <sup>d</sup>	13.564.300	Air Algérie	Argélia <sup>d</sup>	2.751.297	Aero Asia	Paquistão <sup>e</sup>	475.617
TAM Linhas Aéreas	Brasil <sup>a</sup>	13.167.198	Aerolíneas Argentinas	Argentina <sup>a</sup>	2.691.135	PLUNA	Uruguai <sup>a</sup>	433.250
Cathay Pacific <sup>2</sup>	China (HK) <sup>e</sup>	12.299.240	I El Al	Israel <sup>d</sup>	2.464.580	U Samara Airlines	Rússia <sup>c</sup>	388.798
Asiana Airlines	Coreia do Sul <sup>e</sup>	12.295.262	SN Brussels Airlines	Bélgica <sup>c</sup>	2.341.816	Air Austral	Reunião (França) <sup>d</sup>	380.982
China Eastern	China <sup>a</sup>	11.906.955	A Qatar Airways	Catar <sup>d</sup>	2.314.808	E SATA-Air Açores	Portugal <sup>c</sup>	375.001
SWISS	Suíça <sup>c</sup>	11.318.982	Kuwait Airways	Kuwait <sup>d</sup>	2.308.812	Bellview Airlines	Nigéria <sup>d</sup>	328.529
Air China Limited	China <sup>a</sup>	10.431.996	ACES	Colômbia <sup>a</sup>	2.236.234	Ukraine International	Ucrânia <sup>c</sup>	302.551
Varig <sup>1</sup>	Brasil <sup>a</sup>	10.030.401	S MALEV	Hungria <sup>c</sup>	2.134.282	N Estonian Air	Estônia <sup>c</sup>	297.883
Turkish Airlines	Turquia <sup>a</sup>	9.915.705	Air Jamaica	Jamaica <sup>c</sup>	2.016.000	Lauda Air <sup>1</sup>	Áustria <sup>a</sup>	288.816
Air New Zealand <sup>1</sup>	Nova Zelândia <sup>a</sup>	9.231.424	Siberia Airlines	Rússia <sup>c</sup>	1.839.152	A Nigeria Airways	Nigéria <sup>d</sup>	286.490
M Aeromexico <sup>3</sup>	México <sup>a</sup>	8.862.247	Tunis Air	Tunísia <sup>d</sup>	1.787.642	LAM	Moçambique <sup>d</sup>	281.531
Emirates	Emirados Árabes <sup>d</sup>	8.214.332	SriLankan Airlines	Sri Lanka <sup>e</sup>	1.744.931	MIAT	Mongólia <sup>e</sup>	270.155
China Airlines	Taiwan <sup>e</sup>	7.946.859	Rossiya	Rússia <sup>c</sup>	1.734.353	S Regional Express	Austrália <sup>e</sup>	265.459
É bmi (British Midland) <sup>1</sup>	Reino Unido <sup>c</sup>	7.845.823	Air Macau	China <sup>e</sup>	1.728.004	Air Baltic	Letônia <sup>a</sup>	261.380
Mexicana <sup>1</sup>	México <sup>a</sup>	7.654.418	Cyprus Airways	Chipre <sup>c</sup>	1.641.878	FlyLAL	Lituânia <sup>c</sup>	257.703
D Garuda Indonesia	Indonésia <sup>e</sup>	7.237.128	Kenya Airways	Quênia <sup>d</sup>	1.592.634	Ghana Airways	Gana <sup>d</sup>	255.630
Iran Air	Irã <sup>d</sup>	7.095.224	Biman Bangladesh	Bangladesh <sup>e</sup>	1.529.224	Surinam Airways	Suriname <sup>e</sup>	242.140
Austrian <sup>1</sup>	Áustria <sup>c</sup>	7.070.344	GB Airways	Reino Unido <sup>c</sup>	1.526.201	LTU	Alemanha <sup>a</sup>	239.781
I Indian Airlines	Índia <sup>e</sup>	6.952.217	Wideroe Flyveselskap	Noruega <sup>c</sup>	1.518.230	Air Namibia	Namíbia <sup>d</sup>	222.009
South African Airways	África do Sul <sup>d</sup>	6.356.822	Continental Micronesia	Micronésia <sup>e</sup>	1.424.462	Polynesian Airlines	Samoa <sup>e</sup>	216.568
Hainan Airlines	China <sup>e</sup>	6.295.328	Air Malta	Malta <sup>c</sup>	1.398.990	Belavia	Bielo Rússia <sup>c</sup>	204.908
A Jet Airways	Índia <sup>e</sup>	6.278.973	Royal Jordanian	Jordânia <sup>d</sup>	1.299.699	Air Caledonie	Nova Caledônia (Fr) <sup>e</sup>	186.412
Aer Lingus <sup>2</sup>	Irlanda <sup>c</sup>	6.212.195	Caribbean Airlines	Trinidad e Tobago <sup>a</sup>	1.268.879	Air Botswana	Botswana <sup>d</sup>	174.491
S Hapag Lloyd Flug	Alemanha <sup>c</sup>	6.009.126	Comair	EUA <sup>b</sup>	1.222.662	MAT	Macedônia <sup>c</sup>	165.735
Finnair Oyj <sup>2</sup>	Finlândia <sup>c</sup>	5.838.292	Icelandair	Islândia <sup>c</sup>	1.198.920	Air Tanzania	Tanzânia <sup>d</sup>	134.470
Philippine Airlines	Filipinas <sup>e</sup>	5.638.034	Maersk Air	Dinamarca <sup>c</sup>	1.173.810	Air Malawi	Malau <sup>d</sup>	104.711
Spanair	Espanha <sup>a</sup>	5.597.924	Lloyd Aéreo Boliviano	Bolívia <sup>a</sup>	1.138.893			

1 = Star Alliance 2 = One World 3 = Skyteam

a = América Latina b = EUA e Canadá c = Europa d = África e Oriente Médio e = Ásia-Pacífico

Figura 13: Classificação das companhias aéreas consideradas de acordo com o porte de operação

Concluída a coleta de dados, procedeu-se para a realização da análise de correlação entre as variáveis, a fim de identificar conjuntos de valores que pudessem se comportar segundo um mesmo padrão. As Tabelas 13, 14 e 15 apresentam, respectivamente, os

resultados dessa análise para os conjuntos de empresas com alto, médio e baixo registro de movimentação de passageiros.

Tabela 13: Análise de correlação para empresas de grande porte

	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
<b>FUN</b>	1						
<b>FRO</b>	0,950***	1					
<b>HRS</b>	0,944***	0,989***	1				
<b>FRT</b>	0,220	0,151	0,175	1			
<b>WLF</b>	-0,089	-0,233	-0,198	0,486***	1		
<b>RPK</b>	0,935***	0,923***	0,940***	0,372**	-0,060	1	
<b>PLF</b>	0,368**	0,248	0,271	0,363**	0,689***	0,426**	1

\*\*\* Correlação significativa a 0,01 (bi-caudal)

\*\* Correlação significativa a 0,05 (bi-caudal)

N = 33

Tabela 14: Análise de correlação para empresas de porte médio

	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
<b>FUN</b>	1						
<b>FRO</b>	0,616***	1					
<b>HRS</b>	0,592***	0,853***	1				
<b>FRT</b>	0,288**	0,245**	0,472***	1			
<b>WLF</b>	0,068	0,065	0,200*	0,362***	1		
<b>RPK</b>	0,564***	0,555***	0,775***	0,671***	0,415***	1	
<b>PLF</b>	0,105	0,031	0,190*	0,290**	0,674***	0,517***	1

\*\*\* Correlação significativa a 0,01 (bi-caudal)

\*\* Correlação significativa a 0,05 (bi-caudal)

\* Correlação significativa a 0,1 (bi-caudal)

N = 77

Tabela 15: Análise de correlação para empresas de pequeno porte

	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
<b>FUN</b>	1						
<b>FRO</b>	0,321**	1					
<b>HRS</b>	0,159	0,235	1				
<b>FRT</b>	0,294*	-0,027	0,102	1			
<b>WLF</b>	-0,179	0,143	0,139	-0,022	1		
<b>RPK</b>	0,391***	0,107	0,421***	0,382***	0,094	1	
<b>PLF</b>	-0,197	-0,162	0,136	0,068	0,711***	0,385***	1

\*\*\* Correlação significativa a 0,01 (bi-caudal)

\*\* Correlação significativa a 0,05 (bi-caudal)

\* Correlação significativa a 0,1 (bi-caudal)

N = 45

A partir dessa análise é possível perceber que, embora os indicadores referentes a funcionários, frota, horas voadas e RPK estejam altamente correlacionados para as grandes

companhias, essa ligação entre as variáveis vai sendo reduzida na medida em que o porte das empresas consideradas diminui, de modo a encontrarem-se níveis de correlação consideravelmente mais modestos na análise realizada para as empresas de pequeno porte. Essa constatação pode ser justificada, ao menos em parte, pelo fato de as companhias menores operarem de forma menos padronizada e previsível do que os seus pares maiores, enfrentando condições de operação bastante diferenciadas.

Tendo em vista a maior propensão da DEA para aplicações em que as variáveis de análise não apresentem uma vinculação tão forte, este trabalho considerou como DMUs exclusivamente as 45 companhias aéreas cujo tráfego anual de passageiros no período considerado esteja compreendido entre 100 mil e 1 milhão de passageiros. Como, para o caso das pequenas empresas, nenhum par de variáveis apresenta correlação muito elevada – sendo que o maior valor de  $R^2$  encontrado é pouco maior que 0,5 –, o conjunto de três *inputs* e quatro *outputs* definido previamente poderá ser, de fato, utilizado para concluir a respeito da eficiência das companhias amostradas, o que permite o encerramento da primeira fase da etapa aplicada.

Utilizando o conjunto de 45 companhias aéreas filiadas à Associação Internacional de Transporte Aéreo cujo volume de passageiros transportados no ano de 2002 esteve entre 100 mil e 1 milhão e cujas informações referentes ao número de funcionários e de aeronaves operacionais, horas voadas, total de carga transportada, número de passageiros-quilômetro pagos, taxas de aproveitamento de carga e de ocupação encontravam-se disponíveis na base de dados GAIA, procedeu-se à ‘Fase 2’ da aplicação da Análise Envoltória de Dados a fim de determinar quais unidades operavam em condições mais eficientes no período em questão. A primeira aplicação da DEA levou em consideração as técnicas CCR e BCC, prevendo retornos respectivamente constantes e variáveis à escala e orientação a *inputs*, objetivando assim oferecer produtos a partir da utilização da menor quantidade possível de insumos.

A aplicação do CCR e do BCC ao conjunto amostrado conduz aos resultados expressos na Tabela 16. Nas colunas encabeçadas pelas denominações das técnicas utilizadas, CCR e BCC, constam, respectivamente, os valores da eficiência geral, ou global, e da eficiência técnica pura, também caracterizada como eficiência local. Além desses índices, constam da tabela, complementarmente, os valores dos pesos virtuais atribuídos por cada unidade tomadora de decisão a cada variável de análise a fim de ter os maiores valores de eficiência global atribuídos a si. Esses valores, obtidos através da razão  $v_i x_{ik} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik}$  no caso dos insumos e  $u_r y_{rk} / \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$  no caso dos produtos, diferentemente dos pesos puros  $v$  e  $u$  utilizados na aplicação anterior a fim de determinar o Grau de Sustentabilidade

Nacional, são indicativos da importância relativa assumida por cada variável na construção da eficiência da unidade, apresentando, assim, um apelo gerencial mais forte.

Tabela 16: Resultado da aplicação do CCR e BCC à amostra estudada

DMU	CCR	BCC	Inputs virtuais CCR			Outputs virtuais CCR			
			FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
Air Caledonie	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,226	0,774	0	0,213	0	0,03	0,757
Air Tahiti	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,267	0,733	0	1	0	0	0
Air Tanzania	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,245	0,755	0	0,354	0	0	0,646
Bellview Airlines	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,263	0,737	0	0,92	0,08	0	0
Lauda Air	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0	0	1	0	0	1	0
LTU	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0	0,265	0,735	0,081	0,485	0,434	0
MAT	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0	0,88	0,12	0	1	0	0
Nigeria Airways	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,891	0,109	0	0,846	0	0,154	0
Surinam Airways	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	0,238	0,297	0,465	0,584	0	0,416	0
Air Austral	<b>0,936</b>	<b>0,957</b>	0,46	0	0,54	0,129	0	0	0,871
Air Luxor	<b>0,897</b>	<b>1,000</b>	1	0	0	0,075	0,609	0,316	0
Middle East Airlines	<b>0,842</b>	<b>1,000</b>	0,567	0,433	0	0,841	0	0,159	0
Polynesian Airlines	<b>0,784</b>	<b>0,786</b>	0,03	0,97	0	0,001	0,975	0	0,024
SATA-Air Açores	<b>0,777</b>	<b>0,785</b>	0	0	1	0,096	0	0	0,904
YEMENIA	<b>0,733</b>	<b>1,000</b>	0,395	0	0,605	0,826	0	0,174	0
Aero Asia	<b>0,693</b>	<b>0,714</b>	0	0,012	0,988	0,243	0	0,092	0,665
Air Malawi	<b>0,681</b>	<b>0,811</b>	0	0,496	0,504	0	0	0	1
Estonian Air	<b>0,609</b>	<b>0,687</b>	0,173	0,674	0,153	0	0	0	1
PLUNA	<b>0,606</b>	<b>0,609</b>	0,047	0,371	0,582	0,051	0	0,101	0,848
Air Namibia	<b>0,595</b>	<b>0,627</b>	1	0	0	0,621	0	0,379	0
Air Seychelles	<b>0,592</b>	<b>0,599</b>	0,64	0	0,36	0,502	0	0,498	0
Air Baltic	<b>0,587</b>	<b>0,681</b>	1	0	0	0	0,189	0	0,811
Air Botswana	<b>0,571</b>	<b>0,688</b>	0,186	0,662	0,152	0	0,158	0	0,842
Adria Airways	<b>0,571</b>	<b>0,576</b>	1	0	0	0,725	0	0,275	0
LAM	<b>0,552</b>	<b>0,558</b>	0	0	1	0,168	0	0,053	0,778
MIAT	<b>0,551</b>	<b>0,557</b>	0,014	0	0,986	0,131	0	0,125	0,743
Southern Winds	<b>0,442</b>	<b>0,445</b>	0,158	0,842	0	0,082	0	0	0,918
Regional Express	<b>0,418</b>	<b>0,475</b>	1	0	0	0,947	0	0	0,053
Austral Líneas Aéreas	<b>0,410</b>	<b>0,417</b>	1	0	0	0,588	0	0,412	0
Ukraine International	<b>0,399</b>	<b>0,477</b>	0,241	0,759	0	0,378	0	0,057	0,566
Samara Airlines	<b>0,394</b>	<b>0,400</b>	0,017	0	0,983	0,094	0	0,109	0,797
Libyan Arab Airlines	<b>0,390</b>	<b>0,430</b>	0	0,063	0,937	0,231	0,299	0,47	0
Belavia	<b>0,373</b>	<b>0,427</b>	0	0	1	0,091	0	0,058	0,851
Corse Méditerranée	<b>0,368</b>	<b>0,377</b>	1	0	0	0,079	0,522	0	0,398
Syrian Arab Airlines	<b>0,356</b>	<b>0,373</b>	0	0,003	0,997	0,239	0	0,761	0
Oman Aviation Services	<b>0,353</b>	<b>0,354</b>	0	0,089	0,911	0,086	0	0,321	0,593
Ghana Airways	<b>0,342</b>	<b>0,380</b>	0,324	0,172	0,504	0,578	0	0,422	0
Iran Aseman Airlines	<b>0,328</b>	<b>0,333</b>	0	0,046	0,954	0,027	0	0,256	0,717
FlyLAL	<b>0,325</b>	<b>0,367</b>	0,048	0,38	0,571	0,046	0	0,069	0,884
Air Kazakhstan	<b>0,308</b>	<b>0,328</b>	0,104	0	0,896	0,379	0	0,621	0
Tarom	<b>0,273</b>	<b>0,274</b>	0,13	0	0,87	0,325	0	0,675	0
Volare Airlines	<b>0,269</b>	<b>0,309</b>	0,024	0	0,976	0,006	0	0,241	0,753
Jat Airways	<b>0,236</b>	<b>0,251</b>	0	0,033	0,967	0,158	0	0,458	0,384
PGA	<b>0,208</b>	<b>0,226</b>	1	0	0	0,047	0,528	0,241	0,183
Luxair	<b>0,145</b>	<b>0,160</b>	0,006	0,478	0,517	0	0	0,073	0,927

De acordo com os resultados obtidos, doze companhias foram consideradas localmente eficientes e nove delas globalmente eficientes, embora a forma pela qual essa eficiência tenha sido atribuída gere pelo menos uma grande discussão. Especificamente no

que diz respeito à determinação da eficiência global, CCR, apenas uma DMU eficiente, a Surinam Airways, utilizou os três *inputs* disponíveis e nenhuma delas considerou os quatro *outputs* possíveis ao construir o seu índice de eficiência. Ao observar o conjunto total de 45 unidades avaliadas, percebe-se que nenhuma delas considerou as sete variáveis admissíveis para calcular a sua eficiência geral. Além disso, apenas para mencionar um exemplo, enquanto oito unidades atribuíram peso integral ao indicador referente ao número de funcionários contratados ao avaliar seus insumos, este indicador foi absolutamente negligenciado por outras treze companhias.

Estas são, como mencionado anteriormente, duas das principais limitações das técnicas DEA tradicionais, mas que felizmente podem ser contornadas a partir da utilização de modelos complementares. O primeiro a ser utilizado tem o objetivo de quebrar o empate existente entre as unidades globalmente eficientes determinando as DMUs que, mesmo quando avaliadas segundo os pesos ótimos das demais unidades, conseguem manter um alto índice de eficiência. O resultado dessa avaliação, realizada com o uso da Cross-Efficiency DEA, ou CE-DEA, é apresentado na Tabela 17, juntamente com o Índice de Falsa Positividade, indicativo de quanto a unidade se sobre-avaliou em relação às avaliações realizadas utilizando-se os pesos das demais unidades.

Tabela 17: Resultado da aplicação da CE-DEA à amostra estudada

DMU	CCR	CE	FPI	DMU	CCR	CE	FPI
Bellview Airlines	1,000	0,929	7,70%	Austral Líneas Aéreas	0,410	0,320	28,17%
Lauda Air	1,000	0,867	15,29%	MIAT	0,551	0,316	74,43%
Surinam Airways	1,000	0,817	22,46%	Air Baltic	0,587	0,310	89,44%
Air Caledonie	1,000	0,804	24,32%	Ukraine International	0,399	0,295	35,07%
Nigeria Airways	1,000	0,773	29,38%	Ghana Airways	0,342	0,272	25,63%
Air Tanzania	1,000	0,728	37,34%	Air Luxor	0,897	0,266	237,88%
Air Austral	0,936	0,674	39,00%	Corse Méditerranée	0,368	0,243	51,09%
MAT	1,000	0,665	50,31%	Southern Winds	0,442	0,241	83,79%
Air Tahiti	1,000	0,565	76,90%	Oman Aviation Services	0,353	0,237	48,99%
Polynesian Airlines	0,784	0,547	43,33%	FlyLAL	0,325	0,218	48,92%
Aero Asia	0,693	0,471	47,03%	Syrian Arab Airlines	0,356	0,201	77,41%
SATA-Air Açores	0,777	0,443	75,68%	Air Kazakhstan	0,308	0,195	58,03%
LTU	1,000	0,435	129,99%	Samara Airlines	0,394	0,191	106,56%
PLUNA	0,606	0,434	39,71%	Libyan Arab Airlines	0,390	0,190	105,21%
Middle East Airlines	0,842	0,426	97,74%	Iran Aseman Airlines	0,328	0,187	75,32%
Estonian Air	0,609	0,407	49,59%	Tarom	0,273	0,184	47,86%
YEMENIA	0,733	0,407	79,93%	Regional Express	0,418	0,184	127,38%
Air Seychelles	0,592	0,406	45,76%	Belavia	0,373	0,159	134,68%
Air Malawi	0,681	0,390	74,73%	Jat Airways	0,236	0,144	64,32%
Air Namibia	0,595	0,365	62,77%	Volare Airlines	0,269	0,138	95,35%
Adria Airways	0,571	0,364	56,60%	PGA	0,208	0,127	64,27%
Air Botswana	0,571	0,346	64,94%	Luxair	0,145	0,091	59,65%
LAM	0,552	0,341	61,91%				

De acordo com essa avaliação, a nigeriana Bellview Airlines ocupa a posição de companhia mais eficiente, seguida pela austríaca Lauda Air e pela Surinam Airways do Suriname. As três companhias haviam empatado na primeira colocação segundo a avaliação CCR, junto com outras seis empresas, entre as quais a alemã LTU foi a pior classificada na avaliação da eficiência cruzada, com um índice de falsa positividade de 130%. A Air Luxor, do Egito, foi a que apresentou maior discrepância entre a auto-avaliação no CCR e a avaliação pelos seus pares na CE-DEA, efeito justificado pelo bom desempenho da companhia em poucos indicadores, mais especificamente número de funcionários e taxa de aproveitamento de carga. O posto de empresa aérea com pior desempenho na avaliação cruzada coube novamente à sua compatriota, a Luxair, que já havia sido considerada a companhia menos eficiente na avaliação CCR.

Como observado nos resultados expressos pela Tabela 16, além da questão do empate na determinação das unidades mais eficientes, os modelos tradicionais de DEA apresentam a limitação de permitirem que as variáveis sejam consideradas ou não por cada unidade de acordo, exclusivamente, com os seus próprios interesses. Esse problema, que pode conduzir a resultados de certo modo não condizentes com a realidade, pode ser resolvido mediante a atribuição de restrições aos pesos considerados. Desse modo, as unidades atribuirão pesos às variáveis de análise de acordo com algumas considerações realizadas previamente, o que aumenta o significado dos resultados obtidos com o modelo. Tendo em vista a possibilidade de se ter elementos para trabalhar com uma restrição direta ao grau de importância atribuído a cada indicador, uma vez que os mesmos apresentam relações consideravelmente claras entre si, a técnica escolhida para esta aplicação consiste na atribuição de restrições à flexibilidade de pesos dos *inputs* e *outputs* virtuais.

As restrições aos pesos virtuais de cada variável de análise utilizada neste trabalho, são possibilitadas pelo uso do Método de Análise Hierárquica, ou AHP, que, através da realização da confrontação das importâncias relativas de cada par de indicadores para o sucesso de uma meta, permite o estabelecimento de um vetor de ponderação para os fatores constituintes de cada elemento na hierarquia superior do conjunto. A hierarquia considerada para o caso em estudo compreende três níveis e é ilustrada na Figura 14. Segundo essa estrutura, uma maior eficiência operacional por parte das companhias aéreas poderá ser viabilizada pelo alcance dos resultados desejados, viabilizado a partir da utilização de alguns insumos, a serem minimizados, componentes da base hierárquica.

Diferentemente das aplicações comumente realizadas com o AHP, esta dissertação considera uma interação de dois sentidos entre os níveis inferiores da hierarquia. Desse modo,



além de avaliar cada um dos quatro produtos sob a ótica dos insumos disponíveis, o caminho inverso também será percorrido, verificando em que grau cada insumo contribui com o desempenho dos produtos considerados.

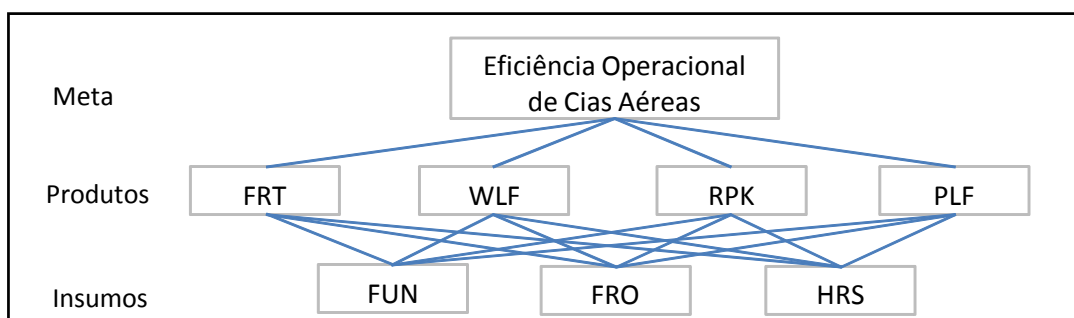


Figura 14: Hierarquia proposta para a execução do AHP

As Tabelas 18, 19 20 e 21 documentam o grau de importância atribuído a cada recurso para que os resultados apresentados por cada produto sejam melhorados. As avaliações foram realizadas com o apoio de dois profissionais da indústria do transporte aéreo e são apresentadas segundo a escala sugerida por Saaty (1994). O valor CR apresentado juntamente a cada matriz de avaliação diz respeito à taxa de consistência dos julgamentos realizados. O peso consiste no resultado da aplicação do AHP, refletindo a importância de cada insumo na obtenção de resultados para cada produto. Todas as avaliações foram realizadas com auxílio do *software* Expert Choice®.

Tabela 18: Recursos necessários para aumentar FRT

	FUN	FRO	HRS	Peso
FUN	1	1/2	1/4	0,137
FRO	2	1	1/3	0,239
HRS	4	3	1	0,623
CR = 0,02 soma = 1				

Tabela 20: Recursos necessários para aumentar RPK

	FUN	FRO	HRS	Peso
FUN	1	1/3	1/6	0,100
FRO	3	1	1/2	0,300
HRS	6	2	1	0,600
CR = 0,00 soma = 1				

Tabela 19: Recursos necessários para aumentar WLF

	FUN	FRO	HRS	Peso
FUN	1	1	1/2	0,250
FRO	1	1	1/2	0,250
HRS	2	2	1	0,500
CR = 0,00 soma = 1				

Tabela 21: Recursos necessários para aumentar PLF

	FUN	FRO	HRS	Peso
FUN	1	2	1/2	0,297
FRO	1/2	1	1/3	0,164
HRS	2	3	1	0,539
CR = 0,01 soma = 1				

A partir desse resultado, tem-se a constatação de que o indicador referente às horas de voo acumuladas pelas companhias aéreas no ano apresenta o papel mais destacado na obtenção dos resultados apresentados pelas quatro variáveis de *output* consideradas neste

estudo. A quantidade de aeronaves em operação aparece como segundo insumo mais importante para a quantidade absoluta de movimentação de carga e para o total de passageiros-quilômetros pagos, além de dividir a posição com o número de funcionários no que se refere à taxa de aproveitamento de peso das aeronaves. A importância do número de funcionários, julgada menor na obtenção de resultados referentes às quantidades absolutas de transporte de passageiros e carga, ganha algum destaque ao se projetar as taxas de ocupação e aproveitamento, possivelmente devido à maior necessidade de planejamento de rotas e outros serviços que garantam o uso mais racional dos equipamentos disponíveis.

Analogamente, as Tabelas 22, 23 e 24 documentam o grau de importância atribuído à melhora de cada produto a partir de cada insumo estudado. As avaliações seguem as mesmas especificações colocadas para as Tabelas 18, 19, 20 e 21, sendo que o peso passa a refletir como cada produto é melhorado a partir da utilização dos insumos disponibilizados.

Tabela 22: Produtos melhorados pelo uso de FUN

	<b>FRT</b>	<b>WLF</b>	<b>RPK</b>	<b>PLF</b>	<b>Peso</b>
<b>FRT</b>	1	1/2	2	1/4	0,143
<b>WLF</b>	2	1	3	1/2	0,264
<b>RPK</b>	1/2	1/3	1	1/5	0,087
<b>PLF</b>	4	2	5	1	0,506
CR = 0,01 soma = 1					

Tabela 23: Produtos melhorados pelo uso de FRO

	<b>FRT</b>	<b>WLF</b>	<b>RPK</b>	<b>PLF</b>	<b>Peso</b>
<b>FRT</b>	1	2	1/3	3	0,233
<b>WLF</b>	1/2	1	1/4	2	0,140
<b>RPK</b>	3	4	1	5	0,542
<b>PLF</b>	1/3	1/2	1/5	1	0,085
CR = 0,02 soma = 1					

Tabela 24: Produtos melhorados pelo uso de HRS

	<b>FRT</b>	<b>WLF</b>	<b>RPK</b>	<b>PLF</b>	<b>Peso</b>
<b>FRT</b>	1	4	2	3	0,456
<b>WLF</b>	1/4	1	1/3	1/2	0,094
<b>RPK</b>	1/2	3	1	3	0,303
<b>PLF</b>	1/3	2	1/3	1	0,146
CR = 0,03 soma = 1					

A observação desses resultados permite a conclusão de que cada produto depende em graus bastante distintos de cada um dos insumos disponíveis. Pode-se, por exemplo, observar que a taxa de ocupação das aeronaves é um resultado importante e dependente do número de funcionários, embora o número de passageiros-quilômetros pagos não seja tão influenciado por esse insumo. Em geral, esses resultados permitem considerações que ratificam as obtidas com o primeiro conjunto de tabelas, o que, considerando adicionalmente os baixos valores de CR (menores do que 0,1) encontrados para ambos os casos, valida as ponderações realizadas.

Nesse momento, pode-se proceder à determinação dos limites inferiores e superiores dos pesos virtuais para a aplicação do modelo DEA. Esses limites são expressos a partir da

consideração, respectivamente, do menor e do maior peso atribuído pela análise com o AHP para cada variável e são operacionalizados pela incorporação das seguintes restrições aos modelos DEA utilizados a partir desse momento:

$$0,100 \leq v_1 x_{1k} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0,297$$

$$0,164 \leq v_2 x_{2k} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0,300$$

$$0,500 \leq v_3 x_{3k} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0,623$$

$$0,143 \leq u_1 y_{1k} / \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \leq 0,456$$

$$0,094 \leq u_2 y_{2k} / \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \leq 0,264$$

$$0,087 \leq u_3 y_{3k} / \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \leq 0,542$$

$$0,085 \leq u_4 y_{4k} / \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \leq 0,506$$

A inclusão dessas restrições determina limites dentro dos quais os pesos dos *inputs* e *outputs* devem estar compreendidos nas análises de eficiência. Os resultados do CCR considerando restrições aos pesos são apresentados na Tabela 25. Complementando os resultados obtidos pela determinação da eficiência geral, ou global, permitida pelo CCR, a Tabela 25 apresenta, ainda, os resultados da eficiência de escala alcançada por cada DMU. Essa, por sua vez, é obtida através da divisão do índice de eficiência geral, calculado pelo CCR, pela eficiência técnica pura, ou local, ambos considerando as restrições aos pesos virtuais – RPV.

#### 4.2.3 Etapa de Controle

A análise dos resultados obtidos, integrantes da etapa de controle da sistemática proposta, permite concluir que, das doze DMUs julgadas localmente eficientes na análise inicial, apenas sete mantêm esse *status* ao introduzirem-se as restrições aos pesos virtuais. Ao considerar-se adicionalmente a eficiência de escala, resultando na eficiência geral, calculada pelo CCR, apenas três companhias, duas nigerianas e uma do Suriname, seguem sendo eficientes, operando, portanto, na escala adequada de operação, ou seja, utilizando uma quantidade de insumos compatível com o nível de produção praticado. Quatro companhias, com destaque para a MAT, da Macedônia, são tecnicamente eficientes, mas operam fora da escala ideal. Por outro lado, seis empresas alcançaram altos valores de eficiência de escala – maiores que 0,99 – mesmo não tendo sido consideradas localmente eficientes, o que pode

significar uma necessidade de as mesmas atentarem para questões de gerenciamento interno. Como visto na literatura, a eficiência técnica pura, ou local, reflexo das práticas internas de gestão, é obtida pela razão entre a eficiência global e a de escala.

Tabela 25: Resultados da introdução de restrições aos pesos na análise DEA das unidades amostradas

DMU	RPV-CCR	RPV-BCC	Ef Escala	DMU	RPV-CCR	RPV-BCC	Ef Escala
Bellview Airlines	1,000	1,000	<b>1,000</b>	Air Luxor	0,366	0,366	<b>0,999</b>
Nigeria Airways	1,000	1,000	<b>1,000</b>	Air Baltic	0,362	0,509	<b>0,711</b>
Surinam Airways	1,000	1,000	<b>1,000</b>	Air Tahiti	0,358	0,380	<b>0,944</b>
Air Caledonie	0,910	1,000	<b>0,910</b>	Southern Winds	0,353	0,374	<b>0,945</b>
LTU	0,814	0,831	<b>0,980</b>	Oman Aviation Services	0,332	0,333	<b>0,999</b>
Lauda Air	0,770	0,809	<b>0,952</b>	Ghana Airways	0,328	0,361	<b>0,910</b>
Air Austral	0,767	0,869	<b>0,883</b>	Libyan Arab Airlines	0,322	0,328	<b>0,983</b>
Air Tanzania	0,755	1,000	<b>0,755</b>	Syrian Arab Airlines	0,315	0,362	<b>0,869</b>
Polynesian Airlines	0,636	0,721	<b>0,882</b>	Air Botswana	0,302	0,609	<b>0,495</b>
Aero Asia	0,588	0,594	<b>0,991</b>	Corse Méditerranée	0,288	0,336	<b>0,857</b>
YEMENIA	0,545	0,986	<b>0,552</b>	Samara Airlines	0,279	0,324	<b>0,860</b>
PLUNA	0,543	0,632	<b>0,859</b>	Air Kazakhstan	0,270	0,270	<b>1,000</b>
Middle East Airlines	0,533	1,000	<b>0,533</b>	Iran Aseman Airlines	0,256	0,283	<b>0,906</b>
Air Seychelles	0,495	0,496	<b>0,998</b>	FlyLAL	0,256	0,357	<b>0,716</b>
Air Malawi	0,455	0,777	<b>0,586</b>	Tarom	0,252	0,255	<b>0,986</b>
Estonian Air	0,447	0,606	<b>0,738</b>	Belavia	0,250	0,332	<b>0,752</b>
SATA-Air Açores	0,444	0,629	<b>0,706</b>	MAT	0,229	1,000	<b>0,229</b>
MIAT	0,436	0,474	<b>0,921</b>	Regional Express	0,209	0,251	<b>0,830</b>
LAM	0,429	0,486	<b>0,883</b>	Jat Airways	0,199	0,213	<b>0,937</b>
Air Namibia	0,428	0,498	<b>0,859</b>	PGA	0,145	0,179	<b>0,808</b>
Adria Airways	0,404	0,434	<b>0,930</b>	Volare Airlines	0,120	0,251	<b>0,478</b>
Ukraine International	0,379	0,461	<b>0,822</b>	Luxair	0,044	0,135	<b>0,325</b>
Austral Líneas Aéreas	0,373	0,375	<b>0,993</b>				

A fim de permitir que as companhias atinjam resultados mais satisfatórios, algumas saídas adicionais obtidas com a utilização da Análise Envoltória de Dados podem ser utilizadas. Uma dessas saídas diz respeito aos valores-alvo a serem perseguidos para que as unidades consideradas ineficientes se tornem eficientes. A partir desses dados tem-se, por exemplo, que a companhia aérea Luxair, pior colocada no *ranking* RPV-BCC, alcançaria a fronteira de eficiência se, mantendo os resultados apresentados, reduzisse seu quadro funcional para 250 colaboradores, tivesse sua frota cortada para apenas duas unidades e voasse 5.336 horas por ano, cortes que oscilam entre 86% e 88% dos valores originalmente apresentados. Já a Portugália Airlines, ou PGA, deveria cortar seus insumos entre 80% e 84%. A francesa Air Austral, por outro lado, que está relativamente próxima à fronteira de eficiência, deveria cortar seu quadro funcional em 1,8% e rever sua frota e número de horas voadas em, respectivamente, 18,4% e 17,8%.

Esses resultados, embora não devam ser encarados como absolutos em si, uma vez que cada empresa atua sob determinadas condições, podem servir como base para o corpo gerencial tomar decisões que privilegiem um melhor desempenho da organização em relação

aos seus pares. Ainda utilizando-se os resultados obtidos com a aplicação da DEA, é possível determinar em quais unidades eficientes cada uma das demais deveria se espelhar a fim de alcançar desempenhos superiores. Com isso, de acordo com o *software* utilizado, tem-se que as companhias MAT e Bellview são referência, respectivamente, para 25 e 23 outras empresas, fazendo delas os principais *benchmarks* do conjunto amostrado. Para maiores detalhes sobre a determinação de *benchmarks* através da DEA, sugere-se consultar Hwang e Cheng (2003).

Finalmente, a fim de quebrar o empate existente entre as unidades ditas eficientes a partir da aplicação do modelo DEA com restrições aos pesos virtuais e assumindo retornos constantes à escala de produção, pode-se lançar mão da aplicação da Super Eficiência. Os resultados obtidos, conforme apresentado na Tabela 26, apontam para uma vantagem da Nigeria Airways sobre a Bellview Airlines e a Surinam Airways, de Suriname. Os valores obtidos para as unidades não eficientes foram omitidos por serem idênticos aos encontrados para a RPV-CCR, apresentados na Tabela 25.

Tabela 26: Resultados da aplicação da SE-DEA às companhias eficientes

<b>DMU</b>	<b>SE-RPV-CCR</b>
Nigeria Airways	2,184
Bellview Airlines	1,224
Surinam Airways	1,188

Fazendo uma análise geral dos resultados encontrados para a eficiência geral das companhias aéreas classificadas como pequenas ao serem aplicadas as restrições aos pesos virtuais, observa-se que entre as sete empresas da Ásia-Pacífico – AP, três figuram entre as dez melhores colocadas e apenas uma está entre as dez piores. Complementando a amostra, tanto a África e Oriente Médio – AOM – quanto a Europa apresentam dezessete unidades, sendo que dessas, quatro AOM e duas européias alcançaram a ponta de cima da classificação, enquanto no extremo oposto encontram-se oito companhias européias e apenas uma AOM. Entre as quatro companhias latino-americanas consideradas, apenas uma aparece entre as dez primeiras classificadas, enquanto nenhuma delas consta entre as últimas. Assim, pode-se considerar que, enquanto a zona da Ásia-Pacífico apresenta o melhor desempenho entre as regiões geográficas mundiais, cabe à Europa a pior classificação nesse aspecto. Entre as companhias integrantes das principais alianças globais, apenas uma delas, a austríaca Lauda Air, da Star Alliance, encontra-se no grupo das pequenas empresas, atingindo um resultado razoavelmente bom.

A título ilustrativo, apesar de os indicadores correspondentes às companhias classificadas como de médio e grande porte apresentarem correlação mais elevada e, portanto, retornarem efeitos de significado mais limitado ao aplicar-se técnicas de DEA, apresentam-se, sucintamente, os resultados encontrados para ambos os casos. O objetivo dessa apresentação consiste em verificar se a origem geográfica das companhias aéreas ou a aliança às quais estão vinculadas apresentam alguma relação com a eficiência determinada pela técnica proposta.

Na Tabela 27 observa-se o resultado da aplicação da super-eficiência com restrições aos pesos virtuais para as companhias de porte médio. A partir da sua observação, nota-se que, apesar de algumas exceções como a Corse Air, Icelandair e Virgin Atlantic, as companhias de origem europeia figuram com índices bastante modestos na análise, sendo que das 29 empresas do continente classificadas como de médio porte, 17 aparecem nas 25 últimas colocações, acompanhadas por quatro da AP, três latinas e uma da AOM. Por outro lado, onze das dezenove companhias da AP e sete das quinze da AOM constam entre as 25 mais eficientes, fazendo dessas as regiões melhor colocadas para esse conjunto de unidades. A então ativa VASP, do Brasil, alcançou apenas a 51ª posição entre as 77 unidades amostradas.

Tabela 27: SE-DEA das empresas de porte médio avaliadas com restrição aos pesos

DMU	SE-RPV-CCR	DMU	SE-RPV-CCR	DMU	SE-RPV-CCR
Corse Air	1,277	ACES	0,450	CSA	0,249
Air Macau	1,239	Air Jamaica	0,440	Turkish Airlines	0,246
SriLankan Airlines	0,887	Aloha Airlines	0,436	Hainan Airlines	0,246
Icelandair	0,883	China Airlines	0,435	Air New Zealand	0,243
Royal Brunei	0,810	Croatia Airlines	0,425	Rossiya	0,235
Air Mauritius	0,732	Air Malta	0,414	SN Brussels Airlines	0,227
Qatar Airways	0,689	GB Airways	0,405	Austrian	0,225
El Al	0,676	Xiamen Airlines	0,383	Indian Airlines	0,219
Virgin Atlantic	0,657	Pakistan International	0,361	Aeroflot	0,218
Biman Bangladesh	0,652	Garuda Indonesia	0,354	LOT	0,215
Continental Micronesia	0,645	Ethiopian Airlines	0,350	Finnair Oyj	0,211
Eva Airways	0,638	Siberia Airlines	0,335	Air Algérie	0,208
Dragon Airlines	0,637	Tunis Air	0,332	Aeromexico	0,206
Lloyd Aéreo Boliviano	0,635	Maersk Air	0,331	Jet Airways	0,205
Kuwait Airways	0,624	Aer Lingus	0,317	bmi (British Midland)	0,201
Gulf Air	0,570	Egyptair	0,296	SAS Norge	0,199
Royal Jordanian	0,561	South African Airways	0,296	TACA	0,196
Comair	0,549	Lan Airlines	0,293	Mexicana	0,195
Philippine Airlines	0,521	Avianca	0,293	Olympic Airlines	0,189
Air India	0,511	MALEV	0,287	Meridiana	0,166
Cyprus Airways	0,511	Royal Air Maroc	0,281	Spanair	0,100
Shanghai Airlines	0,508	Iran Air	0,274	Wideroe Flyveselskap	0,091
China Yunnan	0,490	TAP-Air Portugal	0,268	Jersey European Airways	0,083
Emirates	0,469	Aerolíneas Argentinas	0,258	Skyways AB	0,075
Caribbean Airlines	0,455	VASP	0,253	Hapag Lloyd Flug	0,044
Kenya Airways	0,453	Aeropostal	0,251		

Surpreendentemente, nenhuma das nove empresas de porte médio pertencentes a uma das três principais alianças globais no ano de 2002 aparece nas quarenta primeiras colocações. As duas melhores colocadas, Aer Lingus, da Irlanda, e LAN, do Chile, são membros da One World e ocupam apenas as 41ª e 44ª posição no ranking, seguidas pela tcheca CSA, do Sky Team, na 53ª, e pela neo-zelandesa Air New Zealand, da Star Alliance, na 56ª colocação. As demais empresas-membro dessas alianças se distribuem até a septuagésima colocação e apontam para uma indicação de que, levando em consideração as variáveis consideradas neste estudo, pertencer a uma aliança global não significa atingir uma alta eficiência operacional.

Passando a considerar exclusivamente as empresas de grande porte, ou seja, aquelas com movimentação anual superior a dez milhões de passageiros, têm-se uma situação interessante. Como observado na Tabela 28, as dez empresas classificadas como mais eficientes estão baseadas na AP, sendo que a pior colocada entre as treze companhias dessa região amostradas nesse conjunto, a China Southern, ainda ocupa a 16ª colocação. Em contrapartida, na extremidade oposta, onde estão as dez companhias julgadas menos eficientes, encontram-se oito empresas norte-americanas e duas européias. A holandesa KLM, na 13ª, e a Air Canada, na 22ª posição foram as companhias oriundas da Europa e América do Norte melhor posicionadas. As brasileiras Varig e TAM figuram, respectivamente, na 14ª e 23ª colocação.

Tabela 28: SE-DEA das empresas de grande porte avaliadas com restrição aos pesos

DMU	SE-AR-CCR	DMU	SE-AR-CCR	DMU	SE-AR-CCR
Asiana Airlines	1,223	Malaysia Airline	0,681	TAM Linhas Aéreas	0,332
Cathay Pacific	1,093	KLM	0,630	Air France	0,330
Singapore Airlines	1,042	Varig	0,620	Northwest Airlines	0,313
Korean Air Lines	0,970	Qantas Airways	0,577	SAS	0,300
Thai Airways	0,927	China Southern Airlines	0,527	Alaska Airlines	0,272
Japan Airlines	0,877	SWISS	0,523	United Airlines	0,268
Air China Limited	0,860	Lufthansa	0,406	Continental Airlines	0,204
Japan Air System	0,816	Alitalia	0,375	Delta Air Lines	0,198
All Nippon Airways	0,761	Iberia	0,373	US Airways	0,156
China Eastern	0,752	British Airways	0,358	American Airlines	0,142
Saudi Arabian Airlines	0,690	Air Canada	0,342	America West	0,140

Quanto à eficiência apresentada pelas empresas integrantes das grandes alianças mundiais, a verificação do caso das grandes empresas não oferece um quadro claro a respeito da relação existente. Das 33 companhias da amostra, dezessete integram uma das três alianças, sendo que a melhor delas, Cathay Pacific, em 2º lugar, e a pior, American Airlines,

em 32º, pertencem ao mesmo grupo, a One World, que também tem membros figurando nas 15ª, 20ª e 21ª colocações. As quatro companhias afiliadas ao Sky Team ocupam posições tão distintas quanto a 4ª, no caso da Korean Air Lines, e a 30ª, para a Delta. A situação não é alterada ao verificar-se o comportamento das integrantes da Star Alliance, cuja eficiência oscila da 3ª à 28ª posição, no caso, respectivamente, da Singapore e da United Airlines.

Desse modo, verificando-se os índices de eficiência obtidos para cada companhia aérea avaliada de grande, médio e pequeno porte, não é possível verificar uma relação que aponte conclusivamente para o fato de uma empresa aérea estar associada a outras através de uma aliança contribuir com o aumento de sua eficiência operacional. Contudo, as evidências obtidas com a realização deste estudo apontam no sentido de invalidar tal argumento.

A verificação da origem das companhias de transporte aéreo mais eficientes, em contrapartida, parece apontar claramente para o fato de a mesma interferir no nível de eficiência operacional alcançado pelas empresas. Em todos os casos analisados, os melhores resultados foram alcançados por companhias oriundas das regiões da África e Oriente Médio e, principalmente, Ásia-Pacífico, com os piores resultados vindos das companhias européias e norte-americanas. Contudo, deve-se ressaltar que os dados obtidos como base para a condução deste estudo referem-se ao ano de 2002, quando a indústria de transporte aéreo em todo o mundo enfrentava um momento de crise iniciado com um pequeno período de recessão e agravado profundamente pelos episódios de 11 de setembro de 2001 e as ameaças que se seguiram. Essa crise sabidamente afetou com maior intensidade os negócios das companhias baseadas justamente na Europa e, sobretudo, na América do Norte, onde as empresas tiveram que reagir com vigor a fim de contornar as dificuldades enfrentadas. Assim, os resultados apresentados nesta dissertação não devem ser vistos como um diagnóstico a respeito da saúde das companhias estudadas mas, mais proximamente, como um retrato da situação enfrentada num dado momento tomando-se como base alguns elementos específicos a respeito das mesmas.

### **4.3 DISCUSSÃO**

Através do emprego de vários tipos de medidas de desempenho, Wang (2006) afirma que as corporações podem avaliar a eficiência e efetividade de seus processos de negócio em vista de seus objetivos estratégicos. Além disso, ferramentas de medição de desempenho podem auxiliar os negócios a avaliar seus processos de alocação de recursos de modo a



determinar como os mesmos podem ser melhor gerenciados e distribuídos para os canais apropriados.

Indivíduos que já tenham trabalhado em diversas organizações ou têm razões para ingressar e sair das mesmas, costumam apreciar que haja diferenças na formas como as pessoas se comportam e como as atividades são desempenhadas nesses ambientes diversos. Coletivamente, essas diferenças integram a cultura organizacional, definida por Risher (2007) como o conjunto de valores e normas compartilhadas pelas pessoas e grupos em uma organização e que controlam a forma como elas interagem com as demais, com os processos internos e com contatos fora da companhia. Contudo, embora algumas variantes na cultura encontrada por diferentes empresas sejam benéficas e bem-vindas, deve-se atentar para que determinados elementos da mesma não comprometam os resultados entregues.

Se um corte pudesse ser feito em uma empresa típica em qualquer horário do dia de trabalho, contadores seriam vistos com planilhas e calculadoras, planejadores com modelos econômicos, analistas monitorando processos, profissionais de RH conduzindo avaliações, enfim, a lista seria interminável. Cada departamento desenvolve processos de medição para lidar com suas próprias demandas, sendo que as medidas e muitas das ferramentas são feitas sob medida para entregar a métrica necessária para operacionalizar e monitorar cada aspecto das atividades organizacionais. Entretanto, muitas dessas métricas tratam de questões similares e acabam por duplicar o trabalho feito por outras medidas. Nesses casos, é possível que as definições de medidas, as dimensões das características medidas e as unidades de medida acabem sendo diferentes. Isso significa que, possivelmente, alguém trabalhe exclusivamente entendendo as diferenças sutis entre essas medidas e configurando os dados (BROOKS, 2006).

Uma forma interessante de eliminar uma parcela significativa desse desperdício de recursos pode se dar através da criação uma base de dados unificada de todas as medidas utilizadas em cada parte da organização. A operacionalização dessa idéia pode ocorrer por meio da definição das medidas necessárias e da consolidação do conjunto de dados englobado por cada medida, estabelecendo uma forma de conduzir a avaliação dos dados levantados.

Este capítulo trouxe duas aplicações da sistemática proposta para a utilização da Análise Envoltória de Dados na análise do desempenho. A principal utilidade da mesma pode ser percebida na estruturação de uma seqüência de passos a ser seguida por qualquer indivíduo interessado em fazer uso da técnica DEA como ferramenta de análise multicriterial capaz de avaliar o desempenho de unidades de natureza corporativa ou não. A adoção da sistemática sugerida permite que a base de dados unificada, citada anteriormente, seja

construída e utilizada efetivamente como elemento identificador de oportunidades de melhoria no âmbito dos cenários estudados.

Quanto ao primeiro caso estudado, cabe destacar a falta de consenso existente na literatura com relação a diversos pontos referentes ao conceito de sustentabilidade, como conseqüência de o mesmo ainda não ter atingido um estágio de maturidade plena. Um exemplo dessa situação pode ser identificado ao perceber que os termos domínio, dimensão e perspectiva – sendo este o termo adotado como padrão neste trabalho, por ser o de aparição mais freqüente na literatura consultada – são utilizados como sinônimos pela maioria dos autores para tratar cada macro componente da sustentabilidade. Além disso, também não há consenso quanto ao que deva ser incluído em cada perspectiva considerada. A renda e o emprego, por exemplo, são consistentemente adotados tanto para a avaliação do nível de bem-estar da população, integrando o conjunto de indicadores relativos à qualidade de vida, como para medir o desempenho das economias nacionais. Assim, a análise considerada neste estudo assumiu que, enquanto a renda *per capita* influencia diretamente o bem-estar dos cidadãos, o nível de desemprego serve mais fortemente como termômetro do desempenho econômico, de modo que foram considerados respectivamente, como integrantes das perspectivas social e econômica. Analogamente, os demais indicadores adotados foram alocados às perspectivas consideradas.

No tocante aos resultados alcançados por essa primeira aplicação, tem-se que o GSN, indicador do Grau de Sustentabilidade Nacional proposto através do uso da DEA, é uma abordagem inovadora para tratar de uma questão amplamente discutida globalmente: a forma por meio da qual as diversas nações do planeta promovem o seu desenvolvimento. A observação do resultado final trazido pelo GSN, bem como dos indicadores intermediários referentes a cada uma das perspectivas avaliadas individualmente, permite diversas análises de interesse para a gestão pública. Trazendo especificamente o caso dos quatro países do Mercosul avaliados – Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai – percebe-se que, apesar de alcançarem um resultado final de sustentabilidade bastante semelhante, há existência de distorções significativas no que diz respeito ao desempenho segundo cada perspectiva avaliada. Como conseqüência, há espaço para que ações sejam promovidas internamente entre as nações do bloco a fim de compreender e aplicar práticas adotadas por seus vizinhos que viabilizem uma maior homogeneização de resultados nos âmbitos social, econômico e ambiental e que, por conseguinte, acarretem uma elevação dos seus índices geral de sustentabilidade.

Apesar de o resultado final conseguido com a proposta do GSN ter sido positivo, por estabelecer uma medida de como as nações desempenham face à questão da sustentabilidade, deve-se ter em mente que o indicador não tem a pretensão de constituir uma medida definitiva, uma vez que apresenta algumas limitações. A principal delas possivelmente diga respeito ao fato de a ferramenta usada na sua constituição, a DEA, ser baseada em programação linear, ou seja, são assumidas relações de proporcionalidade entre as variáveis, o que sabidamente não é o caso do relacionamento entre todas as variáveis assumidas dessa forma. Desse modo, embora seu resultado aparentemente indique uma relação aderente à realidade percebida e coerente com alguns dos indicadores tradicionalmente utilizados para a avaliação individual de cada perspectiva, esse indicador, do modo como foi concebido, deveria ser utilizado apenas como um complemento na avaliação da sustentabilidade das nações. Outro ponto a ser considerado é a adoção da média geométrica entre as perspectivas consideradas ter sido utilizada para determinar o GSN. Em situações análogas, caso a equipe de trabalho considere que o uso de ferramentas como o AHP seja justificado para obter resultados mais aderentes à realidade, pode-se lançar mão de tais instrumentos.

No que diz respeito à avaliação da eficiência em companhias de transporte aéreo, avaliada sob o ponto de vista operacional, também cabem algumas considerações. A razão para ter-se privilegiado a avaliação de indicadores operacionais em detrimento dos demais já foi discutida anteriormente e encontra suporte adicional em Hammer (2007), que declara ser a medida do desempenho operacional um problema ainda não resolvido. O fato de um comprometimento sério com a melhora do desempenho exigir um comprometimento igualmente sério com o desenvolvimento e a utilização de medidas operacionais efetivas, comentado pelo autor ao destacar que o desenvolvimento e utilização de métricas para monitorar e melhorar o desempenho operacional é uma dos problemas mais persistentes enfrentados pelas organizações, corrobora a decisão tomada.

Os resultados obtidos a partir da aplicação da sistemática proposta para esse caso podem ser assumidos como mais fiéis à realidade do que aqueles encontrados para o caso da sustentabilidade. Isso se deve ao fato de as relações previstas pela DEA serem, de certo modo, aderentes às efetivamente existentes entre as variáveis consideradas nesse estudo, uma vez que há maior consenso a respeito dos pontos avaliados. Além disso, a utilização do AHP como ferramenta de suporte à DEA, neste caso, permitiu o estabelecimento de relações de certo modo menos subjetivas entre as variáveis/indicadores avaliadas. Ainda assim, a aplicação da técnica DEA da forma realizada, ignora alguns elementos importantes para a real avaliação da eficiência operacional das companhias. O porte das aeronaves operadas, por

exemplo, não é considerado diretamente, embora acabe refletido na taxa de ocupação das mesmas. Por esse motivo, a avaliação operacional não é suficiente para realizar uma avaliação completa do setor, sendo comumente reconhecida a relevância de se conduzir, em paralelo, uma análise financeira e, eventualmente, outra de satisfação a fim avaliar o setor sob um prisma mais amplo. De qualquer modo, os resultados encontrados com respeito às companhias pertencentes às principais alianças globais parecem ir ao encontro dos achados na literatura de que não há diferença significativa entre as mesmas e mesmo entre as empresas filiadas ou não a essas alianças.

Quanto à utilização da sistemática proposta no terceiro capítulo como forma de resolver os casos apresentados anteriormente, pode-se afirmar que a mesma responde satisfatoriamente às necessidades enfrentadas por um interessado em desenvolver estudos com base na DEA, sendo, portanto, validada. A etapa preliminar da sistemática, como observado em ambas as aplicações, está fundamentada na identificação do problema a ser estudado pela equipe de trabalho e na subsequente uniformização de conceitos e clarificação de aspectos voltados ao ambiente que envolve o caso estudado, sendo complementada pela identificação de instrumentos a serem utilizados na análise, definidos através da execução de testes-piloto para os modelos a serem utilizados. Em ambas as aplicações esta etapa foi plenamente atendida.

A primeira fase da etapa aplicada, embora conduzida de acordo com as particularidades exigidas por cada caso, acabou seguindo os mesmos procedimentos bases. A fase posterior, voltada à execução propriamente dita dos modelos de análise envoltória de dados, acabou permitindo a apresentação de modos consideravelmente distintos de abordar os problemas, de acordo com as necessidades específicas encontradas. Na primeira aplicação, utilizou-se tanto o modelo tradicional, CCR, seguido pela incorporação de restrições aos pesos através da técnica *cone-ratio*. Adicionalmente, essa aplicação contemplou a utilização do *super-efficiency* DEA, a fim de permitir a quebra no empate verificado nas avaliações. No caso subsequente, lançou-se mão tanto do CCR como do BCC, permitindo uma avaliação a respeito da eficiência de escala das companhias. Além das técnicas mais tradicionais, esse cenário permitiu o uso tanto da *cross-efficiency* quanto da *super-efficiency* DEA, além da atribuição de restrição aos pesos virtuais, viabilizado pela utilização conjunta do AHP com a análise envoltória de dados.

Ambas as aplicações comprovaram que o atendimento à seqüência de passos sugerida na sistemática permite a resolução dos problemas propostos. Uma evidência comprovada através dos estudos realizados neste trabalho diz respeito ao fato de, embora

sejam de aplicação mais simplista em relação às desenvolvidas posteriormente, as técnicas tradicionais CCR e BCC retornarem resultados nem sempre condizentes com aquilo que pode ser considerado razoável, principalmente no tocante às ponderações assumidas pelos indicadores de desempenho, as variáveis de análise. Desse modo, pode-se afirmar que, embora demande uma maior quantidade de esforços em sua execução, os modelos que visam suprir algumas das carências encontradas pelos tradicionais, as evoluções da DEA justificam esse empenho adicional com a disponibilização de resultados potencialmente mais aderentes à realidade.

No que tange à etapa de controle, executada apenas parcialmente, cabe uma consideração. Embora este trabalho tenha contemplado exclusivamente a fase de análise e interpretação de resultados, um estudo completo pode considerar a retroalimentação do sistema e a verificação de projetos capazes de promover a melhoria dos resultados obtidos pela unidade-alvo do estudo. Um exemplo de retroalimentação seria, voltando ao primeiro caso estudado, a realização de comparações parciais entre o IDH e a eficiência quanto à perspectiva social do GSN, entre o GCI e a perspectiva econômica do GSN e entre o EPI e a perspectiva ambiental do GSN. O passo final da última fase foi omitido deste trabalho devido ao fato de se tratarem de estudos com o intuito de verificar a situação geral das unidades, e não especificamente de uma unidade em relação às demais.

A aplicação de qualquer modelo de avaliação de desempenho deve contemplar a prática de *feedback* aos envolvidos e interessados na avaliação. A realização de *feedbacks* tem sua importância defendida por diversos autores. Retomando a afirmação de Carlzon (2005), tem-se que nenhum homem pode ser responsável se não tiver tido acesso à informação, mas que, por outro lado, nenhum homem a quem a informação tiver sido transmitida pode deixar de se sentir responsável pelos resultados obtidos. Desse modo, o compartilhamento de informações pode gerar dividendos interessantes às corporações, na forma de um maior comprometimento por parte dos envolvidos na melhora do desempenho.

Finalmente, deve-se lembrar que a decisão acerca do que precisa ser medido é como uma ciência, conforme enfatizado por Hammer (2007). Decidir como medir, entretanto, lembra o autor, permanece sendo uma arte, uma vez que, em geral, existem muitas maneiras de colocar um número em um fenômeno julgado digno de medição. Folan, Browne e Jagdev (2007) ponderam acerca da existência de uma idéia implícita na literatura de que o desempenho é algo de alguma forma constante, o qual não deveria ser questionado; com isso, analisam os autores, os gestores são levados a jogar com as medidas de desempenho ao invés de questionar as exigências básicas que constituem o desempenho para eles. Henri (2006), por

sua vez, alega que sistemas de medição do desempenho têm um papel-chave no desenvolvimento de planos estratégicos e avaliação do alcance dos objetivos organizacionais. Segundo o autor, enquanto muitas organizações tentam implementar novos sistemas de medição, poucas consideraram essa implementação como um processo corrente a ser gerenciado continuamente, não apenas na fase inicial.

Com isso, tem-se que a avaliação do desempenho de forma constante, buscando a otimização dos processos que regem as organizações, quantificando esse desempenho de modo a atender as necessidades de monitoramento e garantindo a disseminação dos resultados entre todos os envolvidos nas atividades, pode se converter numa aliada de peso na busca pela melhoria contínua. Seja no comando de um Estado, no gerenciamento de uma grande multinacional, ou ainda no controle de uma pequena organização sem fins lucrativos onde a avaliação do desempenho deva assumir um papel destacado, a sistemática proposta neste trabalho, alicerçada sobre uma técnica de comparação entre unidades denominada análise envoltória de dados, apresenta elementos contributivos para que se persiga a tão almejada excelência.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo trata a respeito das principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho, além de apresentar, complementarmente, algumas sugestões para a realização de trabalhos futuros.

### **5.1 CONCLUSÕES**

Este trabalho versou sobre a análise de indicadores de desempenho, destacando o uso da análise envoltória de dados – DEA – em aplicações de naturezas diversas. A proposição de uma sistemática para a utilização da DEA que pudesse ser replicada em aplicações distintas, objetivo geral deste trabalho, foi realizada no terceiro capítulo desta dissertação, com base nas informações levantadas na literatura.

A sistemática proposta foi validada por meio de duas aplicações a cenário reais, contemplando assim um dos objetivos específicos traçados no início do trabalho. Na primeira das aplicações, avaliando o nível de sustentabilidade das nações, buscou-se realizar uma aplicação inovadora, que fugisse ao padrão tradicional de utilização da ferramenta estudada. Nesse caso, as unidades tomadoras de decisão, ou DMUs, foram consideradas não como empresas ou unidades internas dentro das organizações, mas sim como entidades consideravelmente mais complexas, os países do globo.

Partindo da noção de que o conceito de sustentabilidade é ainda vago e discutível, e que por essa razão pode-se beneficiar do trabalho conjunto de diversas disciplinas, este trabalho buscou contribuir com a compreensão do tema e com o estabelecimento de métricas que viabilizem a sua mensuração por meio do uso de ferramentas de competência compartilhada pela Engenharia de Produção. Tendo como principal elemento motivacional o desejo de prestar alguma contribuição à compreensão e à avaliação dessa questão que assume uma importância crescente nas discussões acerca dos planos de desenvolvimento governamentais, este trabalho leva à proposição de um novo índice para a avaliação do nível de sustentabilidade alcançado pelas nações do planeta, em relação aos seus pares globais, o GSN.

A segunda aplicação, contemplando o caso das empresas de transporte aéreo, embora tenha seguido uma abordagem mais tradicional, no meio empresarial, permitiu um estudo mais rico no que se refere à quantidade de modelos de análise envoltória utilizada. Como principal resultado prático desse estudo foi possível identificar as companhias aéreas operacionalmente mais eficientes em cada grupo analisado – pequenas, médias e grandes

empresas – assim como inferir a respeito dos fatos de a origem geográfica das companhias e de serem afiliadas a alguma das grandes alianças globais influenciarem o nível de eficiência das mesmas.

A averiguação quanto à possibilidade de aplicação conjunta da DEA com outras técnicas de análise multicriterial, outro objetivo específico, foi realizada por meio de uma revisão da literatura sobre métodos multicriteriais de decisão, ou MCDM. Diversas técnicas foram estudadas, sendo que o foco acabou recaindo sobre o AHP. A comprovação de que ambas as técnicas – DEA e AHP – podem ser utilizadas conjuntamente se deu na aplicação que contemplou o estudo de eficiência em companhias de transporte aéreo. Nessa aplicação, o AHP foi utilizado com sucesso para determinar os limites inferior e superior dos pesos atribuídos a cada uma das variáveis consideradas no estudo, suprimindo com sucesso uma carência não resolvida pelo uso isolado da DEA.

O bem-sucedido atendimento dos objetivos geral e específicos deste trabalho contribui com uma maior disseminação do uso da DEA através da proposta de uma sistemática simplificada para o uso da mesma, e da possibilidade de utilização conjunta com outras técnicas. Adicionalmente, a pesquisa realizada a fim de construir a sistemática proposta, fundamentada em um volume considerável de artigos publicados nos últimos trinta anos, contribui com a constituição de uma base de informações sobre a DEA agora disponível para consulta por quem venha a se interessar na sua aplicação.

## **5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Devido, principalmente, à limitação de alguns fatores, como o tempo, e à falta de alinhamento com o objetivo central deste trabalho, alguns estudos pertinentes deixaram de ser aqui desenvolvidos. Entre as sugestões existentes para a realização de trabalhos futuros, destacam-se:

- Verificação da aplicabilidade da sistemática proposta a empresas individuais, comparando setores ou departamentos das mesmas;
- Verificação da aplicabilidade da sistemática proposta em uma empresa com diversas unidades, comparando as filiais;
- Utilização de outros métodos de análise multicriterial, além do AHP, conjuntamente ao DEA.



- Utilização de desdobramentos mais avançados do AHP, como o IAHP e VAHP em conjunto com a DEA, de modo a aumentar a flexibilidade da sistemática proposta;
- Aplicar o GSN, buscando uma melhor compreensão da situação de sustentabilidade nos municípios brasileiros, comparando os resultados com outros indicadores, como o IDH;
- Reavaliar do caso das empresas aéreas, utilizando-se dados mais recentes, a fim de avaliar se os resultados obtidos neste estudo (especialmente para empresas de maior porte) estão sob a influência de condições específicas, como a proximidade com o 11 de setembro, e se as companhias alteraram de modo significativo o seu desempenho. Além disso, sugere-se a adoção de indicadores que complementem os operacionais, utilizados neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, N.; FRIEDMAN, L.; SINUANY-STERN, Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 140, n. 2, p. 249-65, jul. 2002.
- AL-FARAJ, T. N. Vendor Selection by means of data envelopment analysis. **The Business Review**, Cambridge, v. 6, n. 1, p. 70-7, dez. 2006.
- ALDERIGHI, M.; CENTO, A. European airlines conduct after September 11. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 10, n. 2, p. 97-107, mar. 2004.
- ALLEN, R.; ATHANASSOPOULOS, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. **Annals of Operations Research**, [S.l.], v. 73, n. 0, p. 13-34, out. 1997.
- ALTMAYER, C. Moving to performance-based management. **Government Finance Review**, Chicago, v. 22, n. 3, p. 8-14, jun. 2006.
- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. **Management Science**, Linthicum, v. 39, n. 10, p. 1261-4, out. 1993.
- ANSOFF, H. I.; DECLERCK, R. P.; HAYES, R. L. **Do planejamento estratégico à administração estratégica**. São Paulo: Atlas, 1981. 272p.
- ANSOFF, H. I.; McDONNELL, E. J. **Implantando a administração estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1993. 592p.
- ARÊAS, D. B. **Avaliação do ensino superior da Engenharia de Produção da UFRJ usando DEA e uma abordagem qualitativa**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSON, B.; LEVIN, S.; MÄLER, K.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 15, n. 2, p. 91-5, nov. 1995.
- ASMILD, M.; PARADI, J. C.; REESE, D. N.; TAM, F. Measuring overall efficiency and effectiveness using DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 178, n. 1, p. 305-21, abr. 2007.
- ATKINSON, G.; HAMILTON, K. Savings, growth and the resource curse hypothesis. **World Development**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1793-1807, nov. 2003.
- AZADEH, A.; GHADERI, S. F.; IZADBAKHS, H. Integration of DEA and AHP with computer simulation for system improvement and optimization: the case of a railway system.

In: 35<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2005, Istanbul. **Proceedings**. Istanbul, 2005.

BACKX, M.; CARNEY, M.; GEDAJLOVIC, E. Public, private and mixed ownership and the performance of international airlines. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 8, n. 4, p. 213-20, jul. 2002.

BAKER, R. C.; TALLURI, S. A closer look at the use of data envelopment analysis for technology selection. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 32, n. 1, p. 101-8, jan. 1997.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Linthicum, v. 30, n. 9, p. 1078-92, set 1984.

BANKER, R. D.; CHANG, H.; COOPER, W. W. Equivalence and implementation of alternative methods for determining returns to scale in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 473-81, mar. 1996.

BANKER, R. D.; COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; THRALL, R. M.; ZHU, J. Returns to scale in different DEA models. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 154, n. 2, p. 345-62, abr. 2004.

BARROS, C. P. Productivity growth in the Lisbon police force. **Public Organization Review**, Dordrecht, v. 6, n. 1, p. 21-35, mar. 2006.

BARROS, C. P.; GARCIA, M. T. M. Performance evaluation of pension funds management companies with data envelopment analysis. **Risk Management and Insurance Review**, Mount Vernon, v. 9, n. 2, p. 165-88, outono 2006.

BECKER, R. A.; DENBY, L.; MCGILL, R.; WILKS, A. R. Analysis of data from the places rated almanac. **The American Statistician**, Washington, v. 41, n. 3, p. 169-86, ago. 1987.

BELL, S.; MORSE, S. **Sustainability indicators: measuring the immeasurable?** Londres: Earthscan, 1999. 175p.

BERLINER, C.; BRIMSON, J. A. **Gerenciamento de custos em indústrias avançadas: base conceitual CAM-I**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. 282p.

BERNROIDER, E.; STIX, V. A method using weight restrictions in data envelopment analysis for ranking and validity issues in decision making. **Computers & Operations Research**, New York, v. 34, n. 9, p. 2637-47, set. 2007.

BONELLI, R.; FLEURY, P. F.; FRITSCH, W. Indicadores microeconômicos do desempenho competitivo. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 3-19, abr.-jun. 1994.

BOWLING, A. What things are important in people's living? A survey of the public's judgments to inform scales of health related quality of life. **Social Science & Medicine**, [S.l.], v. 41, n. 10, p. 1447-62, nov. 1995.

BROCKETT, P. L.; CHARNES, A.; COOPER, W. W.; HUANG, Z. M.; SUN, D. B. Data transformations in DEA cone ratio envelopment approaches for monitoring bank performances. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 250-68, abr. 1997.

BROOKS, M. Performance measurement. **Financial Management**, Albany, [S.v.], [S.n.], p. 36-7, maio 2006.

CARLZON, J. **A Hora da Verdade**. 2.ed. Rio de Janeiro: Sextante, 2005. 140p.

- CAMPOS, J. A. **Cenário Balanceado**: painel de indicadores para a gestão estratégica dos negócios. São Paulo: Aquariana, 1998. 184p.
- CAMPOS, V. F. **TQC**: controle da qualidade total (no estilo japonês). 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1993. 240p.
- CHANG, Y.; YEH, C. Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making. **Omega**, Amsterdam, v. 29, n. 5, p. 405-15, out. 2002.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429-44, nov. 1978.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. **Management Science**, Linthicum, v. 27, n. 6, p. 668-97, jun. 1981.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; HUANG, Z. M.; SUN, D. B. Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 46, n. 1-2, p. 73-91, out.-nov. 1990.
- CHEN, U. Ranking discovered rules from data mining with multiple criteria by data envelopment analysis. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 33, n. 4, p. 1110-6, nov. 2007.
- COLE, R. Smart growth: the opportunity for managers to lead. **Public Management**, Lawrence, v. 89, n. 8, p. 8-11, set. 2007.
- CRAVENS, K.; PIERCY, N.; CRAVENS, D. Assessing the performance of strategic alliances: matching metrics to strategies. **European Management Journal**, Kidlington, v. 18, n. 5, p. 529-41, out. 2000.
- DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. **Econometrica**, Menasha, v. 19, n. 3, p. 273-92, jul. 1951.
- DE PREE JR, C. M.; JUDE, R. K. A tool to help insurance company management assess attorney efficiency and productivity. **CPCU Journal**, Malvern, v. 48, n. 3, p. 155-62, outono 1995.
- DEY, P. K.; HARIHARAN, S.; CLEGG, B. T.; Measuring the operational performance of intensive care units using the analytic hierarchy process approach. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 26, n. 8, p. 849-65, 2006.
- DIENER, E.; SUH, E. Measuring quality of life: economic, social, and subjective indicators. **Social Indicators Research**, Dordrecht, v. 40, n. 1-2, p. 189-216, jan. 1997.
- DOYLE, J.; GREEN, R. Efficiency and cross-efficiency in DEA: derivations, meanings and uses. **The Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 45, n. 5, p. 567-78, 1994.
- DREW, S. A. W. From knowledge to action: the impact of benchmarking on organizational performance. **Long Range Planning**, Kidlington, v. 30, n. 3, p. 427-41, jun. 1997.
- EDVINSSON, L.; MALONE, M. S. **Capital intelectual**: descobrindo o valor real de uma empresa pela identificação de seus valores internos. São Paulo: Makron Books, 1998. 230p.
- EHRlich, P. J. Modelos quantitativos de apoio às decisões – II. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 44-52, abr.-jun. 1996.

- ELING, M. Performance measurement of hedge funds using data envelopment analysis. **Financial Markets and Portfolio Management**, Boston, v. 20, n. 4, p. 442-71, dez. 2006.
- ENTANI, T.; ICHIHASHI, H.; TANAKA, H.. Optimistic priority weights with an interval comparison matrix. In: JSAI 2001 Workshop on New Frontiers in Artificial Intelligence, 2001. **Proceedings**. Londres: Springer-Verlag, 2001. p. 344-8.
- ERTAY, T.; RUAN, D.; TUZKAYA, U. R. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. **Information Sciences**, New York, v. 176, n. 3, p. 237-62, fev. 2006.
- FAHY, F.; CINNÈIDE, M. Ó. Developing and testing an operational framework for assessing quality of life. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.l.], v. 28, n. 6, p. 366-79, ago. 2008.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; SICKLES, R. C. Productivity? of US airlines after deregulation. **Journal of Transport Economics and Policy**, Bath, v. 41, n. 1, p. 93-112, jan. 2007.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society - Series A**, Londres, v. 120, n. 3, p. 253-90, 1957.
- FELCE, D.; PERRY, J. Quality of life: its definition and measurement. **Research in Developmental Disabilities**, Kidlington, v. 16, n. 1, p. 51-74, jan.-fev. 1995.
- FENG, C.; WANG, R. Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 6, n. 3, p. 133-42, jul. 2000.
- FERRIER, G. D.; ROSKO, M. D.; VALDMANIS, V. G. Analysis of uncompensated hospital care using a DEA model of output congestion. **Health Care Management Science**, Bussum, v. 9, n. 2, p. 181-8, maio 2006.
- FOLAN, P.; BROWNE, J.; JAGDEV, H. Performance: its meaning and content for today's business research. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 58, n. 7, p. 605-20, set. 2007.
- FRANCIS, G.; HUMPHREYS, I.; FRY, J. The nature and prevalence of the use of performance measurement techniques by airlines. **Journal of Air Transportation Management**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 207-17, jul. 2005.
- GASS, S. I. Model World: the great debate – MAUT versus AHP. **Interfaces**, Linthicum, v. 35, n. 4, p. 308-12, jul.-ago. 2005.
- GATTOUFI, S.; ORAL, M.; KUMAR, A.; REISMAN, A. Content analysis of data envelopment analysis literature and its comparison with that of other OR/MS fields. **The Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 55, n. 9, p. 911-35, set. 2004.
- GCR. **Global Competitiveness Report**. Disponível em: <[http://www.weforum.org/pdf/gcr/gci\\_structure\\_2008-2009.pdf](http://www.weforum.org/pdf/gcr/gci_structure_2008-2009.pdf)> Acesso em: 25 jul. 2008.
- GHALAYINI, A. M.; NOBLE, J. S. The changing basis of performance measurement. **International Journal of Operations & Research Management**, Bradford, v.16, n. 8, p. 63-80, mar. 1996.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas. 2002. 175p.
- GITTELL, J. H.; CAMERON, K.; LIM, S.; RIVAS, V. Relationships, Layoffs, and Organizational Resilience: Airline Industry Responses to September 11. **The Journal of Applied Behavioral Science**, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 300-29, set. 2006.

- GOH, S.; RICHARDS, G. Benchmarking the learning capability of organizations. **European Management Journal**, Kidlington, v. 15, n. 3, p. 575-83, out. 1997.
- GOLANY, B.; YU, G. Estimating returns to scale in DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 28-37, nov. 1997.
- GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **A Corrida Pela Vantagem Competitiva**. 1.ed.rev. São Paulo: Educator, 1992. 184p.
- GRASSO, M.; CANOVA, L. **An assessment of the quality of life in the European Union based on the social indicators approach**. Università degli Studi di Milano Bicocca. Working Papers, mar. 2007.
- GREEN, R. H.; DOYLE, J. R.; COOK, W. D. Preference voting and project ranking using DEA and cross-evaluation. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 461-72, maio 1996.
- GREGORIOU, G. N. Optimization of the largest US mutual funds using data envelopment analysis. **Journal of Asset Management**, Londres, v. 6, n. 6, p. 445-55, mar. 2006.
- GUDMUNDSSON, S. V.; LECHNER, C. Multilateral airline alliances: balancing strategic constraints and opportunities. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 12, n. 3, p. 153-8, maio 2002.
- GUDMUNDSSON, S. V.; OUM, T. H. Airline networks and alliances for strategic performance. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 11, n. 3, p. 125-6, maio 2005.
- GUO, J.; LIU, J.; QIU, L. Research on Supply Chain performance evaluation based on DEA/AHP model. In: 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing (APSCC'06), 2006, Guangzhou. **Proceedings**. Los Alamitos: IEEE, 2006.
- HAMMER, M. The 7 deadly sins of performance measurement and how to avoid them. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v. 48, n. 3, p. 18-28, primavera 2007.
- HANSEN, P. B. **Indicadores de desempenho gerencial**. Apostila (Projeto Gestão Empresarial e Qualidade), Porto Alegre: SENAI / FIERGS, 1995.
- HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993. 368p.
- HDR. **Human Development Report**. Disponível em: < <http://hdrstats.undp.org/buildtables/>> Acesso em: 08 jul. 2008a.
- HDR. **Human Development Reports Supporting Statements**. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/quotes/>> Acesso em: 08 jul. 2008b.
- HENRI, J. Are your performance measurement systems truly performing? **CMA Management**, [S.l.], v. 80, n. 7, p. 31-35, nov. 2006.
- HOFF, A. Second stage DEA: comparison of approaches for modeling the DEA score. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 181, n. 1, p. 425-35, ago. 2007.
- HRONEC, S. M. **Sinais vitais: usando medidas de desempenho da qualidade, tempo e custo para traçar a rota para o futuro de sua empresa**. São Paulo: Makron Books, 1994. 256p.
- HSIAO, S.; SU, S. An evaluation of investment performance and financial standing for life insurers in Taiwan. **Journal of American Academy of Business**, Cambridge, v. 10, n. 1, p. 278-84, set. 2006.

- HSU, C.; SHEN, M.; CHEN, M.; CHAO, C. A study on the relationship between corporate governance mechanisms and management effectiveness. **The Business Review**, Cambridge, v. 6, n. 1, p. 208-17, dez. 2006.
- HWANG, S.; CHENG, T. Using data envelopment analysis to measure hotel managerial efficiency change in Taiwan. **Tourism Management**, Guildford, v. 24, n. 4, p. 357-69, ago. 2003.
- ISLAM, S. M. N.; MUNASINGHE, M.; CLARKE, M. Making long-term economic growth more sustainable: evaluating the costs and benefits. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 47, n. 2-3, p. 149-66, dez. 2003.
- JABLONSKY, J. Measuring efficiency of production units by AHP models. In: 8<sup>th</sup> International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, 2005, Honolulu. **Proceedings**. Honolulu: University of Hawaii, 2005.
- JAHANSHAHLOO, G. R.; VIEIRA JÚNIOR, H.; LOTFI, F. H.; AKBARIAN, D. A new DEA ranking system based on changing the reference set. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 181, n. 1, p. 337-7, ago. 2007.
- JOHNSON, H. T.; KAPLAN, R. S. **Contabilidade gerencial: a restauração da relevância da contabilidade nas empresas**. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 239p.
- KAO, C.; WU, W.; HSIEH, W.; WANG, T.; LIN, C.; CHEN, L. Measuring the national competitiveness of Southeast Asian countries. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 187, n. 2, p. 613-28, jun. 2008.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Organização orientada para a estratégia: como as empresas que adotam o Balanced Scorecard prosperam no novo ambiente de negócios**. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 416p.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação: Balanced Scorecard**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 360p.
- KENNEDY, F.; OWENS-JACKSON, L.; BURNEY, L.; SCHOON, M. How do your measurements stack up to lean? **Strategic Finance**, Montvale, v. 88, n. 11, p. 32-41, maio 2007.
- KIMURA, H.; SUEN, A. S. Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriteriais. **RAE-Eletrônica**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-18, jan.-jun. 2003.
- KORHONEN, P.; TOPDAGI, H. **Performance of the AHP in comparison of gains and losses**. Helsinki School of Economics. Working Papers W-332, set. 2005.
- LAZZARINI, S. G. The impact of membership in competing alliance constellations: evidence on the operational performance of global airlines. **Strategic Management Journal**, Chichester, v. 28, n. 4, p. 345-67, abr. 2007.
- LEBAS, M. J. Performance measurement and performance management. **International journal of production economics**, Amsterdam, v. 41, n. 1-3, p. 23-35, out.1995.
- LEE, R. G.; DALE, B. G. Business process management: a review and evaluation. **Business Process Management Journal**, Bradford, v. 4, n. 3, p. 214-25, 1998.
- LEUTHESSER, L.; KOHLI C. Corporate Identity: the role of mission statements. **Business Horizons**, Greenwich, v. 40, n. 3, p. 59-66, maio-jun. 1997
- LIEDTKA, S. L. Analytic hierarchy process and multi-criteria performance management systems. **Cost Management**, Boston, v. 19, n. 6, p. 30-8, nov.-dez. 2005.

- LIU, F. F.; HAI, H. L. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 308-17, set. 2005.
- LOZANO, S.; VILLA, G. Determining a sequence of targets in DEA. **The Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 56, n. 12, p. 1439-47, dez. 2005.
- LU, W; LO, S. A closer look at the economic-environmental disparities for regional development in China. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 183, n. 2, p. 882-94, dez. 2007.
- MACEDO, M. A. S.; SANTOS, R. M.; SILVA, F. F. Avaliação de desempenho organizacional: utilizando análise envoltória de dados (DEA) em informações financeiras e não financeiras. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 24, 2004, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: UFSC, 2004. 1 CD-ROM.
- MACKENZIE-WILLIAMS, P. Aviation benchmarking: issues and industry insights from benchmarking results. **Benchmarking: an international journal**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 112-27, 2005.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento de pesquisas; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados. 5. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2002. 282p.
- McLEAN, D. The operational efficiency of passenger aircraft. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, Londres, v. 78, n. 1, p. 32-8, 2006.
- MIN, H.; FOO, S. F. Benchmarking the operational efficiency of third party logistics providers using data envelopment analysis. **Supply Chain Management**, Bradford, v. 11, n. 3, p. 259-65, 2006.
- MIN, H.; MIN, H. Benchmarking the quality of hotel services: managerial perspectives. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [S.l.], v. 14, n. 6, p. 582-97, 1997.
- MIRANDA, L. C.; SILVA, J. D. G. Medição de desempenho. In: SCHMIDT, Paulo (org.). **Controladoria**: agregando valor para a empresa. Porto Alegre: Bookman, 2002. 262p. cap. 7, p.131-153.
- MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Applied Probability and Statistics for Engineers**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 822p.
- MORRISH, S. C.; HAMILTON, R. T. Airline alliances – who benefits? **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 8, n. 6, p. 401-7, nov. 2002.
- MÜLLER, C. J. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos (MEIO – Modelo de Estratégia, Indicadores e Operações)**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- NEELY, A. The search for meaningful measures. **Management Services**, [S.l.], v. 51, n. 2, p. 14-7, verão 2007.
- NEELY, A. **Measuring business performance**: what, why and how. Londres: Profile Books, 1998. 224p.
- ONU – Organização das Nações Unidas. **Human development report 2007/2008**. Disponível em: <[hdr.undp.org/en/media/HDR\\_20072008\\_EN\\_Complete.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_EN_Complete.pdf)> Acesso em: 14 ago. 2008.



- OUM, T. H.; YU, C. A productivity comparison of the world's major airlines. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 2, n. 3-4, p. 181-95, set.-dez. 1995.
- PLOSSL, G. W. **Managing in the new world of manufacturing**: how companies can improve operations to compete globally. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991. 189p.
- RABBANI, M.; SORKHAB, M. D.; VAZIFEH, A. Project Evaluation and selection for investment using integrated AHP and DEA approaches. In: 35<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2005, Istanbul. **Proceedings**. Istanbul, 2005.
- RAFAELI, L.; MÜLLER, C. J. Estruturação de um índice consolidado de desempenho utilizando o AHP. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 363-77, maio-ago. 2007.
- RILEY JR, R. A.; PEARSON, T. A.; TROMPETER, G. The value relevance of non-financial performance variables and accounting information: the case of the airline industry. **Journal of Accounting and Public Policy**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 231-54, maio-jun. 2003.
- RISHER, H. Managing to create a performance culture. **Public Management**, Lawrence, v. 89, n. 5, p. 25-29, jun. 2007.
- SALOMON, V. P.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, E. O. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. In Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 19, 1999, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999.
- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991. 367p.
- SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, Linthicum, v. 24, n. 6, p. 19-43, nov.-dez. 1994.
- SANJEEV, G. M. Does banks' size matter in India? **Journal of Services Research**, Gurgaon, v. 6, n. 2, p. 135-44, out. 2006 – mar. 2007.
- SARICA, K.; OR, I. Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. **Energy**, [S.l], v. 32 n. 8, p. 1484-99, ago. 2007.
- SARRICO, C. S.; DYSON, R. G. Restricting virtual weights in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 159, n. 1, p. 17-34, nov. 2004.
- SCHEFCZYK, M. Operational performance of airlines: an extension of traditional measurement paradigms. **Strategic Management Journal**, Chichester, v. 14, n. 4, p. 301-17, maio 1993.
- SCHERAGA, C. A. Operational efficiency versus financial mobility in the global airline industry: a data envelopment and Tobit analysis. **Transportation Research Part A**, Kidlington, v. 38, n. 5, p. 383-404, jun. 2004.
- SCHNEIDER, M. The "quality of life" and social indicators research. **Public Administration Review**, Chicago, v. 36, n. 3, p. 297-305, maio-jun. 1976.
- SEYDEL, J. Data envelopment analysis for decision support. **Industrial Management & Data Systems**, Wembley, v. 106, n. 1, p. 81-95, 2006.
- SHANG, J.; SUEYOSHI, T. A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 85, n. 2, p. 297-315, set. 1995.
- SHANMUGAN, R.; JOHNSON, C. At a crossroad of data envelopment and principal component analyses. **Omega**, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 351-64, ago. 2007.

- SHERALI, H. D.; BISH, E. K.; ZHU, X. Airline fleet assignment concepts, models, and algorithms. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 172, n. 1, p. 1-30, jul. 2006.
- SIGALA, M.; AIREY, D.; JONES, P.; LOCKWOOD, A. ICT paradox lost? A stepwise DEA methodology to evaluate technology investments in tourism settings. **Journal of Travel Research**, Boulder, v. 43, n. 2, p. 180-92, nov. 2004.
- SILVA, E. G.; COSTA, J. S. Are voters rationally ignorant? An empirical study of Portuguese local elections. **Portuguese Economic Journal**, Berlin, v. 5, n. 1, p. 31-44, maio 2006.
- SINUANY-STERN, Z.; MEHREZ, A.; HADAD, Y. An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. **International Transactions in Operational Research**, Oxford, v. 7, n. 2, p. 109-24, mar. 2000.
- SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planejamento e medição para performance**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993. 356p.
- SIRGY, M. J. Materialism and quality of life. **Social Indicators Research**, Dordrecht, v. 43, n. 3, p. 227-60, mar. 1998.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997. 726p.
- SMITH, M. Performance Management Methodology. **Business Credit**, Columbia, v. 107, n. 10, p. 54-5, nov.-dez. 2005.
- SPANGENBERG, J. H.; OMANN, I.; HINTERBERGER, F. Sustainable growth criteria: minimum benchmarks and scenarios for employment and the environment. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 42, n. 32, p. 429-43, set. 2002.
- STEWART III, G. B. **The Quest for Value: A Guide for Senior Managers**. New York: HarperBusiness, 1991. 800p.
- STEWART, T. A. **Capital intelectual: a nova vantagem competitiva das empresas**. 10 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- SUEYOSHI, T. Measuring the industrial performance of Chinese cities by data envelopment analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 75-88, abr. 1992.
- TALLURI, S.; YOON, K. P. A cone-ratio approach for AMT justification. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 119-29, jun. 2000.
- THOMPSON, R. G.; SINGLETON JR, F. D.; THRALL, R. M.; SMITH, B. A. Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. **Interfaces**, Linthicum, v. 16, n. 6, p. 35-49, nov.-dez. 1986.
- THOMPSON, R. G.; LANGEMEIER, L. N.; LEE, C.; LEE, E.; THRALL, R. M. The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 46, n. 1-2, p. 93-108, out.-nov. 1990.
- THOMPSON, R. G.; DHARMAPALA, P. S.; ROTHENBERG, L. J.; THRALL, R. M. DEA/AR efficiency and profitability of 14 major oil companies in U.S. exploration and production. **Computers & Operations Research**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 357-73, abr. 1996.
- TIERNAN, S.; RHOADES, D.; WAGUESPACK, B. Airline alliance service quality performance – an analysis of US and EU member airlines. **Journal of Air Transport Management**, Kidlington, v. 14, n. 2, p. 99-102, mar. 2005.

TWF. **The World Factbook**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>> Acesso em: 08 jul. 2008.

UN. **United Nations Member States**. Disponível em: <<http://www.un.org/members/list.shtml>> Acesso em: 01 jul. 2008.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: an overview of applications. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 1-29, fev. 2006.

VOSS, C. A.; AHLSTRÖM, P.; BLACKMON, K. Benchmarking and operational performance: some empirical results. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 17, n. 10, p. 1046-58, 1997.

WANG, J. Corporate performance efficiency investigated by data envelopment analysis and balanced scorecard. **Journal of American Academy of Business**, Cambridge, v. 9, n. 2, p. 312-8, set. 2006.

WDI. **World Development Indicators**. Disponível em: <<http://ddp-ext.worldbank.org/ext/DDPQQ/member.do?method=getMembers&userid=1&queryId=135>> Acesso em: 08 jul. 2008.

WEF. **World Economic Forum – Global Competitiveness Index**. Disponível em: <<http://gcr.weforum.org/gcr>> Acesso em 14 ago. 2008.

WIND, Y.; SAATY, T. L. Marketing applications of the analytic hierarchy process. **Management Science**, Baltimore, v. 26, n. 7, p. 641-58, jul. 1980.

WONG, Y. B.; BEASLEY, J. E. Restricting weight flexibility in data envelopment analysis. **The Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 41, n. 9, p. 829-35, set. 1990.

YANG, T.; KUO, C. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 147, n. 1, p. 128-36, maio 2003.

YCELP. **Yale Center for Environmental Law and Policy – Environmental Performance Index**. Disponível em: < [http://www.yale.edu/epi/files/2008EPI\\_Data.xls](http://www.yale.edu/epi/files/2008EPI_Data.xls)> Acesso em: 14 ago. 2008.

YURDAKUL, M.; IÇ, Y. T. AHP approach in the credit evaluation of the manufacturing firms in Turkey. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 88, n. 3, p. 269-89, abr. 2004.

## **APÊNDICE A**

### **Tabelas complementares referentes ao estudo de sustentabilidade**

Este apêndice apresenta as bases de dados utilizadas para a realização da primeira aplicação da sistemática proposta nesta dissertação, referente ao estudo do grau de sustentabilidade das nações, convertidas para o modo normalizado. Além disso, apresenta os resultados completos da aplicação do modelo CCR-DEA às três perspectivas consideradas (social, econômica e ambiental), incluindo os pesos atribuídos a cada variável por cada uma das DMUs avaliadas.

### Base de dados normalizada referente à perspectiva social

	%edu	Gini	Desig	I/Fert	I/Analf	Fone	Web	\$ cap
África do Sul	0,505	0,919	0,197	0,053	0,004	0,499	0,143	0,185
Alemanha	0,430	0,396	0,041	0,350	0,050	0,982	0,596	0,645
Argentina	0,355	0,693	0,243	0,058	0,018	0,493	0,232	0,251
Armênia	0,299	0,523	0,048	0,112	0,083	0,183	0,069	0,092
Austrália	0,439	0,431	0,074	0,226	0,050	0,847	0,914	0,685
Áustria	0,514	0,368	0,041	0,279	0,025	0,910	0,636	0,725
Bélgica	0,570	0,396	0,049	0,451	0,050	0,821	0,599	0,666
Bolívia	0,598	0,837	1,000	0,042	0,004	0,202	0,068	0,075
Botsuana	1,000	0,891	0,256	0,062	0,003	0,315	0,045	0,309
Brasil	0,411	0,802	0,305	0,037	0,004	0,408	0,255	0,183
Bulgária	0,393	0,447	0,042	0,082	0,028	0,683	0,270	0,213
Canadá	0,486	0,454	0,056	0,235	0,050	0,708	0,681	0,725
Casaquistão	0,215	0,430	0,051	0,111	0,100	0,324	0,035	0,209
Chile	0,327	0,777	0,196	0,056	0,012	0,520	0,225	0,262
China	0,178	0,665	0,128	0,483	0,005	0,345	0,111	0,100
Cingapura	0,346	0,738	0,105	0,708	0,007	0,868	0,747	0,938
Colômbia	0,449	0,761	0,380	0,050	0,007	0,398	0,136	0,126
Coréia do Sul	0,430	0,496	0,046	0,872	0,024	0,819	0,895	0,468
Costa Rica	0,458	0,704	0,225	0,046	0,010	0,348	0,332	0,194
Dinamarca	0,794	0,339	0,048	0,557	0,050	0,983	0,690	0,706
El Salvador	0,262	0,741	0,342	0,041	0,003	0,307	0,122	0,109
Equador	0,093	0,651	0,267	0,040	0,006	0,367	0,062	0,136
Eslováquia	0,402	0,368	0,040	0,169	0,125	0,645	0,607	0,383
Eslovênia	0,561	0,339	0,035	0,511	0,167	0,779	0,713	0,513
Espanha	0,402	0,453	0,061	0,354	0,024	0,846	0,455	0,568
Estados Unidos	0,551	0,636	0,095	0,079	0,050	0,792	0,825	0,864
Estônia	0,495	0,481	0,064	0,155	0,250	0,849	0,671	0,398
Filipinas	0,252	0,648	0,092	0,070	0,007	0,273	0,071	0,064
Finlândia	0,607	0,368	0,033	0,351	1,000	0,852	0,699	0,666
França	0,551	0,396	0,054	0,472	0,050	0,813	0,563	0,626
Gana	0,505	0,557	0,084	0,058	0,001	0,086	0,024	0,026
Geórgia	0,271	0,571	0,092	0,108	1,000	0,236	0,051	0,089
Grécia	0,402	0,467	0,061	0,379	0,013	0,903	0,236	0,551
Holanda	0,505	0,437	0,055	0,695	0,050	0,869	0,967	0,726
Hungria	0,514	0,396	0,033	0,172	0,083	0,760	0,389	0,358
Índia	0,355	0,521	0,051	0,053	0,001	0,078	0,072	0,051
Indonésia	0,084	0,513	0,046	0,081	0,005	0,164	0,096	0,070
Irã	0,439	0,608	0,102	0,158	0,002	0,230	0,135	0,200
Irlanda	0,449	0,453	0,056	0,201	0,050	0,920	0,361	0,813
Israel	0,645	0,546	0,080	0,233	0,017	0,935	0,615	0,487
Itália	0,439	0,467	0,069	0,520	0,031	0,997	0,626	0,574
Jamaica	0,495	0,644	0,103	0,042	0,004	0,712	0,529	0,145
Japão	0,336	0,539	0,027	1,000	0,050	0,732	0,874	0,634
Jordânia	0,458	0,549	0,067	0,134	0,005	0,421	0,154	0,092
Letônia	0,495	0,533	0,069	0,226	0,167	0,685	0,586	0,328
Lituânia	0,486	0,509	0,062	0,176	0,125	0,913	0,469	0,334
Macedônia	0,327	0,552	0,074	0,152	0,013	0,534	0,103	0,160
Malásia	0,579	0,652	0,131	0,254	0,004	0,564	0,569	0,251
Marrocos	0,626	0,566	0,070	0,175	0,001	0,276	0,199	0,077
México	0,505	0,720	0,146	0,051	0,006	0,391	0,237	0,242
Mongólia	0,495	0,464	0,049	0,073	0,023	0,169	0,137	0,060
Namíbia	0,645	1,000	0,766	0,055	0,003	0,190	0,048	0,098
Nepal	0,318	0,668	0,094	0,029	0,001	0,016	0,005	0,023
Noruega	0,720	0,396	0,036	0,389	1,000	0,901	0,962	1,000
Nova Zelândia	0,607	0,512	0,074	0,143	0,050	0,770	0,880	0,498
Panamá	0,355	0,793	0,342	0,040	0,006	0,405	0,084	0,194
Paquistão	0,215	0,433	0,039	0,102	0,001	0,070	0,088	0,049
Paraguai	0,402	0,803	0,389	0,045	0,008	0,227	0,045	0,085
Peru	0,224	0,736	0,181	0,055	0,004	0,174	0,215	0,147
Polónia	0,505	0,509	0,052	0,249	0,250	0,650	0,343	0,308
Portugal	0,533	0,545	0,089	0,238	0,007	0,900	0,365	0,409
Quênia	0,626	0,629	0,081	0,032	0,003	0,083	0,042	0,032
Quirguistão	0,411	0,429	0,038	0,107	0,038	0,116	0,071	0,038
Reino Unido	0,505	0,481	0,082	0,137	0,050	1,000	0,619	0,662
República Tcheca	0,411	0,368	0,031	0,303	0,050	0,887	0,352	0,457
Romênia	0,318	0,438	0,045	0,101	0,019	0,496	0,272	0,215
Rússia	0,336	0,584	0,076	0,119	0,083	0,677	0,199	0,277
Suécia	0,692	0,325	0,037	0,746	0,050	0,976	1,000	0,689
Suiça	0,561	0,477	0,054	0,758	0,050	0,975	0,652	0,775
Tailândia	0,393	0,594	0,075	0,079	0,007	0,367	0,144	0,149
Trinidad e Tobago	0,393	0,550	0,077	0,096	0,036	0,514	0,161	0,345
Tunísia	0,682	0,566	0,080	0,465	0,002	0,419	0,124	0,142
Turquia	0,346	0,617	0,100	0,086	0,004	0,526	0,291	0,243
Ucrânia	0,598	0,438	0,035	0,118	0,083	0,535	0,127	0,130
Uruguai	0,243	0,639	0,106	0,054	0,025	0,396	0,253	0,219
Zâmbia	0,187	0,719	0,192	0,026	0,003	0,055	0,026	0,025

## Resultado da aplicação do modelo CCR à amostra em relação à perspectiva social

DMU	CCR	Pesos dos inputs			Pesos dos outputs				
		%edu	Gini	Desig	I/Fert	I/Analf	Fone	Web	\$ cap
Alemanha	1,000	1,42908	0,836745	1,32153	0	0,149191	0,705471	0,152039	0,323745
Austrália	1,000	1,371379	0,921693	0	0	0,239383	0,585765	0,538493	0
Áustria	1,000	0,598928	1,882088	1,5E-07	0	0	0,602157	0	0,623563
Cingapura	1,000	2,891892	0	0	0	0	0	0	1,066398
Equador	1,000	10,7	0	0	0	1,20773	2,704212	0	0
Finlândia	1,000	1,139471	0	9,239436	1E-08	1	7E-08	0	0
Geórgia	1,000	3,689655	0	0	0	1	0	0	0
Holanda	1,000	0,937272	1,205753	2,5E-07	0,104831	0	4E-08	0,55764	0,533783
Irlanda	1,000	1,161215	1,05847	2,2E-07	0	0	0,252865	0	0,943597
Japão	1,000	0,344084	0	33,03102	0,983537	0,329256	0	0	0
Noruega	1,000	0	0,823663	18,56808	0	0	0	0	1
República Tcheca	1,000	0,42253	0,330515	22,78084	0	0,050833	1,124779	0	0
Suécia	1,000	0	2,603979	4,144967	0,538658	2E-08	0,118297	0,482602	0
Itália	0,998	1,934095	0,322315	0	0,14905	0	0,925267	0	0
Suíça	0,990	0,794167	1,134541	0,259255	0,251537	0	0,281926	0	0,689163
Coreia do Sul	0,986	1,10013	1,061601	6E-08	0,147329	1E-08	0,628098	0,398815	0
Dinamarca	0,974	1,3E-07	2,945833	2,5E-07	0	1E-08	0,446374	1E-08	0,795272
Grécia	0,963	2,274779	0,141632	0,325127	1E-08	0	1,107239	0	0
China	0,915	5,631579	0	0	2,071642	6E-08	3,4E-07	0	0
Espanha	0,905	2,17706	0,276407	0	0,092058	0	1,143165	0	0
Canadá	0,889	1,191065	0,819636	0,8767	0	0	0,266827	0,24862	0,88605
Eslovênia	0,884	1,122776	1,091154	1,88E-06	0,1666	0,247816	0,7063	0,453133	0
Bélgica	0,871	0,864708	1,280265	5E-08	0,304646	0	0,354046	0	0,858538
Rússia	0,867	2,736413	0	1,050129	0	0,636013	1,399322	0	0
Reino Unido	0,866	1,717922	0,276586	0	0	2,82E-06	0,841851	0,255446	1E-08
Eslováquia	0,860	1,3063	1,092381	1,839416	0	0,231677	0,799195	0,750532	0
Estônia	0,860	1,454181	0,581622	0	0	0,348534	0,730455	0,436287	0
França	0,859	0,878914	1,301298	1E-07	0,314273	0	0,365235	0	0,88567
Estados Unidos	0,847	0,954964	0,743813	5E-07	0	0	5E-08	0,314941	0,856676
Lituânia	0,845	1,940503	0,067767	0,362794	0	0,463915	1,03128	0	0
Hungria	0,823	0	0,137595	28,89813	0	0,081367	1,234305	0,14094	0
Nova Zelândia	0,763	0,773727	0,961845	0,504202	0	0,168399	0	1,127332	0
Bulgária	0,757	2,420932	0	1,194171	0	0	1,464539	0	0
Indonésia	0,743	10,49931	0	2,518917	2E-08	2,71888	6,018501	2E-08	1E-08
Portugal	0,730	1,651243	0,221035	3,9E-07	0	0	1,111709	0	0
Casaquistão	0,699	4,266972	9E-08	1,637499	4E-08	1,230339	2,706928	0	1,3E-07
Letônia	0,679	1,411225	0,564441	0	0	0,428169	0,897354	0,535973	0
Israel	0,679	0,764766	0,928319	0	0	0	0,740377	0,500705	0
Macedônia	0,673	2,775715	0,096898	0,519146	0	0,833186	1,852169	0	0
Romênia	0,669	2,943212	0	1,451795	0	2E-08	2,014634	0	0
Polónia	0,656	1,815486	0	1,600266	0,036538	0,670997	1,26617	0	0
Uruguai	0,646	3,723874	2E-08	0,893404	0	1,109971	2,457026	0	0
Turquia	0,618	2,509568	0,156251	0,358685	0	1E-08	1,90213	0	0
Jamaica	0,618	1,669613	0,268808	0	0	0	1,146369	0,347848	0
Chile	0,604	2,478263	0,1543	0,354213	1E-08	1,87E-05	1,923166	7E-08	5E-08
Trinidade e Tobago	0,559	2,346948	0,081961	0,438782	8E-08	0,849071	1,88748	3E-08	3,1E-07
Argentina	0,541	2,23257	0,298852	2E-08	1E-08	6,84E-06	2,026994	1,4E-07	2E-08
Ucrânia	0,538	0	3,8E-07	28,49152	0	0,1994	1,836687	1E-08	0
Malásia	0,473	1,19708	0,469848	0	0	0	1,108878	0,657467	0
Panamá	0,432	2,167518	0,290144	0	0	1E-08	2,468988	0	0
Filipinas	0,429	3,643544	0	0,874132	0	1,636105	3,621675	0	0
El Salvador	0,418	2,770898	0,370912	1E-08	2E-08	1,4E-07	3,255814	1E-07	1E-08
Tunísia	0,406	0,25447	1,460644	0	2,152239	0	0	0	0
África do Sul	0,397	1,694747	0,105518	0,242225	0	0	2,002182	0	0
Jordânia	0,394	1,993139	0,124097	0,284873	1E-08	6E-08	2,373904	0	0
Brasil	0,392	1,979329	0,232014	8E-08	0	6,8E-07	2,287237	0,261835	6E-08
Tailândia	0,391	2,328307	1,5E-07	1,148481	4E-08	4,8E-07	2,726523	1E-08	1E-08
Peru	0,368	4,458333	0	0	0	0	3E-08	4,658537	6E-08
Colômbia	0,355	1,816661	0,243178	2E-08	4E-08	9E-08	2,51446	0	1E-08
Costa Rica	0,334	1,75024	0,281789	0	0	0	2,226553	0,675613	0
México	0,322	1,69761	0,198991	2,2E-07	0	2E-08	2,389343	0,273523	0
Armênia	0,310	3,110208	0	1,467602	0,159289	2,088892	4,420058	0	0
Irã	0,234	0,982589	0,934548	0	0,795381	4,9E-07	1,216473	2E-08	2,974692
Marrocos	0,220	0,740472	0,947981	0	1,495723	0	2,677729	0	0
Paraguai	0,219	1,96305	0,262773	2,2E-07	2,35E-06	5,2E-07	4,414751	1E-07	1,4E-07
Botsuana	0,182	0,51749	0,541483	0	0	0	0	0	3,231707
Mongólia	0,168	1,050448	0,878428	1,479148	2,2E-07	0,951319	3,281677	3,081854	4E-08
Paquistão	0,159	4,652174	0	0	9,81791	2E-08	0	6E-08	0
Quirguistão	0,154	1,037892	1,337474	0	2,989849	1,727513	5,311337	0	0
Bolívia	0,140	1,40802	0,188477	0	1E-08	2E-08	4,946108	0	0
Namíbia	0,120	1,284159	0,171897	0	7,8E-06	1,7E-07	5,26282	3E-08	5,6E-07
Zâmbia	0,103	4,291579	1,4E-07	1,029603	1,62E-06	8,031311	17,77807	1,77E-06	1,2E-07
Índia	0,096	2,278204	0,366791	0,000004	5,3E-07	6,56E-06	10,05561	3,051213	5,3E-07
Gana	0,077	0,820931	1,050987	1E-08	4,727782	1,9E-07	8,463942	1E-08	2E-08
Quênia	0,058	1,416264	0,179817	0	0,938227	6E-08	11,65032	0	0
Nepal	0,034	3,147059	4E-08	1E-08	18,4711	6,47E-06	1E-07	3E-08	20,62499

## Base de dados normalizada referente à perspectiva econômica

	Com	Abre	Inf	I/Des	HTech	Bolsa
África do Sul	0,319	0,204	0,406	0,058	0,095	0,879
Alemanha	0,242	0,118	0,131	0,167	0,246	0,177
Argentina	0,231	0,204	0,503	0,099	0,100	0,117
Armênia	0,694	0,118	0,251	0,197	0,016	0,003
Austrália	0,333	0,013	0,131	0,318	0,182	0,440
Áustria	0,292	0,184	0,126	0,318	0,193	0,186
Bélgica	0,297	0,026	0,103	0,187	0,118	0,315
Bolívia	0,212	0,329	0,497	0,187	0,066	0,062
Botsuana	0,200	0,711	0,406	0,187	0,003	0,117
Brasil	0,222	<b>1,000</b>	0,206	0,151	0,179	0,209
Bulgária	0,460	0,211	0,434	0,182	0,089	0,103
Canadá	0,264	0,020	0,120	0,233	0,224	0,420
Casaquistão	0,203	0,138	0,617	0,192	0,308	0,169
Chile	0,192	0,178	0,251	0,200	0,096	0,376
China	0,219	0,230	0,274	0,350	0,448	0,288
Cingapura	0,260	0,033	0,120	0,667	0,854	0,656
Colômbia	0,302	0,276	0,314	0,125	0,059	0,115
Coreia do Sul	0,284	0,112	0,114	0,424	0,473	0,295
Costa Rica	0,391	0,507	0,537	0,304	0,660	0,027
Dinamarca	0,299	0,039	0,097	0,500	0,291	0,263
El Salvador	0,634	0,171	0,223	0,226	0,041	0,092
Equador	0,263	0,428	0,126	0,151	0,116	0,031
Eslováquia	0,300	0,164	0,160	0,167	0,092	0,032
Eslovênia	0,321	0,395	0,206	0,292	0,076	0,128
Espanha	0,438	0,309	0,160	0,169	0,091	0,339
Estados Unidos	0,506	0,039	0,166	0,304	0,445	0,463
Estônia	0,392	0,046	0,377	0,298	0,185	0,114
Filipinas	0,345	0,382	0,160	0,192	<b>1,000</b>	0,182
Finlândia	0,230	0,092	0,091	0,206	0,330	0,395
França	0,324	0,046	0,091	0,169	0,313	0,339
Gana	0,570	0,276	0,549	0,127	0,003	0,079
Geórgia	0,720	0,072	0,526	0,103	0,241	0,027
Grécia	<b>1,000</b>	0,250	0,171	0,169	0,156	0,212
Holanda	0,262	0,066	0,091	0,438	0,417	0,369
Hungria	0,293	0,105	0,451	0,192	0,355	0,117
Índia	0,452	0,217	0,366	0,194	0,072	0,282
Indonésia	0,213	0,691	0,366	0,146	0,195	0,119
Irã	0,189	0,309	<b>1,000</b>	0,117	0,087	0,055
Irlanda	0,216	0,086	0,171	0,304	0,509	0,233
Israel	0,328	0,224	0,029	0,192	0,213	0,387
Itália	0,294	0,086	0,114	0,233	0,106	0,174
Jamaica	0,734	0,053	0,531	0,141	0,002	0,384
Japão	0,250	0,151	0,003	0,359	0,319	0,339
Jordânia	0,624	0,092	0,309	0,104	0,018	0,661
Letônia	0,539	0,105	0,577	0,246	0,100	0,042
Lituânia	0,393	0,171	0,331	0,400	0,119	0,107
Macedônia	0,440	0,099	0,131	0,040	0,016	0,055
Malásia	0,238	0,158	0,120	0,438	0,795	0,490
Marrocos	0,630	0,079	0,114	0,667	0,145	0,237
México	0,308	0,178	0,229	0,378	0,279	0,130
Mongólia	0,332	0,132	0,514	0,467	0,025	0,011
Namíbia	0,302	0,651	0,383	0,269	0,097	0,026
Nepal	0,855	0,204	0,366	0,033	0,001	0,063
Noruega	0,166	0,066	0,046	0,560	0,276	0,263
Nova Zelândia	0,315	0,079	0,137	0,389	0,155	0,135
Panamá	0,401	0,125	0,240	0,219	0,004	0,105
Paquistão	0,550	0,158	0,446	0,187	0,021	0,113
Paraguai	0,301	0,230	0,463	0,250	0,124	0,014
Peru	0,207	0,474	0,103	0,203	0,030	0,203
Polónia	0,328	0,204	0,143	0,109	0,056	0,138
Portugal	0,433	0,046	0,137	0,182	0,138	0,168
Quênia	0,623	0,289	0,560	0,035	0,046	0,157
Quirguistão	0,714	0,138	0,583	0,078	0,042	0,010
Reino Unido	0,414	0,086	0,131	0,259	0,497	0,501
República Tcheca	0,282	0,112	0,160	0,212	0,208	0,107
Romênia	0,473	0,092	0,274	0,341	0,065	0,085
Rússia	0,211	0,191	0,680	0,226	0,139	0,336
Suécia	0,262	0,099	0,097	0,230	0,234	0,469
Suiça	0,270	0,132	0,051	0,560	0,323	<b>1,000</b>
Tailândia	0,245	0,217	0,126	<b>1,000</b>	0,403	0,215
Trinidad e Tobago	0,184	0,283	0,451	0,215	0,015	0,269
Tunísia	0,352	0,072	0,177	0,099	0,072	0,046
Turquia	0,416	0,039	0,503	0,141	0,022	0,127
Ucrânia	0,359	0,178	0,731	0,609	0,049	0,126
Uruguai	0,325	0,289	0,463	0,152	0,044	0,002
Zâmbia	0,247	0,217	0,611	0,028	0,027	0,035

## Resultado da aplicação do modelo CCR à amostra em relação à perspectiva econômica

	CCR	Pesos dos Inputs			Pesos dos Outputs		
		Com	Abre	Inf	1/Des	Htech	Bolsa
Austrália	1,000	0	76	0	0,318591	1E-08	2,040095
Cingapura	1,000	1,807039	16,11214	9E-08	0,055445	1,127181	0
Japão	1,000	0	0	350	0,622785	2,43027	0
Malásia	1,000	4,2022	0	9E-08	0	1,257951	0
Noruega	1,000	1,213076	4,573972	10,89189	1,785714	0	0
Suíça	1,000	2,700742	5E-08	5,274455	0	0	1
Tailândia	1,000	4,081737	0	0	1	0	0
Filipinas	0,881	2,366252	0	1,141884	0	1	0
Canadá	0,878	1,628178	28,85661	1E-08	0	1E-08	2,383103
Dinamarca	0,815	2E-08	9,366402	6,48811	2	0	0
África do Sul	0,744	3,138216	4E-08	0	0	2E-08	1,137423
Marrocos	0,734	0	6,324586	4,381043	1,5	0	0
Irlanda	0,713	4,581469	0,144988	0	9E-08	1,964566	0
Holanda	0,644	8,5E-07	3,321032	8,547774	1,016886	0,880869	0,507612
China	0,623	4,562462	0	0	1,306736	1,211364	0
Bélgica	0,585	0	22,53302	3,957195	0	1E-08	3,169965
Finlândia	0,577	4,346932	0	3,2E-07	0	0,974127	1,716485
Coréia do Sul	0,573	1,632605	1,7E-07	4,689522	0,839026	1,360935	0
Estados Unidos	0,555	2E-08	14,58236	2,560918	1E-08	2,2E-07	2,159924
França	0,539	2E-08	9,739863	6,031525	1E-08	2E-08	2,950477
Suécia	0,535	2,407561	3,744568	2E-08	0	3E-08	2,134039
Chile	0,526	5,195504	0	0	1,8E-07	1E-08	2,663046
Reino Unido	0,521	9E-08	2,141801	6,214932	0	1,25941	0,746076
Israel	0,513	2,401811	1E-08	7,38774	0	2,541276	1,18273
Costa Rica	0,505	2,55431	0	0	2E-08	1,514215	0
Ucrânia	0,482	2,222771	1,140861	0	1,642857	0	1E-08
Rússia	0,470	4,736199	0	0	2,001811	0,370475	1,477661
Trinidad e Tobago	0,469	5,426136	0	0	2,461159	2E-08	1,744639
Casaquistão	0,456	4,919326	0	0	0,237672	3,09774	0
Nova Zelândia	0,421	2,361612	3,258271	4E-08	2,571429	0	0
Mongólia	0,417	1,94862	2,688076	0	2,142857	0	0
Jordânia	0,409	1,303185	2,026891	2E-08	0	0	1,511834
México	0,369	3,246391	0	0	1,569198	1,454669	0
Hungria	0,366	3,37477	0,1068	0	2E-08	2,819508	0
Peru	0,355	4,820134	0	1,1E-07	2,88637	5E-08	2,046058
Áustria	0,334	3,111187	1,3E-07	0,728006	2,057945	0,536614	1,295724
Brasil	0,318	4,499624	0	0	0	1,828044	3,221153
Estônia	0,317	0,239516	19,67356	2E-08	3,357143	2E-08	3E-08
Alemanha	0,309	4,139101	0	3E-08	2E-08	3,738779	0,449172
Lituânia	0,297	2,080904	1,068046	0	2,5	0	0
Jamaica	0,296	0,599822	10,6308	0	0	0	2,602384
Botsuana	0,286	4,989444	4E-08	0	3,710749	3E-08	2,630434
Indonésia	0,278	4,694603	0	0	0,372637	4,856814	4E-08
Itália	0,272	3,221574	0,606731	1,19E-06	2,889963	1E-08	1,871385
Romênia	0,261	1,66643	2,299144	0	2,928571	1E-08	1E-08
República Tcheca	0,256	3,5441	1E-08	4,1E-07	2,466922	2,286872	1E-08
Eslovênia	0,253	3,116962	1E-08	2,4E-07	2,616552	5E-08	1,854792
Bolívia	0,232	4,718928	0	0	4,330018	1E-08	3,069414
Portugal	0,224	0	7,089607	4,910973	5,5	0	8E-08
Namíbia	0,218	3,309685	1E-07	0	3,714286	1,7E-07	0
Paraguai	0,216	2,487103	1,093407	0	3,536322	0,934541	0
Espanha	0,209	2,282761	0	3E-08	0	0	2,950204
Índia	0,187	2,090043	0,256846	1E-08	2,675348	6E-08	1,70281
Irã	0,186	5,281883	1,1E-07	3E-08	5,073162	4,702893	5,9E-07
Equador	0,176	2,820994	0	2,057515	4,036347	3,372356	0
Argentina	0,176	4,331747	1E-08	0	4,902345	0,907282	3,618734
Panamá	0,175	1,742571	2,404192	1,1E-07	4,571429	2E-08	1,5E-07
Turquia	0,172	0,273348	22,45206	1E-08	7,071429	0	2E-08
Letônia	0,165	1,462301	2,017509	0	4,071429	1E-08	0
Eslováquia	0,158	2,682866	1,179471	9E-08	5,237546	1,384122	4E-08
Colômbia	0,146	3,314963	2E-08	0	4,842929	1,7E-05	3,433004
Polônia	0,134	3,049887	3E-08	0	4,825561	5,2E-07	3,42069
Geórgia	0,128	0	13,81818	0	0	4,157345	0
Bulgária	0,122	2,063438	0,240028	0	3,960876	0,184438	2,559093
El Salvador	0,121	1,5E-07	3,072896	2,128596	4,428571	0	0
Armênia	0,117	8E-07	3,417801	2,367511	5,071429	2E-08	3E-08
Grécia	0,117	0	1,446701	3,723561	2,4425	2,115797	1,219255
Uruguai	0,115	3,080208	8,5E-07	1E-08	6,571428	1,48E-06	2,3E-07
Paquistão	0,111	1,301751	1,796001	0	5,357143	0	1E-08
Tunísia	0,101	2,212105	3,052	1,6E-07	10,07143	9E-08	6E-08
Gana	0,070	1,656637	0,20358	0	5,640342	4,6E-07	3,58997
Quênia	0,069	0,931384	1,448616	0	1E-08	6,4E-07	6,381181
Macedônia	0,050	0	5,553306	3,43895	1E-08	1E-08	18,03848
Zâmbia	0,047	4,056198	2E-08	1E-08	17,08028	3,161066	12,60804
Quirguistão	0,039	1,105462	1,525185	0	12,85714	2E-08	0
Nepal	0,026	0,853052	1,326787	2,15E-06	4,7E-07	1,5E-07	15,77921



## Base de dados normalizada referente à perspectiva ambiental

	KWh	Ener	Petro	H <sub>2</sub> O	1/CO <sub>2</sub>	\$ cap
África do Sul	0,193	0,284	0,141	0,112	0,010	0,185
Alemanha	0,283	0,436	0,414	0,195	0,010	0,645
Argentina	0,096	0,171	0,424	0,319	0,027	0,251
Armênia	0,060	0,088	0,192	0,414	0,083	0,092
Austrália	0,457	0,623	0,360	0,506	0,006	0,685
Áustria	0,314	0,435	0,488	0,190	0,012	0,725
Bélgica	0,339	0,563	0,465	0,303	0,010	0,666
Bolívia	0,019	0,060	0,650	0,067	0,125	0,075
Botsuana	0,056	0,108	0,422	0,045	0,042	0,309
Brasil	0,080	0,117	0,488	0,135	0,056	0,183
Bulgária	0,164	0,270	0,284	0,379	0,018	0,213
Canadá	0,688	0,877	0,414	0,587	0,005	0,725
Casaquistão	0,128	0,361	0,168	1,000	0,008	0,209
Chile	0,122	0,189	0,453	0,326	0,026	0,262
China	0,071	0,137	0,214	0,176	0,026	0,100
Cingapura	0,333	0,722	0,928	0,019	0,008	0,938
Colômbia	0,035	0,066	0,501	0,100	0,083	0,126
Coréia do Sul	0,309	0,461	0,520	0,165	0,010	0,468
Costa Rica	0,068	0,092	0,594	0,262	0,067	0,194
Dinamarca	0,265	0,377	0,483	0,052	0,010	0,706
El Salvador	0,026	0,072	0,513	0,079	0,111	0,109
Equador	0,028	0,083	0,965	0,544	0,045	0,136
Eslováquia	0,196	0,364	0,213	0,082	0,015	0,383
Eslovênia	0,275	0,381	0,414	0,194	0,012	0,513
Espanha	0,245	0,349	0,568	0,366	0,013	0,568
Estados Unidos	0,543	0,822	0,471	0,678	0,005	0,864
Estônia	0,221	0,394	0,179	0,449	0,007	0,398
Filipinas	0,023	0,055	0,409	0,145	0,100	0,064
Finlândia	0,641	0,694	0,354	0,188	0,008	0,666
França	0,316	0,472	0,383	0,232	0,017	0,626
Gana	0,011	0,041	0,332	0,019	0,333	0,026
Geórgia	0,067	0,075	0,292	0,342	0,125	0,089
Grécia	0,209	0,291	0,660	0,331	0,011	0,551
Holanda	0,278	0,523	0,465	0,231	0,011	0,726
Hungria	0,150	0,287	0,301	0,882	0,018	0,358
Índia	0,019	0,051	0,276	0,248	0,083	0,051
Indonésia	0,020	0,085	0,423	0,158	0,059	0,070
Irã	0,084	0,245	0,549	0,444	0,016	0,200
Irlanda	0,248	0,383	0,647	0,120	0,010	0,813
Israel	0,269	0,293	0,592	0,129	0,010	0,487
Itália	0,226	0,329	0,511	0,306	0,013	0,574
Jamaica	0,098	0,151	1,000	0,066	0,025	0,145
Japão	0,328	0,433	0,548	0,292	0,010	0,634
Jordânia	0,067	0,137	0,908	0,075	0,034	0,092
Letônia	0,108	0,214	0,343	0,046	0,033	0,328
Lituânia	0,123	0,262	0,336	0,411	0,026	0,334
Macedônia	0,136	0,140	0,384	0,474	0,020	0,160
Malásia	0,130	0,249	0,501	0,151	0,013	0,251
Marrocos	0,026	0,048	0,696	0,169	0,071	0,077
México	0,076	0,178	0,680	0,310	0,024	0,242
Mongólia	0,050	0,089	0,262	0,070	0,032	0,060
Namíbia	0,057	0,071	0,772	0,063	0,083	0,098
Nepal	0,003	0,035	0,106	0,159	1,000	0,023
Noruega	1,000	0,724	0,510	0,220	0,005	1,000
Nova Zelândia	0,384	0,426	0,466	0,222	0,013	0,498
Panamá	0,060	0,084	0,829	0,108	0,056	0,194
Paquistão	0,018	0,051	0,253	0,454	0,125	0,049
Paraguai	0,034	0,070	0,154	0,034	0,143	0,085
Peru	0,034	0,053	0,618	0,305	0,091	0,147
Polónia	0,137	0,254	0,275	0,129	0,013	0,308
Portugal	0,185	0,268	0,676	0,447	0,018	0,409
Quênia	0,006	0,050	0,221	0,019	0,333	0,032
Quirguistão	0,073	0,057	0,260	0,812	0,091	0,038
Reino Unido	0,249	0,405	0,418	0,083	0,010	0,662
República Tcheca	0,252	0,460	0,255	0,079	0,009	0,457
Romênia	0,093	0,185	0,284	0,127	0,024	0,215
Rússia	0,230	0,471	0,238	0,227	0,009	0,277
Suécia	0,614	0,602	0,329	0,125	0,017	0,689
Suíça	0,330	0,380	0,545	0,147	0,019	0,775
Tailândia	0,079	0,165	0,526	0,546	0,024	0,149
Trinidade e Tobago	0,200	1,000	0,157	0,100	0,004	0,345
Tunísia	0,047	0,088	0,578	0,111	0,043	0,142
Turquia	0,075	0,123	0,406	0,231	0,031	0,243
Ucrânia	0,129	0,317	0,119	0,342	0,014	0,130
Uruguai	0,080	0,091	0,687	0,386	0,063	0,219
Zâmbia	0,029	0,065	0,111	0,063	0,500	0,025

### Resultado da aplicação do modelo CCR à amostra em relação à perspectiva ambiental

	CCR	Pesos dos inputs				Pesos dos Outputs	
		KWh	Ener	Petro	H <sub>2</sub> O	1/CO <sub>2</sub>	\$ cap
Botsuana	1,000	14,50096	1,261363	0	1,178005	0	3,231707
Cingapura	1,000	0	0	0	53,63636	2E-08	1,066398
Dinamarca	1,000	0	1,339458	0,588539	4,035749	0,555834	1,409075
Eslováquia	1,000	0,96519	0,148243	3,409544	0,389371	0,364735	2,596625
Estônia	1,000	0,866788	0,180466	4,112149	0	1,29E-06	2,511848
Gana	1,000	1E-08	15,90321	0	18,39384	3	7,2E-07
Irlanda	1,000	1,749941	0,428983	0,620585	1E-08	1E-08	1,229698
Nepal	1,000	79,16016	1E-08	7,343208	0	1	1,1E-07
Noruega	1,000	0	0,625203	1,07372	0	0	1
Peru	1,000	1E-08	18,95683	6E-08	1E-08	0,517525	6,475189
Quênia	1,000	113,3762	4,7E-07	4,1E-07	19,27219	1,692664	13,58604
Reino Unido	1,000	1,193236	0,03032	1,603222	0,238961	3E-08	1,509972
República Tcheca	1,000	0,667152	0,074952	2,776873	1,106699	8E-08	2,190083
Suécia	1,000	0	0	2,199958	2,193831	0,491315	1,439963
Suíça	1,000	0	1,448131	0,824922	0	0,10443	1,287044
Trinidad e Tobago	1,000	1,003259	0	4,763035	0,498469	0	2,896175
Zâmbia	1,000	2E-08	0	2,420651	11,58379	1,887377	2,295775
Holanda	0,986	1,35282	0	1,342564	0	0,117571	1,374763
Áustria	0,963	0,107062	0,789347	1,277378	0	5E-08	1,380208
Alemanha	0,955	0,1857	0,670931	1,58329	0	0,166571	1,547074
Austrália	0,947	0,209489	0,493612	1,574553	0,0609	0	1,460055
França	0,947	0,222171	0,55366	1,70966	0,060826	0,187453	1,591398
Estados Unidos	0,918	0,160927	0,379186	1,209549	0,046783	1,6E-07	1,157205
Letônia	0,897	4,588997	6E-08	1,118688	2,678049	0,553823	2,989746
Finlândia	0,896	0	0,026959	2,732148	0,078485	2E-08	1,501416
Itália	0,852	0,612162	1,070025	0,997525	0	0,13133	1,740486
Uruguai	0,842	0	10,96795	0	0	0,295045	4,484712
Bélgica	0,838	0,190595	0,449092	1,43254	0,055407	4E-08	1,501416
Hungria	0,833	3,581359	0	1,53936	0	0,145576	2,782222
Equador	0,827	30,81316	1,491131	0	0	0	7,361111
Grécia	0,817	0,019884	2,286846	0,501751	0	6E-08	1,815068
Panamá	0,815	0	11,9199	0	0,014983	0,404699	5,029941
Lituânia	0,814	5,044609	2E-08	1,120888	0	0,096078	2,986779
Canadá	0,812	0	0,022456	2,275853	0,065377	0	1,380208
Eslovênia	0,795	0,12469	0,911941	1,493914	1E-08	0,196679	1,943798
Japão	0,784	0,278706	0,741884	1,072752	1E-08	6E-08	1,577381
Polónia	0,782	3,921497	1E-08	1,68556	2E-08	0,169771	3,244634
Espanha	0,775	0,04785	2,057066	0,477964	0	0,119519	1,758028
Costa Rica	0,745	1E-08	10,81513	0,00898	1E-08	0,399905	5,008447
Israel	0,742	0	2,373576	0,513127	1E-08	0	2,054264
Turquia	0,742	6,25E-06	4,674755	1,045369	0	0,279769	4,072607
Paraguai	0,739	9,993223	0,13836	2,196455	9,29801	2,176501	8,115728
El Salvador	0,732	36,48516	0,163045	0	0,28217	0	9,137931
Casaquistão	0,716	3,4024	0	3,376605	0	0,407093	4,76016
Bolívia	0,698	50,4304	0,225364	0	0,39002	0	13,25
Colômbia	0,690	1E-08	15,06345	0	0,018935	0,604402	7,512024
Nova Zelândia	0,682	0,1101	0,805235	1,319111	0	0,202598	2,002294
Romênia	0,665	6,395712	0	1,421097	0	0,149022	4,632627
África do Sul	0,655	1,046524	0,187272	4,893428	0,491023	0,806367	5,363664
Argentina	0,637	5,250562	0	1,16665	0	0,127745	3,971204
Portugal	0,635	0,02079	2,390758	0,524551	0	5E-08	2,442396
Rússia	0,614	1,196093	0,080664	2,658369	0,236823	0,450582	3,590116
Marrocos	0,597	0,969444	20,42635	0	0	0,938278	12,06048
Chile	0,589	0,078272	3,364968	0,781855	0	0,25751	3,787773
Coréia do Sul	0,587	0,30285	0,747771	1,079231	0	0,193809	2,132827
Indonésia	0,586	45,74685	0,204434	1E-08	0,353798	0	14,32432
Tunísia	0,567	1,59E-05	11,37282	1E-07	0,014295	0,554852	6,89619
México	0,567	11,88182	0,574993	1E-08	0	0	4,140625
Brasil	0,552	0	8,529146	0,007082	0	0,425949	5,33462
Ucrânia	0,532	4,043624	0	4,012976	0	0,650794	7,609747
Namíbia	0,506	0	14,04255	0	0,017655	0,767597	9,540342
Malásia	0,503	4,178908	2E-08	0,914509	1E-08	8,8E-07	3,984962
Filipinas	0,486	38,37493	1,857065	0	0	1E-08	15,58824
Armênia	0,484	0,173204	7,446366	1,730173	0	0,692886	10,19179
Bulgária	0,484	3,494246	1,53E-05	1,501931	0	0,244323	4,66943
Paquistão	0,470	48,49789	2,346942	0	0	0	20,38462
Irã	0,469	4,893109	1E-08	1,070804	0	2,21E-06	5
Índia	0,466	46,31906	2,241503	5E-08	0	0	19,62963
Macedônia	0,462	1,5E-07	4,423045	0,98908	0	0,424768	6,183362
Geórgia	0,454	0	13,33322	0,011071	0	0,809306	10,13582
China	0,410	8,449354	4E-08	1,877406	1E-08	0,318978	9,916058
Tailândia	0,368	5,102911	4E-07	1,133842	1E-08	0,214703	6,674565
Jamaica	0,337	0	5,213269	0	3,278768	1,945997	6,548254
Mongólia	0,275	0,154164	6,622049	1,538672	1E-08	1,086523	15,982
Quirguistão	0,273	1E-08	17,57782	0,014595	0	1,774572	22,22489
Jordânia	0,250	14,73971	0,06587	0	0,113995	7,8E-07	10,81633

## **APÊNDICE B**

### **Tabelas complementares referentes ao estudo de eficiência das companhias aéreas**

Este apêndice apresenta a base de dados utilizada na execução da segunda aplicação da sistemática proposta neste trabalho, referente ao estudo da eficiência operacional de companhias de transporte aéreo. Os dados foram disponibilizados pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) e dizem respeito ao ano de 2002.

### Base de dados utilizada no estudo de eficiência de companhias aéreas

	Inputs			Outputs			
	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
Adria Airways	555	7	21.450	4.616	0,4970	677.903	0,5617
Aer Lingus p.l.c.	4.288	34	100.840	28.648	0,7194	8.412.996	0,7825
Aero Asia International (PVT) Ltd.	1.063	9	12.040	5.575	0,7331	621.318	0,8218
Aeroflot Russian Airlines	15.218	104	204.762	104.272	0,5635	17.334.992	0,6833
Aerolíneas Argentinas	5.194	38	87.014	15.077	0,4674	6.813.037	0,6279
Aerolíneas Centrales de Colombia S.A. - ACES	1.432	18	41.631	20.286	0,5118	1.172.726	0,5587
Aeromexico	6.650	67	240.511	46.600	0,6560	12.728.237	0,6333
Aeropostal Alas De Venezuela	2.580	23	56.376	9.739	0,5188	2.508.325	0,4118
Aerovías del Continente Americano S.A. (Avianca)	2.990	31	91.055	28.196	0,3481	5.211.460	0,6326
Air Algérie	8.644	44	71.958	13.994	0,5422	3.223.968	0,6099
Air Austral	252	4	7.019	2.390	0,5370	276.410	0,6900
Air Baltic Corporation SIA	291	7	11.479	1.060	0,4683	172.576	0,5593
Air Botswana Corporation	303	4	8.797	793	0,4665	80.021	0,5073
Air Caledonie International	204	3	7.140	2.331	0,5179	475.382	0,6802
Air Canada	32.365	244	803.102	294.602	0,6173	69.019.044	0,7531
Air China Limited	11.696	73	241.715	415.680	0,6115	23.635.464	0,6829
Air France	59.881	362	1.196.088	679.249	0,7163	98.541.107	0,7608
Air India Limited	15.801	30	84.652	96.394	0,6415	12.303.656	0,7081
Air Jamaica	2.755	22	53.618	15.941	0,6254	4.912.094	0,6630
Air Kazakhstan	1.933	33	33.671	5.833	0,7087	1.482.055	0,5943
Air Luxor S.A.	407	11	102.238	2.465	0,9008	1.567.144	0,8037
Air Macau Company Limited	798	11	22.630	23.004	0,7008	2.056.226	0,7102
Air Malawi Ltd.	479	3	6.125	898	0,3616	139.715	0,4615
Air Malta p.l.c	1.945	13	37.474	7.173	0,4310	2.305.493	0,6917
Air Mauritius	2.263	11	52.433	30.414	0,6062	5.337.262	0,7258
Air Namibia	432	10	14.926	3.204	0,3442	759.558	0,5581
Air New Zealand Ltd	10.502	80	274.511	98.576	0,6855	22.255.000	0,7583
Air Seychelles Ltd.	675	10	17.837	4.307	0,4540	1.396.921	0,6204
Air Tahiti	918	11	19.741	16.019	0,7003	241.402	0,6868
Air Tanzania Company	250	2	5.336	2.233	0,4249	136.784	0,5215
Alaska Airlines Inc.	11.205	102	393.562	56.882	0,5483	21.197.339	0,6812
Alitalia-Linee Aeree Italiane S.p.A.	21.416	144	518.245	210.527	0,7031	29.618.611	0,7103
All Nippon Airways	13.340	140	393.192	540.360	0,4902	54.220.372	0,6757
Aloha Airlines, Inc.	3.079	27	62.192	58.615	0,5770	2.587.687	0,7227
America West Airlines, Inc.	13.755	145	501.061	29.077	0,5771	31.954.069	0,7363
American Airlines Inc.	91.982	822	2.846.848	510.592	0,4989	195.815.282	0,7070
Asiana Airlines Inc.	6.929	65	235.545	555.244	0,7608	17.090.664	0,7151
Austral Líneas Aéreas S.A.	926	10	25.159	4.487	0,5595	1.218.311	0,6802
Austrian	7.179	87	241.469	70.998	0,6937	13.794.260	0,7052
Belavia - Belarussian Airlines	1.251	38	11.379	1.173	0,5664	308.101	0,4971
Bellview Airlines Limited	327	4	7.815	5.446	0,9490	436.850	0,7808
Biman Bangladesh Airlines	5.327	13	40.237	39.346	0,6312	4.579.002	0,6907
bmi (British Midland)	4.607	57	104.032	18.154	0,5797	5.523.116	0,6590
British Airways p.l.c.	52.818	331	1.037.567	614.375	0,6258	99.123.224	0,7276
Caribbean Airlines	2.382	14	46.040	13.316	0,7239	2.875.045	0,6347
Cathay Pacific Airways Ltd.	14.648	78	321.821	851.416	0,7428	49.011.092	0,7777
China Airlines	9.263	56	223.371	995.382	0,7757	26.466.491	0,7530
China Eastern Airlines	12.322	82	240.903	344.558	0,6076	18.406.234	0,6484
China Southern Airlines	17.031	122	578.663	575.295	0,6061	40.059.704	0,6398
China Yunnan Airlines	2.672	26	59.645	61.402	0,6371	3.510.374	0,6103
Comair (Pty) Limited	824	18	32.403	8.770	0,5743	1.262.152	0,6500
Compagnie Aérienne Corse Méditerranée	591	12	15.939	1.341	0,7034	288.180	0,6506

Fonte: *International Air Transport Association - IATA*

### Base de dados utilizada no estudo de eficiência de companhias aéreas (cont.)

	Inputs			Outputs			
	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
Compañía Mexicana de Aviación S.A. de C.V.	6.514	60	209.890	36.390	0,5120	11.407.263	0,6365
Continental Airlines, Inc	42.236	352	1.224.556	211.790	0,6273	91.040.114	0,7389
Continental Micronesia, Inc.	1.481	15	44.960	21.094	0,6042	3.850.278	0,7104
Corse Air International	1.735	9	19.327	7.238	0,8944	6.501.313	0,8939
Croatia Airlines	1.051	11	25.042	3.967	0,4692	784.307	0,5454
Cyprus Airways, Ltd.	2.112	19	38.377	16.375	0,6363	3.275.408	0,7312
Czech Airlines - CSA	4.411	31	84.919	14.634	0,6280	3.841.006	0,7056
Delta Air Lines, Inc	66.833	573	1.920.607	428.605	0,5389	152.661.217	0,7247
Deutsche Lufthansa A.G.	39.822	364	1.183.879	1.028.704	0,7297	93.642.566	0,7710
Egyptair	21.324	47	105.350	79.823	0,4968	8.999.961	0,6377
El Al Israel Airlines Ltd.	3.235	30	101.592	160.778	0,5869	11.862.043	0,7389
Emirates	11.521	45	189.119	484.984	0,7106	30.170.431	0,7803
Estonian Air	308	4	10.067	1.196	0,4149	294.416	0,5686
Ethiopian Airlines Corporation	4.064	25	58.240	24.209	0,4879	3.287.080	0,5974
Eva Airways Corporation	4.394	42	177.321	619.538	0,7583	19.234.577	0,7755
Finnair Oyj	8.534	59	139.543	51.337	0,5255	8.462.284	0,6543
FlyLAL - Lithuanian Airlines	809	7	14.052	1.133	0,4050	312.210	0,4981
Garuda Indonesia	9.467	43	140.049	132.196	0,5558	12.958.841	0,6618
GB Airways	791	11	39.950	2.723	0,6688	2.627.501	0,7399
Ghana Airways Corporation	1.343	8	20.719	3.767	0,4278	911.990	0,5778
Gulf Air Company G.S.C.	4.786	30	102.614	191.228	0,6333	11.775.007	0,6929
Hainan Airlines Company Limited	6.248	59	162.597	81.595	0,6601	7.932.833	0,6655
Hapag Lloyd Flug GmbH	2.214	38	125.350	2.598	0,8997	13.741.829	0,8507
Hong Kong Dragon Airlines Ltd.	2.008	24	63.456	193.434	0,6786	4.308.970	0,6515
Iberia, Líneas Aéreas de España S.A.	25.692	147	480.787	188.958	0,5835	40.415.675	0,7301
Icelandair	1.053	13	37.133	31.352	0,6236	3.187.617	0,7207
Indian Airlines	20.452	54	163.707	88.761	0,6308	8.612.756	0,5884
Iran Air, The Airline of the Islamic Republic of Iran	8.887	33	90.431	41.435	0,5559	6.697.456	0,7179
Iran Aseman Airlines	2.243	16	17.555	1.765	0,6692	598.219	0,6286
Japan Air System Company Ltd.	4.518	85	213.086	184.854	0,4355	16.004.191	0,6280
Japan Airlines International	16.342	131	518.016	921.920	0,6640	83.196.170	0,7110
Jat Airways	4.592	21	28.451	3.821	0,4830	972.493	0,5847
Jersey European Airways (UK) Limited	1.500	30	76.575	1.399	0,3207	1.189.625	0,6023
Jet Airways (India) Private Limited	6.579	40	133.616	53.694	0,5738	5.156.747	0,6156
Kenya Airways Ltd.	3.415	19	58.603	27.070	0,5558	3.935.933	0,6834
KLM Royal Dutch Airlines	27.071	128	504.860	521.916	0,7880	58.893.558	0,8020
Korean Air Lines Co. Ltd.	17.019	119	397.321	1.693.094	0,7497	41.434.100	0,7166
Kuwait Airways Corporation	4.187	17	59.758	76.430	0,5953	6.714.693	0,6979
LAM - Linhas Aéreas de Moçambique	851	10	10.718	3.016	0,4997	396.553	0,6338
Lan Airlines S.A	10.770	56	177.203	305.210	0,6519	11.521.202	0,6566
Lauda Air S.p.A.	372	3	12.124	1.050	0,7163	2.491.570	0,8392
Libyan Arab Airlines	7.368	12	16.294	4.701	0,4389	907.465	0,4758
Lloyd Aéreo Boliviano S.A. (LAB)	1.769	13	23.832	31.661	0,5068	1.199.351	0,5545
LTU-Lufttransport-Unternehmen GmbH & Co KG	2.669	25	7.209	3.083	0,8429	1.304.555	0,7096
Luxair	2.098	16	37.753	206	0,5083	577.536	0,5347
Macedonian Airlines-MAT	194	3	4.489	128	0,7092	235.629	0,5864
Maersk Air A/S	1.196	20	28.457	3.186	0,4194	1.239.820	0,6152
Malaysia Airline System Berhad	22.478	101	343.583	450.772	0,6940	36.897.080	0,6959
MALEV p.l.c. - Hungarian Airline Public Ltd. Co.	2.694	25	67.891	10.402	0,4798	3.116.156	0,6909
Meridiana S.p.A.	1.359	21	50.751	2.124	0,5120	2.248.283	0,6270
MIAT Mongolian Airlines	1.024	15	11.362	2.585	0,5873	661.761	0,6592
Middle East Airlines AirLiban S.A (MEA)	2.282	9	29.081	16.039	0,4332	1.748.792	0,5711

Fonte: *International Air Transport Association - IATA*

### Base de dados utilizada no estudo de eficiência de companhias aéreas (cont.)

	Inputs			Outputs			
	FUN	FRO	HRS	FRT	WLF	RPK	PLF
Nigeria Airways Ltd.	1.587	1	7.482	8.470	0,3503	892.725	0,4782
Northwest Airlines, Inc.	44.845	438	1.400.292	653.886	0,6190	115.912.812	0,7710
Olympic Airlines S.A.	8.228	64	128.508	34.898	0,5387	7.548.064	0,6612
Oman Aviation Services Co. (SAOG)	2.448	9	23.082	3.634	0,2926	1.189.312	0,6684
Pakistan International Airlines Corporation	16.361	44	103.786	97.562	0,5948	10.679.915	0,6835
PGA - Portugalia Airlines	1.020	16	43.295	891	0,5792	774.852	0,5766
Philippine Airlines, Inc.	7.248	32	103.385	129.385	0,6933	13.956.270	0,7416
Polskie Linie Lotnicze (LOT)	4.069	50	130.010	17.129	0,5942	5.111.388	0,6870
Polynesian Airlines, Ltd.	358	4	8.275	1.750	0,7460	322.005	0,6510
Primeras Líneas Uruguayas de Navegación Aérea (PLUNA)	572	5	10.468	1.699	0,5377	618.019	0,6513
Qantas Airways Ltd.	28.107	141	535.126	373.487	0,7076	72.890.571	0,7949
Qatar Airways Company (W.L.L)	2.370	18	53.970	53.574	0,6377	5.664.301	0,6894
Regional Express	568	26	23.898	4.000	0,5023	109.000	0,4658
Romanian Air Transport S.A. (Tarom)	2.645	18	35.864	4.846	0,3719	1.564.382	0,6171
Rossiya - Russian Airlines	7.289	43	45.852	6.452	0,5241	2.909.564	0,6428
Royal Air Maroc	5.656	31	96.423	23.883	0,6069	6.044.786	0,6965
Royal Brunei Airlines	1.889	10	37.313	35.107	0,6196	3.714.738	0,6502
Royal Jordanian	3.088	16	54.172	59.064	0,6008	4.153.044	0,6657
Samara Airlines	1.508	28	13.627	1.589	0,6398	497.192	0,6076
SAS Scandinavian Airlines Norge AS	2.188	31	76.667	8.418	0,5864	2.850.517	0,6288
SATA-Air Açores	525	5	6.926	1.491	0,6792	77.784	0,6419
Saudi Arabian Airlines	24.042	148	205.619	252.846	0,5199	20.803.895	0,6806
Scandinavian Airlines System (SAS)	20.911	193	432.435	129.178	0,6874	24.170.212	0,7089
Shanghai Airlines	3.085	26	73.459	121.637	0,6946	5.144.278	0,6494
Siberia Airlines	4.515	65	61.588	17.870	0,6775	5.346.728	0,6870
Singapore Airlines Ltd.	15.278	106	434.082	1.028.942	0,7232	74.171.987	0,7620
Skyways AB	962	36	43.469	518	0,6140	421.369	0,5357
SN Brussels Airlines	1.689	35	94.318	7.849	0,3937	2.606.128	0,4809
South African Airways (SAA)	11.665	61	186.451	119.786	0,5407	21.276.929	0,6883
Southern Winds	867	5	28.156	2.190	0,3717	631.807	0,6129
Spanair	2.853	51	101.466	6.200	0,6141	4.688.813	0,6361
SriLankan Airlines Ltd.	3.945	10	41.970	53.344	0,7004	6.180.366	0,7623
Surinam Airways	501	7	9.707	5.649	0,8192	1.334.222	0,8894
SWISS International Air Lines Ltd	10.277	135	349.197	197.718	0,6280	21.836.648	0,6930
Syrian Arab Airlines	5.618	14	26.792	5.896	0,5067	1.543.955	0,6019
TACA International Airlines S.A.	4.045	32	100.171	10.453	0,5601	6.259.379	0,6865
TAM Linhas Aéreas	7.618	101	288.135	65.162	0,4003	11.437.895	0,5386
TAP-Air Portugal	8.364	38	141.685	49.460	0,5750	11.257.103	0,6949
Thai Airways International Public Company Ltd.	25.368	81	285.245	531.862	0,6970	48.337.226	0,7483
Tunis Air	7.081	29	42.717	13.937	0,6082	2.509.862	0,6311
Turkish Airlines Inc.	10.984	67	232.093	118.730	0,6412	15.725.748	0,6869
Ukraine International Airlines	609	5	16.264	2.568	0,3574	495.931	0,4430
United Airlines	80.165	567	1.936.032	1.030.626	0,5584	176.047.586	0,7354
US Airways, Inc	30.554	280	1.084.234	116.159	0,5332	64.433.424	0,7104
Varig-Viação Aérea Rio-Grandese S.A.	11.731	86	341.174	271.899	0,6110	26.037.022	0,6860
Viação Aérea Sao Paulo S.A. (VASP)	4.848	31	114.272	56.013	0,5047	3.385.817	0,5460
Virgin Atlantic Airways	6.671	28	121.577	122.890	0,6488	27.004.745	0,8063
Volare Airlines S.p.A.	862	27	16.476	355	0,4690	415.488	0,5076
Wideroe Flyveselskap A/S	1.425	29	61.558	1.056	0,4243	415.943	0,5056
Xiamen Airlines	3.916	26	84.761	76.165	0,6082	4.901.216	0,6484
YEMENIA Yemen Airways	3.030	10	21.644	14.860	0,4445	1.598.217	0,5359

Fonte: *International Air Transport Association - IATA*