

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA AMBIENTAL NA AVIAÇÃO CIVIL COMERCIAL BRASILEIRA COM USO DA ABORDAGEM DEA

Ana Cristine Heinen (UNISINOS) - anaheinen@yahoo.com.br

Carlos Alberto Diehl (UNISINOS) - cd@unisinos.br

Tiago Wickstrom Alves (UNISINOS) - twa@unisinos.br

Resumo:

A crescente competição, por um lado, e a maior demanda social por cuidados ambientais tem levado às empresas a buscarem forma de melhorar sua eficiência. O objetivo deste artigo é analisar a eficiência técnica ambiental das empresas aéreas brasileiras. A metodologia utilizada foi a Análise Envoltória de Dados, com base no modelo CCR e orientada a insumo. Os resultados indicam que, entre as empresas que prestam serviço de transporte de passageiros, as eficientes são a Azul, Tam, Webjet e Gol/Vrg. E as empresas eficientes do transporte de carga que são Absa e Master Top. As quantidades estimadas de emissões de CO₂ para 2010, em relação às atividades de voo, é de 10.991 GgCO₂, sendo possível a redução de 286,62 GgCO₂ do total das emissões.

Palavras-chave: *Eficiência. Eficiência ambiental. Aviação comercial civil. Análise envoltória de dados (DEA).*

Área temática: *Custos como ferramenta para o planejamento, controle e apoio a decisões*

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA AMBIENTAL NA AVIAÇÃO CIVIL COMERCIAL BRASILEIRA COM USO DA ABORDAGEM DEA

RESUMO

A crescente competição, por um lado, e a maior demanda social por cuidados ambientais tem levado às empresas a buscarem forma de melhorar sua eficiência. O objetivo deste artigo é analisar a eficiência técnica ambiental das empresas aéreas brasileiras. A metodologia utilizada foi a Análise Envoltória de Dados, com base no modelo CCR e orientada a insumo. Os resultados indicam que, entre as empresas que prestam serviço de transporte de passageiros, as eficientes são a Azul, Tam, Webjet e Gol/Vrg. E as empresas eficientes do transporte de carga que são Absa e Master Top. As quantidades estimadas de emissões de CO₂ para 2010, em relação às atividades de voo, é de 10.991 GgCO₂, sendo possível a redução de 286,62 GgCO₂ do total das emissões.

Palavras-chave: Eficiência. Eficiência ambiental. Aviação comercial civil. Análise envoltória de dados (DEA).

Área Temática: 2. Custos como ferramenta para o planejamento, controle e apoio a decisões.

1 Introdução

A crescente competição dos mercados e o aumento da complexidade têm levado organizações a uma busca mais incisiva por resultados, com uma margem de erro cada vez menor. Disso decorre, tanto que o alcance dos resultados pretendidos seja buscado com maior acerto, como que os recursos utilizados para isso sejam mais bem aproveitados. Em outras palavras, há a exigência por maior eficácia e eficiência, respectivamente.

A eficiência é um dos determinantes de custos ligados à execução (SHANK; GOVINDARAJAN, 1997). Em um sentido amplo, a utilização da capacidade é uma das formas de medir a eficiência e tem havido interesse em estudá-la, por exemplo, no setor aeronáutico (MIOTTO; SOUZA; DIEHL, 2007). A área de Controle de Gestão, na qual se insere a Controladoria, tem sua atenção dirigida à busca pela eficácia e eficiência no uso dos recursos organizacionais. Em vista disso, atua principalmente como área de apoio (staff) aos tomadores de decisão nas organizações, fornecendo informações, análises, métodos e procedimentos que qualifiquem o trabalho de gestão, visando o alcance dos objetivos estratégicos.

Por outro lado, o atual modelo de desenvolvimento econômico tem como base o aumento acelerado da produção e do consumo, o que ocasiona maior pressão sobre os recursos naturais, contribuindo diretamente para a degradação ambiental. Algumas empresas, em suas atividades, interagem diretamente com a natureza, seja por meio do uso de recursos provenientes dela, da liberação de poluentes ou mesmo por outras formas que alterem as condições ambientais. Devido a isso e visando assegurar sua continuidade, as empresas passaram a dar atenção especial às questões ambientais desenvolvendo projetos e controles para o desenvolvimento e proteção do meio ambiente. Por meio da tecnologia podem melhorar a eficiência no que concerne ao consumo dos recursos naturais, bem como substituí-los quando escassos, maximizando o uso dos recursos renováveis. Ainda podem trabalhar na redução dos compostos tóxicos. Estas ações podem compensar os impactos ambientais causados por seu processo de produção, aumentando, assim, sua sustentabilidade ambiental, e consequentemente, sua legitimidade perante a sociedade.

Côté, Booth e Louis (2006) salientam que, desde o lançamento da *Our Common Future* da Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992, o movimento de sustentabilidade tem mudado seu foco para a melhoria da eficiência dos recursos ambientais. Cada vez mais o setor produtivo em diferentes países está

incorporando em seus custos aqueles relacionados com a questão ambiental, implicando necessidades de mudanças nos padrões de produção, comercialização e consumo. Iniciativas como o índice de carbono eficiente, da BM&FBOVESPA e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), e ações governamentais, como o Programa Brasileiro GHG Protocol, estimulam as empresas a calcular e divulgar suas emissões. Essa iniciativa do Governo Brasileiro faz com que as organizações publiquem anualmente seus inventários em uma plataforma *online*, chamada Registro Público de Emissões. Além disso, com o objetivo de indicar os diferentes níveis de qualidade e aprofundamento dos inventários foi criado pelo Programa um sistema de classificação como Bronze, Prata ou Ouro.

O setor de Aviação Civil está entre os que têm atuado nas questões da economia do “baixo carbono”. Iniciativas ambientais no setor de transporte aéreo têm sido debatidas pelo Conselho da União Europeia (2008). O Conselho Consultivo da Investigação em Aeronáutica na Europa, denominada ACARE (*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe*), desenvolveu uma Agenda Estratégica de Investigação, tendo como prioridade a redução do impacto da aviação no meio ambiente. Há a necessidade de avanços científicos e de tecnologia para que os objetivos com a redução das emissões de CO₂ em 50%, redução das emissões de NO_x em 80% e do ruído externo em 50% sejam atingidos até 2020 (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008). Segundo o Conselho da União Europeia (2008) a empresa *Comum Clean Sky*, que tem sua sede em Bruxelas, é uma das iniciativas ambientais e foi criada em dezembro de 2007, devendo vigorar por 10 anos. Os objetivos da mesma são: (a) acelerar na União Europeia o desenvolvimento de tecnologias limpas; (b) garantir com esforços europeus uma investigação em relação ao desempenho ambiental no setor de transporte aéreo; (c) criar um sistema de transporte aéreo ecoeficiente, visando à minimização de ruídos, emissões de gases, e o aumento da economia do combustível das aeronaves; (d) acelerar a geração de novos conhecimentos e sistemas integrados, em um ambiente operacional adequado, permitindo um reforço na competitividade industrial.

Por essas questões, metodologias para medir a eficiência das companhias aéreas têm sido aplicadas. Estudos como de Correia, Mello e Meza (2011), Mello et al. (2003) e Sampaio e Melo (2008) analisaram a eficiência operacional das empresas aéreas brasileiras. Todavia, com base nas iniciativas do mercado de capitais, de órgãos governamentais e do próprio setor de transporte aéreo na criação da empresa *Comum Clean Sky*, percebe-se a necessidade de determinar a eficiência com enfoque ecológico. Portanto, o objetivo deste estudo é analisar a eficiência relativa ambiental das empresas de aviação comercial brasileiras.

O presente trabalho está estruturado em cinco seções, além dessa introdução. A segunda trata da revisão de literatura sobre eficiência ambiental e a terceira, aborda os procedimentos metodológicos. Seguem-se então os resultados e sua discussão. Por fim, são realizadas as considerações finais, sucedidas pelas referências.

2 Referencial teórico

Existem maneiras distintas de conceituar eficiência de acordo com a área de conhecimento. Em administração, a eficiência tem relação à maneira pelo qual os recursos são utilizados (WOLFE, 2009). Significa fazer as coisas certas, solucionar problemas, entre outros, a de diminuir os custos, produzindo mais com menos recursos (DAHLSTROM; EKINS, 2005). Na área de economia a eficiência pode ser definida como a relação técnica entre entradas e saídas (RODRIGUEZ-FERRERO; SALAS-VELASCO; SANCHEZ-MARTINEZ, 2010). A eficiência pode ser técnica ou econômica (alocativa). Na visão tecnológica, é eficiente um método de produção quando utiliza o menor número de insumos possível para um dado nível de produção, ou quando se obtém o maior nível de produção possível com uma dada quantidade de insumos. Do ponto de vista econômico, é possível dizer-se eficiente o método de produção quando consegue quantidade de produto igual ao de

outro método, com menor custo. De forma análoga, quando com o mesmo custo se obtém nível de produção maior (HAYNES; DINC, 2005; PEÑA, 2008).

A definição e a medida de eficiência derivam do conceito de função de produção. Essa função pode ser representada como a relação entre a quantidade física de fatores de produção ou insumos e a máxima quantidade física de bens e serviços produzidos, pressupondo o método de produção mais eficiente. De acordo com Miller (1981), pode ser representada pela seguinte equação $Q = f(K, L)$, o que significa que o produto é uma dada função dos insumos, capital e trabalho. Os insumos que são usados para a produção de determinado produto são chamados de fatores de produção. Esses são conhecidos como o conjunto de produção e indicam as escolhas tecnológicas possíveis que a empresa se relaciona. Podem ser classificados em amplas categorias, a saber: terra, trabalho, capital e matérias-primas.

Sob o ponto de vista ambiental, uma empresa é eficiente quando utiliza a menor quantidade de insumos ou recursos naturais para produzir seus produtos, de forma que não agrida o meio ambiente com as emissões e resíduos gerados (DAHLSTROM; EKINS, 2005). Uma empresa é eficiente ambientalmente quando utiliza a menor quantidade de insumos ou recursos naturais para produzir seus produtos ou serviços, de forma que não agrida o meio ambiente com as emissões e resíduos gerados (DAHLSTROM; EKINS, 2005). Assim, combina o desempenho econômico com o ecológico, quando o melhor uso das entradas e saídas durante o processo de fabricação proporciona a redução dos custos ambientais. De acordo com Burnett e Hansen (2008) uma vez que são utilizados menos insumos e reduzida a poluição, é possível diminuir os custos e alavancar o desempenho financeiro.

A medida de eficiência ambiental pode ser realizada com base em um conjunto de indicadores (DAHLSTROM; EKINS, 2005), criados e utilizados de acordo com a atividade empresarial. Seu controle determina os impactos gerados pelos fatores de produção. A partir disso podem-se perceber os insumos que devem ser minimizados para, além de maximizar a produção, diminuir as saídas negativas, como poluentes e resíduos. Ou seja, informam se a organização está sendo eficiente no uso dos recursos naturais disponíveis, e da mesma forma, com os resíduos e emissões gerados. Os indicadores ambientais representam medidas numéricas podendo ser demonstrados tanto em valores monetários como em valores absolutos de quantidade ou consumo. Fornecem informações essenciais sobre o impacto ambiental que as atividades da empresa fornecem ao meio-ambiente (ILINITCH; SODERSTROM; THOMAS, 1998; OLSTHOORN et al. 2001).

O objetivo de Zhang, Bi, Fan, Yuan e Ge (2008) foi desenvolver e selecionar indicadores apropriados a um modelo DEA para a análise da ecoeficiência regional na China. Dentre os insumos selecionados para a pesquisa pode-se destacar: recursos hídricos (água), recursos brutos de mineração e energia. Para a parte de impactos ambientais, foram escolhidos os seguintes indicadores: resíduos, COD, nitrogênio, SO₂, fuligem, poeira e resíduos sólidos. Quanto à parte de valor econômico, foram selecionados dados referentes aos valores adicionados de indústrias, que representaram o valor dos produtos e serviços.

Outros estudos com o mesmo objetivo de Zhang et al. (2008) vem sendo aplicados. Mukherjee (2010) examinou a eficiência da indústria de transformação indiana. Para se chegar aos resultados, os autores utilizaram a metodologia DEA, com o uso de uma única saída, o valor bruto da produção industrial no estado. Como entradas, adotaram as variáveis de trabalho, capital, energia e materiais. Entre os resultados, os autores concluem que a melhoria na tecnologia pode deslocar a fronteira de melhores práticas, de modo a expandir a produção e reduzir a energia. O objetivo do trabalho de Coli, Nissi e Rapposelli (2011) foi avaliar a eficiência ambiental de 103 províncias italianas durante o ano de 2004, por meio da metodologia DEA. Foram definidas duas categorias de fatores para avaliar o desempenho ambiental, a saber: saídas desejáveis e indesejáveis. O PIB do produto expresso em euros seria a saída favorável, e os efeitos ambientais nocivos, como os poluentes de ar NO₂ e o

PM10, seriam as saídas indesejáveis. Entre as limitações desses trabalhos está a falta de informações e dados ambientais para a complementação de mais variáveis, dado que é descrito pelos autores como melhorias para trabalhos futuros.

O objetivo do trabalho de Burnett e Hansen (2008) foi fornecer evidências empíricas sobre a ecoeficiência na indústria do setor elétrico dos Estados Unidos. Cinco variáveis são utilizadas na análise: como saídas são usados quilowatts-hora e SO₂; como entradas, capital (capacidade instalada), custos de combustível e custos operacionais. Os autores, com vários testes estatísticos, concluem que plantas menos poluentes são relativamente mais eficientes, tanto na análise transversal como longitudinal. Entre as limitações desse estudo está o foco em apenas uma única indústria e foi medido um único aspecto do desempenho ambiental.

Com o objetivo de sugerir uma metodologia para avaliar o desempenho com base na análise envoltória de dados, Rafaeli (2009) aplicou a sistemática em dois estudos de caso. No primeiro, avaliou o grau de sustentabilidade em 76 países nas perspectivas social, econômica e ambiental. No outro caso, estudou as companhias de transporte aéreo de passageiros e identificou as unidades operacionalmente mais eficientes. Na primeira aplicação, Rafaeli (2009) utilizou na perspectiva ambiental, como insumos: a) Consumo de energia elétrica, per capita, em KWh; b) consumo de energia, per capita, em kg equivalentes de petróleo; c) participação do petróleo como fonte primária de energia, em %; d) quantidade de água potável removida das fontes disponíveis para uso com qualquer finalidade (doméstica, industrial ou agrícola), per capita, em m³. Como produto (inverso) foi utilizado o indicador de emissão per capita de dióxido de carbono (CO₂), em toneladas. Na segunda aplicação, foi determinada a eficiência relativa das companhias aéreas filiadas à Associação Internacional de Transporte Aéreo durante o ano de 2002. As seguintes variáveis foram utilizadas: funcionários, frota e horas voadas como insumos e, como produto, toneladas de carga, taxa de aproveitamento de carga, passageiros quilômetros pagos e taxa de ocupação de passageiros.

Sampaio e Melo (2008) aplicaram um modelo DEA na aviação civil comercial brasileira. Os insumos utilizados foram o número de empregados, o combustível consumido e o custo operacional. Como produtos, foram usados passageiros transportados, receitas e utilização dos assentos. Concluíram que a redução de combustível é determinante para se chegar à eficiência. Além disso, existem vários fatores que justificam o seu consumo, entre eles estão o tipo de aeronave, pois existem variações quanto ao número de turbinas utilizadas e a sua aerodinâmica, bem como o peso que a aeronave está carregando, pois quanto mais peso, maior o consumo. A distância e a altitude também afetam no consumo de combustível. Sampaio e Melo (2008) ainda concluem que, além da redução de combustível, a escolha correta de aeronaves e rotas, a melhoria da escala de operação e a redução do número de funcionários por passageiro, sem prejudicar a qualidade e segurança do voo, são fatores que explicam a eficiência operacional.

Para Vellani (2007), as ações ou investimentos ambientais internos, ou seja, que ocorrem durante o processamento de seus produtos e serviços, podem maximizar a ecoeficiência. Por isso, todo indicador operacional e ambiental pode ser considerado também medidor da ecoeficiência. Esses indicadores devem ser classificados, pois a quantidade de ações de uma organização que podem afetar a questão ambiental é ampla. Por isso, é necessário utilizar um número reduzido de indicadores que forneçam as informações úteis ao que se objetiva avaliar (HENRI; JOURNEAULT, 2008). Para a determinação da eficiência ambiental do presente trabalho, além da classificação de indicadores, são necessários vários procedimentos, tratados a seguir.

3 Procedimentos Metodológicos

A técnica de pesquisa utilizada é um levantamento. Utiliza uma amostra de empresas para determinar a eficiência de uma população. A escolha do setor foi do tipo intencional ou

seleção racional, pois é compatível com o objetivo do estudo. Além disso, a acessibilidade das informações junto à ANAC viabilizou o estudo. Do ponto de vista de seus objetivos é descritiva (GIL, 1991), uma vez que os resultados são consequências da interpretação dos elementos. Com relação à abordagem do problema, caracteriza-se como quantitativa, pois buscou reduzir os fenômenos a valores numéricos e para isso foi realizada uma análise com auxílio do software Frontier Analyst 4 (GELO; BRAAKMANN; BENETKA, 2008).

Os dados quantitativos foram obtidos nos anuários estatísticos da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC. Para as informações que não estavam presentes nestes documentos, foram necessárias entrevistas eventuais e não estruturadas com agentes da ANAC. As dúvidas com relação às variáveis retiradas dos anuários foram sanadas com um estatístico, especialista em Regulação de Aviação Civil, por ligação realizada para a Superintendência de Estatística da Agência. As informações de consumo de combustível por litro foram solicitadas por telefonema ao número de 0800 disponibilizado pela agência no seu site oficial. Em planilhas Excel os valores foram disponibilizados por consumo em litros por mês. Isso permitiu uma visualização por parte do pesquisador, das empresas que pararam de operar no decorrer do ano, ou as que não operaram durante todos os meses. Para a análise da eficiência usou-se a análise envoltória de dados, tratada a seguir.

3.1 A Análise envoltória de dados (DEA)

A análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma metodologia não-paramétrica utilizada para a definição de escores de eficiência técnica e alocativa (econômica) de unidades tomadoras de decisão, chamadas DMUs (*Decision Making Units*). Podem ser um grupo de empresas ou unidades de negócios (TAUER; FRIED; FRY, 2007). De forma relativa, mede a magnitude das unidades e aponta resultados para melhorar o desempenho, uma vez que é feita a comparação destas com as eficientes, procedimento, também chamado de *benchmarking*. A medição de desempenho acontece de forma a comparar a eficiência de múltiplas unidades similares ou homogêneas (CHOI; ROH; YOON, 2007). Sua operacionalização resulta em um indicador que considera o consumo de múltiplos insumos para a produção de múltiplos produtos (DÜZAKIN, E.; DÜZAKIN, H., 2007).

Haynes e Dinc (2005) afirmam que por meio da DEA é possível mensurar a eficiência produtiva relativa, uma medida da capacidade de uma unidade para produzir saídas (produtos), dado um conjunto de insumos. O escore de eficiência é sempre relativo às demais unidades do conjunto analisado. O parâmetro é a fronteira de eficiência, composta por unidades que são mais eficientes na transformação de seus insumos em produtos em todo o conjunto. As unidades que determinam a fronteira são aquelas classificadas como sendo 100% relativamente eficientes e qualquer unidade com um índice inferior a 100% é relativamente ineficiente. Esse escore de eficiência varia de acordo com outras unidades e fatores atribuídos na análise, e não pode ser visto como absoluto, por serem pontuações relativas. A eficiência é calculada em relação às operações reais e não à capacidade ideal de operação.

Segundo Yu e Ramanathan (2009) a DEA pode ser aplicada em dois modelos básicos: O CCR, desenvolvido em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes, também conhecido como CRS – *Constant Returns to Scale* (retornos constantes de escala). Aplicado quando as variações nos insumos geram variações proporcionais nos produtos, ou retornos constantes de escala (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). O outro modelo é o BCC, desenvolvido por Banker, Charnes, Cooper em 1984, também conhecido como VRS – *Variables Returns to Scale* (retornos variáveis de escala) (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984). Cada um dos modelos pode maximizar a eficiência sob duas formas: orientado a produto ou a insumo (PEÑA, 2008). A escolha do tipo de orientação não influencia de forma significativa o valor da eficiência técnica. Essa definição decorre do foco: verificar o que está sendo produzido ou gerado de serviço. A função de produção, mostra a relação das empresas eficientes e

ineficientes, bem como o funcionamento do tipo de orientação (Figura 1)

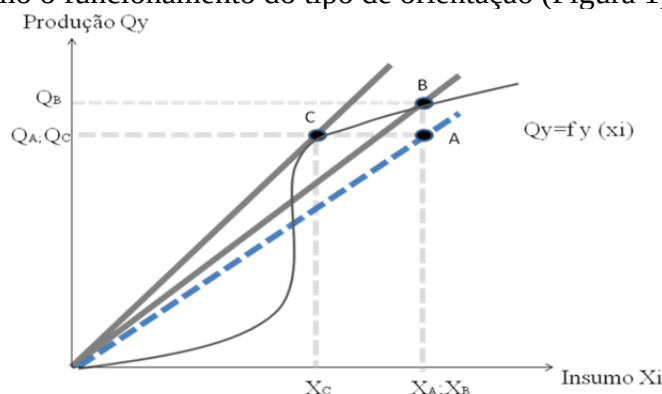


Figura 1 - Demonstração de unidades eficientes por meio da função de produção

Fonte: Ferreira e Gomes (2009).

Legenda: Q: Quantidade produzida; X: Quantidade de insumo

Conforme pode ser observado na Figura 1, os pontos C e B sobre a função de produção são tecnicamente eficientes, pois representam o máximo de produção de Q_y , com a utilização do insumo X_i . Entre essas unidades, a DMU C tem uma produtividade maior do que a B, uma vez que para produzir Q_B houve um aumento na quantidade de insumo, representado por CA. Esse aumento foi efetivamente maior do que o aumento que gerou na produção, representado por AB. Assim, a produtividade média em C é maior que em B, dado que a produção marginal $AB/CA < 1$. A unidade A é ineficiente, pois com a mesma quantidade de insumo produz quantidade menor, comparada à unidade B. Para esta unidade ineficiente, existiriam duas opções para que se tornasse eficiente (FERREIRA; GOMES, 2009): a) Deslocar o ponto A para o ponto C, reduzindo a quantidade do insumo utilizado de X_A para X_C . Desta forma, a produção permaneceria no mesmo patamar e pode ser denominada como orientada a insumo; b) deslocar o ponto A para o ponto B, aumentando a quantidade produzida de Q_A para Q_B . Assim, seria uma escolha orientada a produto, e por isso, é mantida a mesma quantidade do insumo X_A .

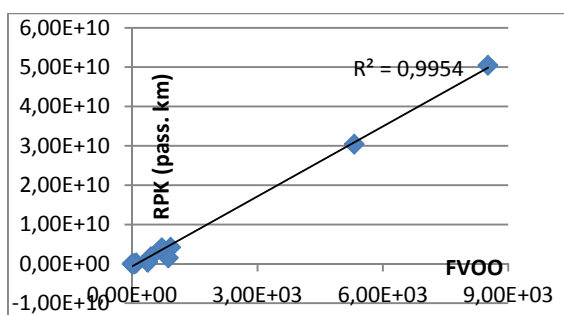


Figura 2 - Curva de produção com insumo Fvoo

Fonte: Elaborada pelos autores.

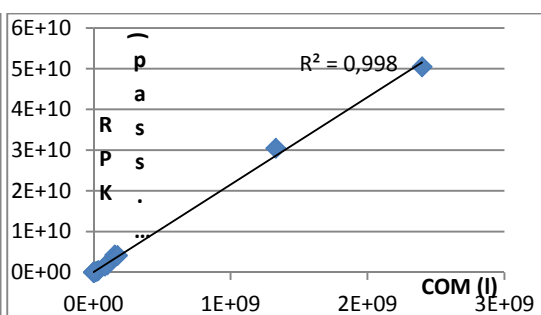


Figura 3 - Curva de produção com insumo Com (I).

Fonte: Elaborada pelos autores

Em vista do objetivo da pesquisa e das informações que foram obtidas junto à ANAC, este estudo usa o modelo CCR, orientado a insumos. Foram testados os retornos de escala referente ao produto passageiro vezes quilômetro pago transportado (RPK), a fim de identificar se a função de produção apresenta retornos constantes ou variáveis de escala. Pelas Figuras 2 e 3 pode-se verificar a curva de produção das empresas, considerando como insumos funcionários de voo e consumo de combustível, respectivamente. Em ambos os gráficos percebe-se que um aumento na quantidade destes fatores representa um aumento proporcional na quantidade de passageiro vezes quilômetro pago transportado, indicando assim, a preferência pelo uso do modelo CCR.

3.2 Aplicação do modelo DEA

Na metodologia DEA selecionam-se as DMUs que são analisadas em conjunto. Para a

definição da amostra final de empresas foram seguidas algumas etapas: a) do total de 27, seis (Air Minas, Beta, Taf, Cruiser, Rico e Noar) foram excluídas da análise, por não apresentarem dados de todas as variáveis e por não operarem mais voos atualmente. b) das 21 empresas restantes, realizou-se uma classificação por tipo de operação, por se tratarem de atividades diferentes – no DEA os processos devem ser homogêneos: 1) Transporte de passageiros; 2) transporte de carga; c) a empresa Total é excluída da amostra, pois suas operações são para duas atividades. Como as informações não estão separadas por tipo de serviço, não é possível incluí-la em nenhum modelo. Apesar de algumas empresas não terem operado voo durante todo período do ano, como a Puma e a Sol, de transporte de passageiros e a Rio Linhas Aéreas, de carga, elas foram mantidas na análise. As variáveis de frota e funcionários são relativamente constantes no decorrer do ano. Para as variáveis que estão relacionadas com as operações de voo foi realizada uma extrapolação dos meses disponíveis (Quadro 1).

Variável	Forma de Cálculo
Total de horas Terra	1 - Número de aeronaves multiplicado por 24 horas e multiplicado pelo número de dias em operação, subtraindo-se o número de horas voadas. 2 – Com o resultado do total de horas terra de operação, divide-se pelo número de meses em operação e multiplica-se por 12 meses.
Tonelada quilômetro utilizada paga Passageiro quilômetro pago transportado	Tem-se o valor total disponibilizado, divide-se pelo número de meses em operação e multiplica-se por 12.
Consumo de Combustível	É o valor total de consumo em litros, e divide-se pelo número de meses em operação e multiplica-se por 12.

Quadro 1 – Forma de cálculo de variáveis

Fonte: Elaborada pelos autores.

A variável de horas terra é a diferença da quantidade de horas voo (Quadro 1) e pode ser considerada no estudo como produto negativo. Na prática, o ideal é que a quantidade de horas em terra seja a mínima possível e por isso, assume-se como uma saída do sistema de serviço de transporte em sentido inverso. A sua inclusão no modelo, ao invés de horas voo, se justifica pelo fato de que empresas com a máxima quantidade de horas de voo não são mais eficientes, pois podem estar operando com o mínimo de capacidade de utilização e proporcionando menores resultados. Permanecem na análise 20 empresas, sendo que 15 de transporte de passageiros e 5 de transporte de carga. Por fim, o período que foi realizado a análise é referente ao ano de 2010, pois é o último ano de relatórios disponíveis da ANAC. E as variáveis utilizadas nos dois modelos por tipo de transporte são demonstradas no Quadro 2.

Variáveis	Descrição	P	C
Funcionários voo (FVOO)	Compreende os funcionários pilotos e copilotos; demais tripulantes técnicos e auxiliares de voo.	X	X
Funcionários Terra (FTRR)	Compreende os funcionários de manutenção e revisão; pessoal de tráfego de vendas e outros.	X	X
Frota (FRO)	Quantidade de Aeronaves das empresas em operação.	X	X
Consumo de combustível (COMB)	Quantidade de consumo de combustível por litro	X	X
Horas Terra (HTRR)	Diferença entre o número de horas voadas entre (nº de aeronaves multiplicadas por 24h, multiplicado pelo número de dias do ano com atividades em operação).	X	X
Passageiro quilômetro pago transportado (RPK)	O total de passageiros-quilômetros pagos é igual à soma dos produtos obtidos ao multiplicar o número de passageiros transportados em uma etapa de voo pela distância da etapa.	X	
Tonelada quilômetro utilizada paga (RTK)	Unidade que significa uma tonelada transportada paga por um quilômetro. É igual a soma dos produtos obtidos ao multiplicar as toneladas transportadas pagas em cada etapa de voo pela distância da etapa.	X	X

Quadro 2 – Variáveis de insumos e produtos

Fonte: Elaborada pelos autores

Legenda: P - transporte de passageiros; C- transporte de carga

As variáveis definidas como insumos para o modelo de transporte de passageiros são: funcionários voo, funcionários terra, frota, consumo de combustível. Como produtos: passageiro quilômetro pago transportado, tonelada quilômetro utilizada paga e número de horas terra (Quadro 3). A função de produção (1) representa a quantidade máxima de produção que uma empresa de transporte de passageiros consegue obter a partir da combinação de seus insumos:

$$Q = f(\text{FVOO}, \text{FTRR}, \text{FRO}, \text{COMK} - \text{HORAS TERRA}) \quad (1)$$

Para as empresas que prestam serviços de transporte de carga, as variáveis de insumo são: funcionários voo, funcionários terra, frota e consumo de combustível. Como produtos, tonelada quilômetro utilizada paga e número de horas terra (Quadro 3). A função de produção (2) representa a quantidade máxima de produção que uma empresa de transporte de carga consegue obter a partir da combinação de seus insumos:

$$Q = f(\text{FVOO}, \text{FTRR}, \text{FRO}, \text{COMK} - \text{HORAS TERRA}) \quad (2)$$

4 Análise dos resultados

4.1 Eficiência técnica ambiental das empresas de transporte aéreo de passageiros

A maximização da função de produção a partir do *software Frontier Analyst 4.0* permitiu a obtenção dos escores de eficiência das unidades, mostrados na Tabela 1. As DMUs que apresentam resultado inferior de 100% são ineficientes. Os escores variam de 16,30% a 100%, sendo que quatro das 15 empresas de aviação de passageiros atingiram escore de 100%, e sete apresentaram escore superior a 50%; o escore médio foi de 57,82%. As quatro unidades que se encontram na fronteira de eficiência possuem algumas características em comum. A Azul, Tam, Webjet e Gol tem voos domésticos e internacionais e representam fatias maiores de mercado em relação às menos eficientes. No ano de 2010, as empresas Azul, Tam, Webjet e Gol, representaram, 7,48%; 43,25%; 5,07% e 37,93%, respectivamente do mercado. Ou seja, as quatro empresas eficientes somam 93,73% do mercado doméstico de aviação. Isso pode levar ao entendimento de que o tamanho da fatia pode interferir na sua eficiência. Sampaio e Melo (2008) avaliaram a eficiência operacional das empresas aéreas brasileiras e concluíram que a Gol, a Tam e a Varig operavam na fronteira de eficiência em 2004; e que a eficiência está relacionada com a expansão da empresa, além de proporcionar minimização de certos insumos e custos operacionais. No estudo de Correia, Mello e Meza (2011) a eficiência da empresa Gol foi acompanhada de crescimento na participação de mercado, atingindo a vice- liderança em 2005 com 27,29% de todo o volume de passageiros transportados durante aquele ano.

DMUs	Escores	DMUs	Escores	DMUs	Escores	DMUs	Escores
AZUL	100%	AVIANCA	78,30%	PASSAREDO	45,40%	SOL	25,70%
TAM	100%	TRIP	68,20%	PANTANAL	42,80%	NHT	20,50%
WEBJET	100%	META	53,30%	PUMA	36,80%	TEAM	16,30%
GOL/VRG	100%	SETE	46,10%	ABAETÉ	34,00%	Média	57,82%

Tabela 1 – Escore de eficiência das DMUs

Fonte: Elaborada pelos autores.

A metodologia DEA permite encontrar soluções de eficiência para as DMUs menos eficientes, os chamados *benchmarkings*. As empresas aéreas onde o escore de eficiência se mostrou superior podem ser utilizadas como *benchmark* para as demais. A DEA permite criar um conjunto de referências por combinação linear que projeta a DMU ineficiente para a fronteira de eficiência. A projeção também pode ser chamada de percentual de melhoria. Os percentuais de melhorias possibilitam projetar as unidades ineficientes para a fronteira de eficiência, sugerindo valores ótimos de produção e insumo, permitindo o planejamento de metas pelas empresas. No caso específico dessa pesquisa, além de se chegar aos valores ótimos de minimização dos insumos, foi possível metas com relação à melhoria de emissões de CO₂,

tendo como base o consumo de combustível das empresas. Na Tabela 2 percebem-se os percentuais que cada insumo pode melhorar para cada empresa em relação às eficientes.

DMUS	Fro %	Fvoo %	Ftrr %	Comb %	Htrr %	Rpk %	Rtk %
AVIANCA	60,00	21,74	39,35	21,74	69,33	3,00	0,00
TRIP	78,20	60,81	54,90	31,75	81,01	1,44	0,00
META	96,00	72,69	82,44	46,72	97,03	0,00	0,46
SETE	98,00	92,25	89,00	53,89	98,52	14,89	0,00
PASSAREDO	82,67	75,49	66,42	54,64	85,40	0,00	1,04
PANTANAL	86,40	57,24	72,31	57,24	89,49	0,00	0,86
PUMA	83,50	70,92	63,23	63,23	88,37	0,00	1,03
ABAETÉ	99,50	89,50	77,25	66,00	99,60	0,00	0,15
SOL	99,00	87,75	89,40	74,28	98,97	0,00	1,05
NHT	99,00	89,73	90,37	79,50	99,22	0,00	0,97
TEAM	99,33	94,00	97,08	83,67	99,56	0,00	1,14
MÉDIA	89,24	73,83	74,70	57,52	91,50	1,76	0,61
MÁXIMA	99,50	94,00	97,08	83,67	99,60	14,89	1,14
MÍNIMA	60,00	21,74	39,35	21,74	69,33	0,00	0,00
DESVIO PADRÃO	12,57	21,47	17,55	19,06	9,89	4,46	0,49

Tabela 2 - Percentuais de melhorias para empresas de transporte de passageiros

Fonte: Elaborada pelos autores

LEGENDA: Fro: frota; Fvoo: funcionários em voo; Ftrr: funcionários em terra; Comb: combustível; Htrr: horas em terra; Rpk: Passageiro vezes quilometro transportado; Rtk: tonelada vezes quilometro transportada

As empresas em conjunto devem reduzir o consumo dos insumos em média 89,24% da frota, 73,83% e, 74,70% dos funcionários de voo e de terra respectivamente. E o consumo de combustível em 57,52%. Entre esses, os funcionários de voo e consumo de combustível em litros apresentam os maiores desvios padrão de 21,47% e 19,06%. O contrário acontece com as horas em terra. Em média o conjunto de empresas deve reduzir em 91,50% as horas em terra, sendo que as suas variações em relação à média representam apenas 9,89%. Ou seja, não existe muita oscilação com relação à media, sendo que 81,81% das empresas devem reduzir seu tempo de horas terra em mais de 97%. Esse número é expressivo e pode ser um indicativo para que as empresas que realizam voos principalmente regionais repensem suas operações, não necessariamente no sentido de terem mais aeronaves, mas de minimizar o tempo ocioso em terra. Por exemplo, a Trip tem o dobro de aviões da Avianca e, no entanto, a última consegue ser mais eficiente no quesito de horas em terra.

O consumo de combustível é a variável que determina a incidência dos níveis de CO₂ no ar. As unidades cujo percentual está abaixo de 50% nos índices de melhoria representam apenas 27,27% das empresas ineficientes. Isso indica que oito unidades ineficientes devem reduzir mais que 50% do consumo de combustível para serem consideradas ecoeficientes. Na Tabela 3, são demonstradas as diferenças entre o consumo de combustível efetivo ou real (dados brutos) do ótimo (objetivo a ser atingido) pelas empresas, bem como os percentuais de melhoria desta variável. De todas as empresas, a que deve apresentar uma maior melhoria é a empresa Team. As empresas cujas frotas são maiores no grupo das ineficientes, a Avianca e Trip, são as que têm maior consumo de combustível e, portanto, são os que geram maior quantidade de emissões poluentes ao meio, são as mais ecoeficientes, por apresentarem índices inferiores de melhorias. Empresas que obtêm uma quantidade pequena de aviões estão poluindo mais, em relação ao que deveriam em comparação com as empresas de maior porte. Porém, em termos de quantidade emitida de CO₂ no setor, todas as empresas ineficientes com exceção das maiores entre elas, Avianca e Trip, são responsáveis por apenas 1,69% do total de emissões. As duas empresas ineficientes maiores citadas anteriormente somam 4,13%. Os outros 94,18% da poluição são gerados em decorrências das atividades de voo das quatro empresas eficientes. As estimações de CO₂ no setor são discutidas na parte 4.3 dos resultados. A seguir são demonstrados os escores de eficiência das empresas de transporte de carga.

DMUS	Efetivo	Ótimo	Diferença	Melhoria (%)
AVIANCA	101121508	79132832,6	21988675,41	21,74
TRIP	83527528	57005606,9	26521921,12	31,75
META	1369360	729568,98	639791,02	46,72
SETE	1487357	685862,02	801494,98	53,89
PASSAREDO	34026060	15434103,9	18591956,11	54,64
PANTANAL	23523997	10057896,5	13466100,54	57,24
PUMA	12100540	4449252,4	7651287,6	63,23
ABAETÉ	206584	70229,86	136354,14	66,00
SOL	318622	81938,61	236683,39	74,28
NHT	1843122	377823,65	1465298,35	79,50
TEAM	675251	110252,99	564998,01	83,67

Tabela 3 – Consumo ótimo e efetivo da variável combustível (em litros).

Fonte: Elaborada pelos autores

4.2 Determinação da Eficiência Técnica Ambiental de Empresas de Transporte Aéreo de Carga

Para as empresas de transporte de carga é possível observar que os escores variam de 20,30% a 100% (Tabela 4), sendo que duas empresas atingiram o escore de 100%. Duas empresas apresentaram escore superior a 50%; o escore médio foi de 65,04%. As empresas de transporte de carga que operam na fronteira de eficiência são a Absa e a Master Top. Apenas uma delas opera com voos internacionais, a Absa. E, diferente do transporte de passageiros, no qual a questão da escala das empresas foi um fator relacionado aos escores de eficiência, para este tipo de atividade não é o que ocorre. A Varig Log possui a maior quantidade de mão-de-obra e de capital (Frota) e, conforme se pode observar na Tabela 4, não é eficiente. A Absa possui uma diferença positiva discrepante com a variável tonelada vezes quilômetro utilizada paga (RTK) em relação às demais, com o uso mínimo de recursos.

DMUs	ABSA	MASTER TOP	RIO LINHAS AÉREAS	VARIG LOG	MEGA
Escore %	100	100	54,7	50,2	20,3

Tabela 4 – Escores das empresas de transporte de carga

Fonte: Elaborada pelos autores

A empresa que menos gera impacto negativo ao meio ambiente, é a empresa Mega, por ser menor e consumir menos combustível. Contudo, ela é também a empresa que gera menos produto ou resultados em seus serviços, por isso a mesma é ineficiente em relação às outras. A questão, portanto, é de verificar qual o máximo de carga paga que ela deve operar em relação ao que as outras unidades são capazes. O objetivo é de diminuir os insumos para que se possa maximizar a capacidade de receita. De forma relativa verificam-se os possíveis percentuais de melhoria das empresas ineficientes (Tabela 5). O maior desvio padrão de todas as variáveis é o número de funcionários terra, que representa 24,61% (Tabela 5). A justificativa desta variação alta em relação à média (73,29%) é a Varig Log que tem um número considerável de funcionários em terra. Isso pode sugerir mudanças para esta empresa neste sentido, concordando com Sampaio e Melo (2008) ao definir este insumo como importante na determinação de eficiência, dado que as empresas, por exemplo, estão disponibilizando muitos serviços via internet.

Já a variável consumo de combustível, embora tenha média de melhoria relativamente baixa, tem o segundo maior desvio padrão, de 18,67%. Na Tabela 6 visualizam-se os valores efetivos e ótimos do consumo de combustível.

DMUS	Fro %	Fvoo %	Ftrr %	Comb %	Htrr %	Rtk %
RIO LINHAS AÉREAS	71,20	78,22	45,31	45,30	70,54	0,00
VARIG LOG	90,00	82,43	91,57	49,84	94,29	0,00
MEGA	100,00	98,67	83,00	79,67	99,89	0,00
MÉDIA	87,07	86,44	73,29	58,27	88,24	0,00

MÁXIMA	100,00	98,67	91,57	79,67	99,89	0,00
MÍNIMA	71,20	78,22	45,31	45,30	70,54	0,00
DESVIO PADRÃO	14,62	10,80	24,61	18,67	15,58	0,00

Tabela 5– Percentuais de melhorias

Fonte: Elaborada pelos autores

Dentre as empresas ineficientes do transporte de carga, verifica-se o quanto de consumo de combustível deve ser minimizado para que se projetem na fronteira de eficiência. Das três empresas a de menor eficiência ambiental é a Mega. Embora impacte menos com poluição no meio ambiente, seu percentual de melhoria representa quase o dobro da empresa Rio, a mais eficiente entre elas. Esta tem a maior utilização de combustível, representando 61,70% do total de consumo das três e proporcionalmente, maiores emissões de CO₂. Contudo, pela sua melhor combinação na utilização dos outros insumos, ainda é mais eficiente que as outras. Representa 21,69% do total de emissões de CO₂ das empresas de transporte de carga, enquanto as duas eficientes emitem 64,80%.

DMUs	Efetivo	Ótimo	Diferença	Melhoria (%)
Rio Linhas Aéreas	32232964	17630828	14602136	45,30
Varig Log	19838092	9951481,90	9886610,08	49,84
Mega	186453	37912,10	148540,90	79,67

Tabela 6 – Consumo ótimo e efetivo da variável combustível

Fonte: Elaborada pelos autores

4.3 Emissões de CO₂ das empresas de aviação comercial

A partir dos dados efetivos do consumo de combustível em litros das empresas de aviação brasileiras e regulares, é possível estimar o total de emissões de CO₂ que está sendo gerada com as atividades de voo no ano de 2010. Foi utilizado para o cálculo um fator de emissão apresentado no Inventário de emissão de CO₂ da Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná - SEMA-PR (2009). A quantidade estimada de emissões com relação às atividades de voo das empresas no ano de 2010 é de 10.991 GgCO₂. De forma comparativa, equivale a 11,47% do total da quantidade de emissões estimada no Estado de São Paulo pelo CETESB no ano de 2008, de 95.762 GgCO₂. As empresas do transporte de carga são responsáveis por 365,70 GgCO₂ e, do transporte de passageiros 10625,62 GgCO₂. Ou seja, 3,32% do total de emissões são geradas pelo transporte de carga. O restante, 96,67% é gerado pelo transporte de passageiros.

Segundo dados do inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa de São Paulo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES, 2011) o percentual de toneladas de CO₂ equivale a 20% do indicador nacional. Então, se no ano de 2008 foram emitidos 95.762 GgCO₂ (20% da quantidade nacional), estima-se que em 2010 o setor da aviação emitiu cerca de 2,30% do total de emissões no Brasil, considerando apenas o total emitido em relação a atividade de serviço de voo, com base no consumo do combustível das aeronaves. Desconsideram-se as quantidades geradas pelas empresas com a frota de automóveis utilizados pelos funcionários das mesmas e outras atividades em terra. Com base nos percentuais de melhorias calculados do consumo de combustível para se operar de forma eficiente relativamente é possível se chegar à redução de emissões de CO₂. Os resultados demonstram o quanto é possível reduzir as emissões de CO₂, gerando resultado econômico e ambiental. Para o transporte de passageiros é possível a redução de 226 GgCO₂, o que representa uma redução de 2,05% do total de emissões das empresas e 0,047% do total nacional. Para o transporte de carga é possível a minimização de 60,62 GgCO₂, representando redução de 0,55% do total de emissões das empresas e 0,01% a nível nacional.

No total as empresas que não estão operando na fronteira de eficiência no setor poderiam contribuir na redução de 0,05% de emissões CO₂ a nível nacional, se conseguirem as melhorias na redução do consumo de combustível recomendadas por este estudo. Desse total

de melhoria, 94% é de responsabilidade das empresas de transporte de passageiros.

Deve-se salientar que esses resultados tratam das emissões proporcionais ao consumo de combustível, não podendo ser considerados como o total de emissões gerado pelo setor. Além disso, os valores em relação aos percentuais de melhorias das emissões são relativos às empresas eficientes, que serviram de *benchmark* para o cálculo, não podendo, portanto, ser considerados como absolutos. Ademais, o presente estudo não considerou todas as empresas do setor, aspecto já explicado na seção 3.

4.4 Discussões de estudos relacionados

Vellani (2007) propõem uma categorização de forma a atribuir melhorias para a gestão ambiental. As ações ecológicas que podem agregar ecoeficiência são internas e envolvendo indicadores operacionais. Para finalidade de controle gerencial, essas devem ser separadas dos programas voltados ao desenvolvimento sustentável da sociedade, que se referem aos indicadores externos. De fato, criar um conjunto de indicadores operacionais tanto de entrada como de saída do sistema empresarial proporciona a aplicação de métodos de gestão. No caso da Aviação Comercial Brasileira, criar indicadores ambientais, de saídas negativas, de emissões e poluentes, como as emissões de CO₂ estimadas nesse trabalho, proporciona informações para avaliar a ecoeficiência.

Nesse trabalho o conceito eficiência ambiental é uma extensão do conceito de eficiência. Dessa forma, seria inadequado o cálculo da eficiência ambiental sem utilizar as variáveis que constituem a função de produção, onde $Q = F(L, K, \tau)$. Os estudos de Rafaeli (2009), Zhang et al. (2008), Burnett e Hansen (2008) têm suas funções de produção com variáveis ambientais. Entre os insumos mais usados, além de capital e pessoal, está o consumo de recursos naturais, como a água, a energia elétrica e as matérias-primas. Os produtos negativos usados foram emissões atmosféricas como, por exemplo, o CO₂.

Estudou-se, nesse trabalho, o conceito de eficiência ambiental do setor de aviação civil comercial e foram utilizadas as variáveis de insumos capital (frota), pessoal (funcionários) e consumo de combustível, sendo que a última variável serviu de base para a análise ambiental. Permitiu-se saber o quanto as empresas estavam sendo ineficientes em relação às emissões de CO₂ das atividades de voo e o quanto as mesmas podem minimizar esse fator, independente de tamanho, para que operem na fronteira de eficiência e contribuam para um Brasil mais limpo, em termos ecológicos.

5 Considerações finais

Nesse trabalho fez-se uma abordagem sobre a eficiência operacional, com enfoque para a questão ambiental, dadas as várias iniciativas a nível internacional que vem sendo discutidas. O setor escolhido foi o de serviços na área de Aviação Civil, visto que o mesmo tem passado por diversas mudanças nos últimos vinte anos, que refletiram na forma de como gerir suas atividades para maximizar sua eficiência.

Foi possível analisar a eficiência relativa ambiental das empresas aéreas brasileiras. Para a determinação da eficiência das empresas utilizou-se a metodologia da análise envoltória de dados (DEA), com base no modelo CCR, que considera retornos constantes de escala e foi considerado adequado para este estudo. As variáveis utilizadas como insumos e produtos foram escolhidas com base em estudos anteriores no setor da aviação com a mesma metodologia, bem como a partir do conhecimento adquirido junto à agência nacional da aviação civil e considerando os dados disponíveis. Além disso, como o objetivo foi de analisar a eficiência ambiental, precisou-se escolher pela opção de orientação a insumo, usando o consumo de combustível para estimá-la.

A análise envoltória de dados permitiu resultados relativos, ou seja, um comparativo entre todas as DMUs que fizeram parte da amostra. Por isso, os resultados não podem ser

considerados absolutos, ou comparáveis com outros setores, de forma direta. Os escores de eficiência encontrados no trabalho podem ser vistos como um indicador para auxiliar na avaliação de desempenho das empresas. Entre as empresas que prestam serviço de transporte de passageiros, as eficientes são também as que proporcionam voos de maiores distâncias, e que tem uma maior participação de mercado. Entre elas estão a Azul, Tam, Webjet e Gol/Vrg. E, entre as que prestam serviço de transporte de carga, são eficientes a Absa e a Master Top.

Além da análise de eficiência relativa, foram estimadas as quantidade de CO₂ emitidas pelas empresas brasileiras em decorrência da atividade de voo, com base na variável consumo de combustível em litros. As empresas de aviação estudadas em 2010 foram responsáveis por cerca de 2,30% do total de emissões no Brasil. Além disso, constatou-se que é possível a redução de 226 GgCO₂ para as empresas do transporte de passageiros, representando redução de 0,047% do total nacional. Para o transporte de carga é possível a minimização de 60,62 GgCO₂, representando redução de 0,01% a nível nacional.

Esse trabalho pôde contribuir para determinar a eficiência operacional com enfoque ambiental. A eficiência foi determinada com a metodologia DEA, com o uso de variáveis como mão de obra e capital, somadas a variáveis ambientais. Além disso, o presente estudo pode servir de complemento ou de comparativo para os sistemas e indicadores de eficiência já utilizados pela Agencia Nacional de Aviação Civil - ANAC.

É importante a criação de modelos e instrumentos de mensuração que possam contribuir para a análise dos impactos ambientais. Esse trabalho buscou contribuir nesse sentido. A carência de literatura e de publicação de trabalhos voltados à eficiência ambiental no setor de aviação comercial acarretou em esforço de conhecimento técnico tanto das variáveis como da metodologia.

Nesse trabalho foi realizada avaliação com indicadores operacionais, visto que a ecoeficiência relaciona-se com a operação da empresa. Contudo, esta aplicação é insuficiente para um diagnóstico completo do setor, devido à necessidade de compilar esta análise com as de caráter financeiro. Entretanto, conforme Hammer (2007), na prática, a eficiência ambiental parece ser uma questão ainda não resolvida pelos gestores, precisando aprimoramentos.

Por fim, conclui-se que o modelo DEA pode ser utilizado para gerar informações que subsidiem a gestão para a ANAC bem como para as empresas, podendo ser aplicado com os insumos e produtos considerados como relevantes pelos mesmos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa é apresentado no auditório da SMA/CETESB.** São Paulo, 25 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/noticias/19-noticias-abes/130-inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-e-apresentado-no-auditorio-da-smacetesb>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Providence, RI, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BURNETT, R. D.; HANSEN, D. R. Ecoefficiency: defining a role for environmental cost management. **Accounting, Organizations and Society**, Oxford, v. 33, n. 6, p. 551-581, 2008.

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

CHOI, K. W.; ROH, Y. S.; YOON, J-H. An empirical examination of productivity of a chain restaurant using Data Envelopment Analysis (DEA). **International Journal of Quality and**

Productivity Management, Midland, MI, v. 7, n. 1, p. 47-67, 2007.

COLI, M; NISSI, E; RAPPOSELLI, A. Monitoring environmental efficiency: an application to Italian provinces. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 38-43, 2011.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (CE) N.º 71/2008 do Conselho de 20 de Dezembro de 2007 relativo à constituição da empresa comum Clean Sky. **Jornal Oficial da União Europeia**, [Lisboa], L 30, p. 1-20, 04 fev. 2008. Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:030:0001:0020:PT:PDF>> . Acesso em: 12 nov. 2011.

CORREIA, T. C. V. D.; MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A. Eficiência técnica das Companhias aéreas brasileiras: um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos. **Revista Produção**, Niterói, RJ, v. 21, n. 4, p. 676-683, 2011.

CÔTÉ, R.; BOOTH, A.; LOUIS, B. Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 6-7, p. 542-550, 2006.

DAHLSTRÖM, K.; EKINS, P. Eco-efficiency trends in the UK steel and aluminum Industries: differences between resource efficiency and resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, Mass., v. 9, n. 4, p. 171-188, 2005.

DÜZAKIN, E.; DÜZAKIN, H. Measuring the performance of manufacturing firms with super slacks based model of data envelopment analysis: An application of 500 major industrial enterprises in Turkey. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 182, n. 3, p. 1412-1432, 2007.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 2009.

GELO, O; BRAAKMANN, D; BENETKA, G. Quantitative and qualitative research: beyond the debate. **Integrative Psychological & Behavioral Science**, New York, v. 42, n. 3, p. 266-290, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HAMMER, M. et al. The 7 deadly sins of performance measurement and how to avoid them. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, Mass., v. 48, n. 3, p. 18-28, 2007.

HAYNES, K. E.; DINC, M. Data Envelopment Analysis (DEA). In: **ENCYCLOPEDIA of social measurement**. San Diego: Elsevier, 2005. v. 1, p. 609-616.

HENRI, J-F.; JOURNEAULT, M. Environmental performance indicators: an empirical study of Canadian manufacturing firms. **Journal of Environmental Management**, Oxford, v. 87, n. 1, p. 165-176, 2008.

ILINITCH, A. Y.; SODERSTROM, N. S.; THOMAS, T. E. Measuring corporate environmental performance. **Journal of Accounting and Public Policy**, New York, v. 17, n. 4, p. 383-408, 1998

MELLO, J. C. C. B. S. et al. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 23,

n. 2, p. 325-345, 2003.

MILLER, R. L. **Microeconomia**: teoria, questões e aplicações. São Paulo: McGraw–Hill, 1981.

MIOTTO, G. R; SOUZA M. A; DIEHL, C. A. Análise da tecnologia como determinante de custos no setor de aviação comercial brasileiro. **Anais...**, XIV Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos. João Pessoa - PB, 2007.

MUKHERJEE, K. Measuring energy efficiency in the context of an emerging economy: The case of indian manufacturing. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 201, n. 3, p. 933-941, 2010.

OLSTHOORN, X. et al. Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 9, n. 5, p. 453-463, 2001.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Inventário de Emissão de CO₂ da SEMA-PR visando sua redução e neutralização 2007**. Curitiba, 2009.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **RAC**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.

RAFAELI, L. **A análise envoltória de dados como ferramenta para avaliação do desempenho relativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2009.

RODRIGUEZ-FERRERO, N.; SALAS-VELASCO, M.; SANCHEZ-MARTINEZ, M. T. Assessment of productive efficiency in irrigated areas of Andalusia. **International Journal of Water Resources Development**, Dublin, v. 26, n. 3, p. 365-379, 2010.

SAMPAIO, B.; MELO, A. S. Análise da eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras, **Revista Análise Econômica**, Porto Alegre, ano 26, n. 50, p. 223–244, 2008.

SHANK, J.K; GOVINDARAJAN, V. **A Revolução dos Custos**: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos. Rio de Janeiro: Campus, 3ªed., 1997.

TAUER, L. W.; FRIED, H. O.; FRY, W. E. Measuring efficiencies of Academic Departments within a College. **Education Economics**, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 473-489, 2007.

VELLANI, C. L. **A ciência contábil e a eco-eficiência dos negócios**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) -- Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, São Paulo, SP, 2007.

WOLFE, K. L. Green Administration: how to reduce energy consumption and cut administrative costs. **Benefits & Compensation Digest**, Brookfield, WI, v. 46, n. 5, p. 22-24, 2009.

YU, W.; RAMANATHAN, R. An assessment of operational efficiency of retail firms in China. **Journal of Retailing and Consumer Services**, Oxford, v.16, n. 2, p. 109–122, 2009.

ZHANG, B. et al. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n. 1-2, p. 306-316, 2008.