

Eficiência Econômico-ambiental Na Indústria Automobilística Brasileira

Marcelo Bentes Diniz

Ronaldo A. Arraes

Resumo:

Este artigo objetiva analisar uma questão ambiental enfocando maximização de eficiência ambiental decorrente da produção na indústria automobilística brasileira. Dentre as abordagens metodológicas disponíveis para tratar o assunto optou-se usar a Data Envelopment Analysis (DEA) onde, dentre suas várias aplicações, há a possibilidade de se medir a performance ambiental considerando-se as externalidades ambientais tanto como produto como insumo. Alguns autores têm considerado diferentes alternativas de abordar e aplicar variáveis ambientais da forma insumo/produto na metodologia DEA. Não obstante, optou-se pela abordagem proposta por Reinhard et al (2000), o qual considerou eficiência ambiental como a razão entre o mínimo valor possível do insumo detrimento ambiental e o seu valor observado, condicionado aos níveis observado de produto e os insumos convencionais. Desta feita, com base nesta metodologia foi determinada a eficiência ambiental da indústria automobilística brasileira, de onde se pode concluir a indicação de que cerca de 80% das empresas não atingem satisfatoriamente o índice de eficiência ambiental.

Área temática: *Gestão Ambiental Baseada em Custos*

EFICIÊNCIA ECONÔMICO-AMBIENTAL NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

TRABALHO 053

Resumo

Este artigo objetiva analisar uma questão ambiental enfocando maximização de eficiência ambiental decorrente da produção na indústria automobilística brasileira. Dentre as abordagens metodológicas disponíveis para tratar o assunto optou-se usar a Data Envelopment Analysis (DEA) onde, dentre suas várias aplicações, há a possibilidade de se medir a performance ambiental considerando-se as externalidades ambientais tanto como produto como insumo. Alguns autores têm considerado diferentes alternativas de abordar e aplicar variáveis ambientais da forma insumo/produto na metodologia DEA. Não obstante, optou-se pela abordagem proposta por Reinhard et al (2000), o qual considerou eficiência ambiental como a razão entre o mínimo valor possível do insumo detrito ambiental e o seu valor observado, condicionado aos níveis observado de produto e os insumos convencionais. Desta feita, com base nesta metodologia foi determinada a eficiência ambiental da indústria automobilística brasileira, de onde se pode concluir a indicação de que cerca de 80% das empresas não atingem satisfatoriamente o índice de eficiência ambiental.

Palavras chave: Eficiência Ambiental, DEA, Indústria Automobilística Brasileira

Área temática: (2) Gestão Ambiental Baseada em Custos

1. Introdução

Pelas características de uso de seus produtos, algumas indústrias geram externalidades ambientais significativas, tanto ao meio ambiente com efeitos indiretos sobre as pessoas como também afetam diretamente estas próprias pessoas. A indústria automobilística é um caso típico do primeiro caso, uma vez que os motores de combustão dos veículos automotores são apontados como principais responsáveis pelo efeito estufa, bem como da poluição atmosférica das principais grandes cidades do planeta. Soma-se a isto a poluição sonora, os congestionamentos e as perdas de vidas humanas provocadas por acidentes de carros e temos aí uma deseconomia externa que segundo cálculos do SMA/CETESB (1998) só na cidade de São Paulo implicaria em prejuízos de até 1,6 bilhão de dólares ao ano.

Em muitos países do mundo, a legislação ambiental tem obtido sucesso contra a poluição atmosférica veicular, obrigando as montadoras a redefinir a engenharia dos veículos para respeitar padrões ambientais cada vez mais restritivos. Com isso, o investimento em novas tecnologias tem permitido a criação de veículos com motores elétricos, ou mesmo carros híbridos com níveis de emissão de poluentes zero.

No Brasil, desde a instalação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), por Resolução do CONAMA 1986, passaram a ser exigidas metas de emissão veicular a serem cumpridas pela indústria automobilística, o que levou a indústria automobilística nacional a introduzir diversas reformulações nos veículos como nos processos de ignição e carburação, sistemas de alimentação do motor (injeção eletrônica e conversor catalítico), bem como

catalisadores nos escapamentos dos veículos, entre outras inovações que melhoram o consumo de combustível dos veículos, diminuindo o nível de emissão de poluentes.

Apesar dos resultados do PROCONVE serem considerados satisfatórios (Seroa da Mota, 1996), a fragilidade no monitoramento de dados de poluição ambiental no país – somente o Estado de São Paulo possui uma rede integrada de monitoramento da poluição atmosférica – requer a determinação de indicadores que possam servir de parâmetros para a verificação da eficácia e eficiência das medidas adotadas pelo PROCONVE entre as montadoras do país. Um modo de verificar isto é através da chamada metodologia DEA, que a partir de unidades de decisão consideradas relativamente homogêneas permite o cálculo de índices de eficiência, dentre os quais, o índice de eficiência ambiental.

A DEA, desenvolvida inicialmente por Charnes et al. (1978), tem como características principais ser uma técnica não-estatística e não-paramétrica, a qual com a utilização da programação matemática, calcula índices de performance de atividades produtivas, mediante comparação com a “melhor prática”, ou “fronteira tecnológica”, isto é, a mais eficiente combinação de insumos e produtos (Fare et al., 2000). Assim sendo, com base no DEA, e se valendo da experiência de monitoramento da poluição atmosférica na cidade de São Paulo, faz-se, neste artigo, um estudo do que seriam os índices de eficiência ambiental, para o ano de 1997, da indústria automobilística brasileira.

2. Indústria Automobilística e Poluição Ambiental:

A produção da indústria automobilística gera alguns efeitos ambientais indiretos, decorrentes não do seu processo produtivo propriamente dito, mas sim de do uso do seu produto final, os veículos automotores. De fato, o uso de veículos automotores gera externalidades ambientais, caracterizadas como de caráter multilateral e não-exauríveis (non-depletables), isto é, existem inúmeros agentes geradores de externalidades, tal que a externalidade experimentada por um agente não é afetada pelo fato que outros agentes estão a experimentando (Mas-Colell et al., 1995).

Estas externalidades ambientais associadas a indústria automobilística podem ser divididas em 4 grupos: poluição atmosférica, poluição sonora, congestionamentos, acidentes com danos matérias e a vida humana.

No caso da poluição atmosférica, seja através de poluentes primários (emitidos diretamente pelas fontes geradoras), ou de poluentes secundários (reações químicas entre os poluentes primários e os componentes naturais da atmosférica), sua verificação é feita com o auxílio do chamado índice de qualidade do ar, que mede o grau de incidência dos poluentes atmosféricos mais frequentes: Material Particulado-MP, Óxidos de Enxofre-SO_x, Monóxido de Carbono-CO, oxidantes fotoquímicos (ozônio O₃), hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio-NO_x.

No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, iniciou a avaliação da qualidade do ar a partir de 1972, intensificando esse monitoramento ao final da década de 80 através do PROCONVE, que passou, inclusive, a definir os limites máximos de emissão para todos os veículos novos, leves e pesados, nacionais e importados. Consideram-se três categorias distintas para a determinação desses limites: veículos leves passageiros (automóveis), veículos leves comerciais e veículos pesados (ônibus e caminhões) e para ser comercializado, importado, ou nacional, o veículo precisa da “Licença para Uso da Configuração do Veículo ou Moto LCVM”, emitida pelo IBAMA. Os limites de emissão de gases por veículos automotores, em vários estágios do PROCONVE, são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1: Índice de Qualidade do Ar

Índice	Qualidade do Ar
0-50	Boa
51-100	Regular
101-199	Inadequada
200-299	Má
300-399	Péssima
> 400	Crítica

Fonte: CETESB

No Estado de São Paulo, A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, iniciou a avaliação da qualidade do ar a partir de 1972, intensificando esse monitoramento ao final da década de 80, com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, que passou, inclusive, a definir os limites máximos de emissão para todos os veículos novos, leves e pesados, nacionais e importados.

Em verdade, os limites são emitidos considerando três categorias distintas: veículos leves passageiros (automóveis), veículos leves comerciais e veículos pesados (ônibus e caminhões) e para ser comercializado, importado, ou nacional, o veículo precisa da “Licença para Uso da Configuração do Veículo ou Moto LCVM”, emitida pelo IBAMA. O PROCONVE estabeleceu três fases com relação aos veículos caracterizados como automóveis¹: Os limites de emissão de gases por veículos automotores, em vários estágios do PROCONVE, são mostrados no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 : Limites de Emissão de Gases por Veículos Automotores (Veículos Leves de Passageiros).

Tipo	Data	CO g/Km	HC g/Km	NO _x g/Km	MP g/Km	Aldeídos g/Km	Evaporativa G/Km
Veículos Leves de Passageiros	(a partir de 01/01/97)	2,0	0,3	0,6	0,05	0,03	6,0
Veículos Leves Comerciais	< 1700 Kg (a partir de 01/01/97)	2,0	0,3	0,6	0,128	0,03	-
	> 1700 Kg (a partir de 01/01/98)	6,2	0,5	1,4	0,16	0,06	-
Veículos Pesados	(a partir de 01/01/2000)	4,0	1,1	7,0	0,25	-	-

Fonte: IBAMA

¹ A classificação do PROCONVE (1998) é a seguinte: veículos leves de passageiros, são aqueles cuja massa total máxima não ultrapassa 3.856 Kg e a massa do veículo em ordem de marcha não ultrapassa 2.720 Kg projetado para o transporte de até 12 passageiros; veículos leves comerciais (utilitários), são aqueles veículos classificação no item anterior, projetado para o transporte de carga ou misto ou seus derivados, ou projetado para mais de 12 passageiros; veículos pesados (ônibus e caminhão), projetado para transporte de passageiro ou carga, cuja massa total autorizada ou do veículo em ordem de marcha seja superior ao do item 1.

Vale observar, que o grau de incidência de poluentes provocados pela emissão veicular, depende tanto da concepção tecnológica do motor como também, do tipo e qualidade dos combustíveis utilizados por esses veículos. Assim, para o caso brasileiro, em que é determinada (Resolução CONAMA, 1990), a adição de 22% de álcool a gasolina, ocorreram benefícios consideráveis do ponto de vista ambiental. De fato, a adição de etanol a gasolina trouxe uma redução de até 50% na emissão de CO₂ em relação às emissões da frota de veículos antiga, além da redução nas emissões de hidrocarbonetos, particulados, óxidos de enxofre e eliminação do chumbo (CETESB, 2001).

Quadro3: Efeitos da Poluição Atmosférica sobre a Saúde Humana.

Agente Poluidor	Efeitos sobre a Saúde Humana	Principais Fontes
Monóxido de Carbono (CO)	Causa tonturas e vertigens; Causa alterações do sistema nervoso central, inclusive, podendo ser fatal; Diminui a oxigenação do sangue.	Veículos
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Provoca coriza, catarro e danos irreversíveis ao pulmão; Em doses altas pode ser fatal.	Indústria e Veículos a diesel
Ozônio (O ₃)	Causa envelhecimento precoce; Diminui o sistema imunológico; Provoca irritações nos olhos, nariz e garganta e desconforto respiratório.	Ação da luz solar sobre os hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, resultantes do processo de queima de combustível.
Material Particulado (fumaça, poeira fuligem)	Agrava quadros alérgicos, de asma e bronquite; Causa câncer; Pode causar infecções gripais; Pode vir a agravar doenças respiratórias e cardíacas.	Veículos movidos a diesel, indústrias, desgastes dos pneus e freios dos veículos em geral. Ressuspensão de poeiras assentadas.
Hidrocarbonetos (HC)	Causa câncer nos pulmões; Provocam irritações na pele, olhos, nariz e aparelho respiratório.	Queima incompleta e evaporação dos combustíveis (álcool, gasolina e diesel) e outros produtos voláteis.
Aldeídos	Irritações nos olhos, nariz e garganta; Podem provocar câncer.	Veículos
Óxido de Nitrogênio (NO _x)	Podem provocar desconforto respiratório; Diminui a resistência a infecções e alterações celulares.	Processo de Combustão em geral. Veículos.

Fonte: SMA/CETESB (1998), apud Macedo (2000).

Como parte, ainda, do PROCONVE, a cada ano as montadoras são obrigadas a apresentar no mercado, modelos com emissão decrescente de emissão de poluentes. A

meta é se chegar aos padrões europeus com 0,2 g/Km de monóxido de carbono; 0,6 g/Km de óxidos de nitrogênio e 0,3 g/Km de hidrocarbonetos.

Ao longo desses mais de 15 anos de vigência do PROCONVE, em termos do cumprimento das exigências legais pelas montadoras os resultados são considerados bastante satisfatórios, haja vista a redução média da ordem de cerca de 90% na emissão de poluentes de veículos novos (1998), em relação a data de implantação do programa (CETESB, 2001).

Entre os gases e demais agentes tóxicos emitidos pelos veículos automotores e seu respectivo efeito sobre a saúde humana destacam-se conforme o Quadro 3 acima.

Além dos danos relacionados, a alta concentração de poluentes em dias de baixa umidade pode acarretar complicações respiratórias, com o ressecamento das mucosas e sangramento do nariz, além de outros problemas como irritação dos olhos.

O aumento da concentração CO₂ na atmosfera é, inclusive, um dos responsáveis pelo chamado efeito estufa, que consiste no superaquecimento das camadas inferiores da atmosfera, dada uma maior radiação infravermelha emitida pelo sol.

Segundo estudo realizado pela CETESB (1998), na Região metropolitana de São Paulo, a principal origem de poluição atmosférica deve-se a emissão de veículos automotores. O Quadro 4, a seguir, mostra a fonte de emissão por tipo de poluente no ano de 1997, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Quadro 4: Poluição Atmosférica na RMSP - 1997

Fonte de Emissão			Emissão (1.000 t/ano)				
			CO	HC	NO _x	SO _x	MP
M Ó V E L	Tubo de Escapamento de Veículos	Gasolina	907,8	78,2	49,6	8,5	4,2
		Álcool	230,4	26,8	15,6	-	-
		Diesel	271,5	44,2	198,3	17,2	12,4
		Táxi	35,9	3,2	2,0	0,3	0,1
		Motocicletas	38,9	5,2	0,3	0,3	0,1
	Carter e Evaporativa	Gasolina	-	121,8	-	-	-
		Álcool	-	26,8	-	-	-
		Motocicletas	-	2,8	-	-	-
	Pneus	Todos	-	-	-	-	6,0
	Combustível Operações de Transferência	Gasolina	-	24,4	-	-	-
		Álcool	-	5,1	-	-	-

Fonte: CETESB (1998), apud Macedo (2000).

Como a participação de carros movidos a álcool, no ano de 1997, foi de apenas 0,1% do total de veículos produzidos, em todas as categorias, isto é, automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, esta categoria não será considerada em termos dos veículos vendidos em 1997 e seu potencial poluidor. Do total produzido em 1997 na categoria automóveis, 98,8%, correspondeu a veículos a gasolina, 1,1% diesel e 0,1% a álcool; na categoria comerciais leves, 73% correspondeu a veículos movidos a gasolina, 27% movidos a diesel e 0,1 % a álcool, enquanto para as categorias ônibus e caminhões todos os veículos foram produzidos a diesel (ANFAVEA, 2002).

3. Medida de Eficiência Ambiental: A Determinação de um Conceito

3.1 Conceitos Iniciais

Produtividade:

A definição mais simples de produtividade de uma unidade produtiva, diz respeito à relação entre os produtos que ela gera e os insumos utilizados para gerá-los. Uma medida de produtividade simples seria expressa como:

$$\text{Produtividade} = \text{produtos/insumos}$$

Quando o processo produtivo envolve um único produto e um único insumo esse cálculo é trivial. Todavia, quando existe mais de um produto e/ou mais de um insumo, passa a ser necessário um método que agregue esses insumos e/ou produtos na forma de um número índice.

Observe-se que, no caso da existência de mais de um fator produtivo a medida de produtividade refere-se a produtividade total dos fatores, o qual é uma medida envolvendo todos os fatores de produção (Coelli, Rao, Batesse, 1998). Entretanto, existem medidas de produtividade parcial relacionadas apenas a um fator de produção, tal como a produtividade do trabalho, que diz respeito somente a medida de produtividade do fator trabalho.

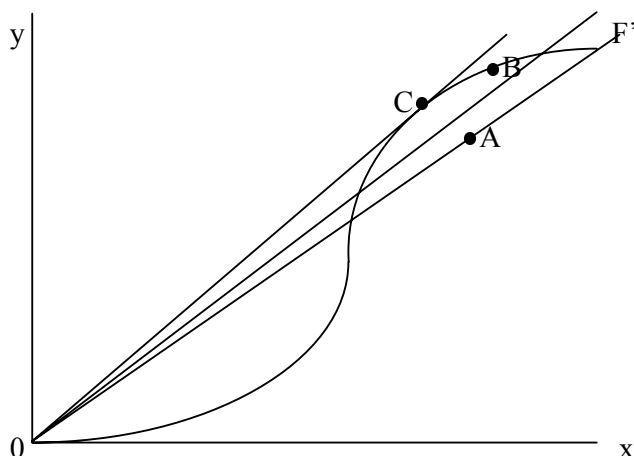
Eficiência:

A análise da eficiência tem sido uma das questões centrais da análise econômica aplicada as mais diversas áreas científicas, objeto particular da teoria microeconômica. Em termos amplos, eficiência significa o melhor resultado que um agente (economia) pode obter frente as restrições que lhe são impostas (disponibilidade de recursos e tecnologia). Daqui deriva o conceito de Ótimo de Pareto, como a alocação factível socialmente desejável, que pode ser expresso como:

“uma alocação (x, y) é Pareto-Ótima (ou Pareto-Eficiente), se não existir qualquer $(x', y') \in A$ (conjunto de alocações factíveis) que a Pareto-domine, isto é, se não existir outra alocação factível (x', y') , tal que $x_i' \geq x_i$ para todo i e $x_i' > x_i$, para algum i ”. (Mas-Colell, A. et. al, 1995). Ou dito de outra forma: uma alocação é Pareto-eficiente se é impossível fazer qualquer consumidor estritamente melhor sem tornar algum outro pior, em termos de bem-estar.

Para ilustrar a diferença entre produtividade e eficiência, considere-se a figura 1 a seguir. A linha OF' nesta figura representa a fronteira de produção, em termos do máximo de produto que é obtido para cada nível de insumo. Desse modo, ela reflete o estágio atual da tecnologia disponível de produção (naquela indústria). Qualquer firma que opere sobre a linha OF' é dita tecnicamente eficiente, caso contrário é dita tecnicamente ineficiente. Por exemplo, uma firma situada no ponto A é tecnicamente ineficiente, uma vez que, ela pode aumentar o produto, com o mesmo insumo. Em B, portanto a firma seria tecnicamente eficiente.

Figura 1: Distinção entre Eficiência e Produtividade



Diferentemente, a medida da produtividade pode ser tomada como a inclinação de uma raio que passa pela origem e alcança um ponto qualquer tal como A e B, uma vez que a inclinação deste raio será sempre y/x . Se a firma operando em A fosse se mover para o ponto B, (tecnicamente eficiente), a inclinação do raio aumentaria implicando um aumento de produtividade em B.

O raio que passa pela origem e é tangente a fronteira de produção define a máxima produtividade possível. Isto ocorre no ponto C da figura. Este ponto é dito tanto tecnicamente eficiente, como também, de produtividade máxima. Aqui, define-se outro conceito, o de escala ótima de produção, isto é, àquela escala de operação de mais alta produtividade, ou aquela escala de operação que fornece a melhor relação entre a quantidade de produto resultante, para um dado nível de insumo utilizado.

Do que foi dito, pode-se concluir que uma firma pode ser tecnicamente eficiente e ainda, assim, pode aumentar sua produtividade explorando economias de escala. (Coelli, Rao, Batesse, 1998).

Quando se considera mudança de produtividade através do tempo, uma outra fonte de produtividade pode surgir, a mudança técnica. Mudanças técnicas dizem respeito a avanços tecnológicos que possibilitam com um mesmo nível de insumo maiores quantidades de produto. Em termos da figura 1, significaria um deslocamento para cima da função de produção.

Por outro lado, quando as informações sobre os preços dos insumos são disponíveis, então, uma nova medida pode ser considerada, a eficiência alocativa. Eficiência alocativa denota a combinação de insumos, dados os seus preços, o qual permite produzir uma dada quantidade de produto ao menor custo possível (isto é, ao mínimo custo).

Eficiência alocativa juntamente com eficiência econômica fornecem uma medida de eficiência econômica total.

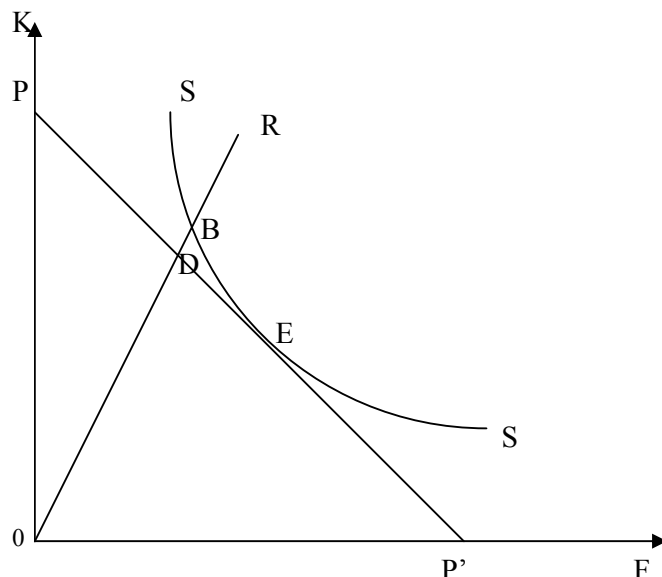
3.2 Medidas de Eficiência

Seguindo o “survey” acerca das medidas de eficiência realizado por Kapp (1981), a conceituação inicial, deve-se a Farrell (1957) que propôs pela primeira vez que uma medida para eficiência produtiva poderia ser dividida em duas partes um

componente refletindo a eficiência física da transformação na produção insumo-produto, chamado de componente técnico e um componente relacionado a eficiência econômica, enquanto alocação ótima do fator, chamado de eficiência-preço.

A figura 2 a seguir ilustra a determinação dos componentes da eficiência para o caso de um produto e dois insumos.

Figura 2. Medida de Eficiência Técnica e Alocativa



Para uma dada combinação de insumos como em R, o grau de ineficiência técnica TE seria dado pela razão OB/OR, uma medida insumo baseada, que corresponde a melhor prática do uso do insumo em relação a prática corrente, para um dado nível de produto. Por sua vez, considerando a linha de isocusto PP', a razão OD/OB corresponderia a eficiência econômica ou alocativa, uma vez que a distância DB representaria a redução no custo de produção que ocorreria se a produção fosse ocorrer no ponto de alocativamente eficiente E, ao invés de ocorrer no ponto tecnicamente eficiente, mas alocativamente ineficiente no ponto R.

Farell combinou, então, as duas medidas em uma única medida a qual chamou de eficiência produtiva total, traduzida por:

$$OPE = TE \times AE = \frac{OB}{OR} \times \frac{OD}{OB} = \frac{OD}{OR}$$

3.2.1 Medida de Eficiência Ambiental:

Existem diferentes medidas de performance ambiental, bem como as definições na literatura de eficiência ecológica e ambiental dependem do contexto de aplicação e de influências subjetivas (Allen, 2001). No entanto, como uma definição mais genérica no contexto das proposições do desenvolvimento sustentável, a definição do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), e considerada por alguns autores como a melhor (Allen, 2001):

Eco-eficiência é alcançada pela entrega de bens e serviços cujos preços são estabelecidos competitivamente que satisfazem as necessidades humanas e trazem qualidade de vida, enquanto progressivamente reduzem os impactos ambientais e a intensidade de recursos através do ciclo de vida, para um nível de pelo menos em linha com a capacidade de sustentação estimada da terra.

Colocar isto em termos de indicadores de performance ambiental apresenta dificuldades, principalmente, em termos de dados e escalas de medidas, das variáveis ambientais detrimenais. Porém, os índices de performances ambientais, têm se baseado em ajustamentos das medidas convencionais de eficiência produtiva.

Ainda, segundo (Reinhard, et al. 2000), os índices de performance ambiental podem ser categorizados como aqueles que são calculados usando técnicas determinísticas, os quais podem ser paramétricos e não-paramétricos, e aqueles que são estimados usando técnicas estocásticas, as quais são exclusivamente paramétricas. O índice também pode ser categorizado com base se ele trata os efeitos ambientais como produtos ou como insumos. Neste particular, o “survey” apresentado por Cropper e Oates (1992) faz uma apresentação dessa discussão.

Färe et al. (1989) tratou efeitos ambientais como produtos indesejáveis, e eles desenvolveram uma medida de eficiência hiperbólica que avalia a performance dos produtores em termos da habilidade de se obter um aumento equiproporcional nos produtos desejáveis e redução dos produtos indesejáveis. Eles desenvolveram suas medidas sobre uma tecnologia fortemente disponível (“strongly disposable”) (aplicável se produtos indesejáveis são freely disposable) e sobre uma tecnologia fracamente disponível (“weakly disposable”) (aplicável quando é custoso se desfazer dos produtos indesejáveis, talvez devido a ação regulatória).

Reinhard et al (1999) estimou uma fronteira de produção translog estocástica, usando dados em painel de fazendas leiteiras da Holanda, no qual ofertas de nitrogênio foi tratada como um insumo ambientalmente prejudicial. Eles calcularam eficiência técnica e eficiência ambiental, esta última sendo calculada como a relação do mínimo possível ao uso observado de oferta de nitrogênio, condicional aos níveis observados de produto desejável e insumos remanescentes.

Define-se eficiência ambiental como a razão entre o mínimo factível e o uso observado de insumos ambientais detrimenais, condicionado aos níveis observados do produto desejável e insumos convencionais Reinhard et al (2000). Por essa definição, variáveis ambientais detrimenais são tratadas simplesmente como um outro fator de produção, de forma que redução na sua emissão resulta em redução do produto, e, portanto, existe uma relação bem definida entre variáveis ambientais e o comportamento do produto da mesma forma que com relação a outro insumo convencional.

A eficiência ambiental como definida acima é uma medida não-radial insumo-orientada de eficiência técnica que é permitida para uma redução radial dos insumos ambientais detrimenais. Esta definição pode ser melhor entendida com auxílio da figura 3 a seguir:

Figura 3. Fronteira de Produção com um “mal” insumo Z, no espaço convencional de insumo X:

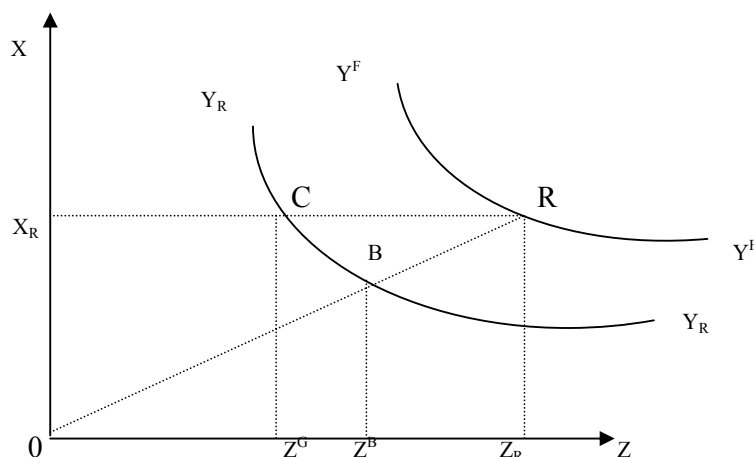
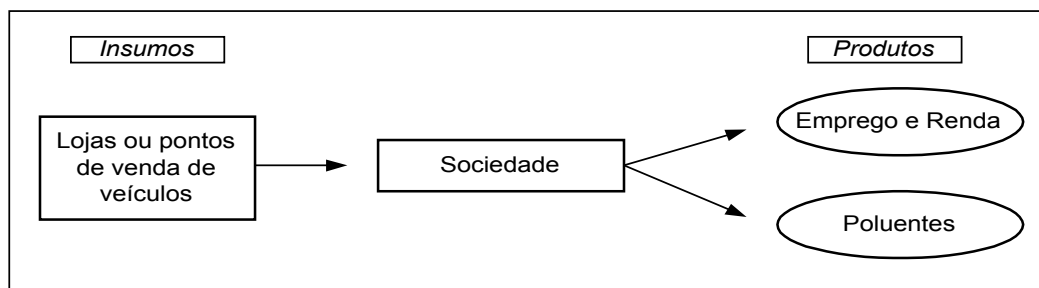


Figura 3 representa uma fronteira de produção no espaço de insumos, entre um insumo convencional X e um insumo ambiental detrimental Z, mantendo o nível de produto constante em seu valor observado Y_R . A eficiência ambiental neste caso de um “mal insumo” é igual a $|oz^G|/|oz_R|$.

3.2.2 Medida de Eficiência Usando DEA

Entre suas várias aplicações, a avaliação de desempenho por Data Envelopment Analysis (DEA) trata como unidades produtivas cidades, regiões, países, times de esporte, rendimento escolar, entre muitas outras. No contexto de uma cidade, por exemplo, a avaliação toma por produtos certas dimensões da qualidade de vida, enquanto como insumos, despesas orçamentárias com saúde, educação, habitação, entre outras. Sob a perspectiva de sistema de produção, pode-se incluir as externalidades negativas geradas em uma unidade produtiva, em suas avaliações de desempenho. No caso do setor automobilístico, pode-se contabilizar não somente indicadores econômicos, como renda gerada ou número de empregos, mas também a emissão dos poluentes já descritos anteriormente. Desse modo, pode-se pensar num sistema produtivo em que as vendas realizadas por cada montadora de veículos no estado de São Paulo sejam produtos (*proxy* do emprego e da renda gerados). Essas vendas são congeminações com um produto gerador de externalidades ambientais negativas, o CO (*proxy* dos poluentes atmosféricos). A literatura sobre eficiência ambiental tem classificado esses tipos de produtos como insumos detrimentais. No lado oposto do sistema, o número de concessionárias é considerado como um insumo tradicional. O sistema produtivo de que trata este estudo é ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – Sistema Produtivo Hipotético

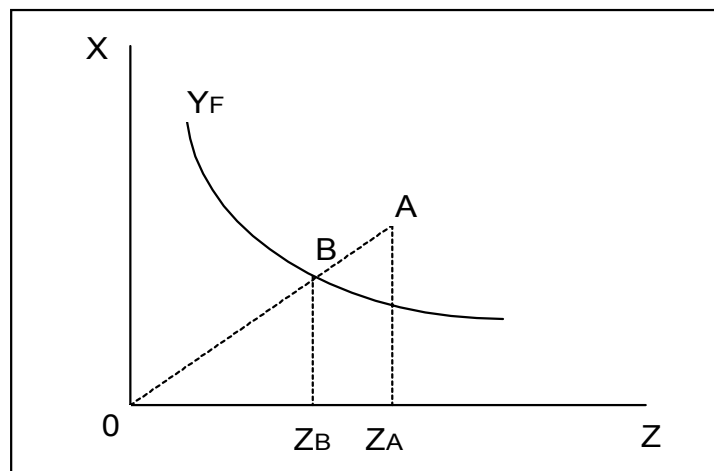


Cabe ressaltar que traduzir os elementos de natureza ecológica em um modelo concernente a metodologia DEA, traz em si alguns problemas. O primeiro problema a se destacar é que a DEA, incorpora a hipótese implícita de que as DMUs alcançam eficiência, admitindo que maiores quantidades de insumos e menores quantidades de produtos são preferíveis (Allen, 2001). Dessa forma, nos modelos DEA, parte-se de uma função de produtividade em que a quantidade de produto pesa positivamente sobre os índices de eficiência gerados, o que, considerando o caso da produção de poluentes, deve-se admitir que maiores quantidades devem reduzir a medida de eficiência ambiental. Em face disso, Lovell et al (1995), por exemplo, tratou os males (os insumos detrimentais) como produtos, após tomar suas recíprocas. Outro procedimento comum é considerar o negativo das quantidades produzidas de males como produtos.

Além dessas dificuldades, existem diferentes definições e medidas de desempenho ecológico e/ou ambiental na literatura sobre DEA as quais dependem do contexto de suas aplicações (Allen, 2001). Todavia, apesar dessas dificuldades, os índices de eficiência ambientais têm se baseado em ajustamentos das medidas convencionais de eficiência produtiva. Segundo Reinhard, et al (2000), estes índices podem ser calculados usando métodos a partir de modelos determinísticos, paramétricos ou não-paramétricos, ou estocásticos, os quais são exclusivamente paramétricos.

A definição de eficiência ambiental utilizada neste trabalho é a de Reinhard et al (2000), isto é, a razão entre o mínimo factível e o uso observado de insumos ambientais detrimentais, condicionado aos níveis observados do produto desejável e dos insumos convencionais. Assim, as variáveis ambientais detrimentais são tratadas como um outro fator de produção, de forma que decréscimos na sua emissão acarretam reduções do produto implicando, portanto, numa relação bem definida entre elas e o comportamento do produto, da mesma forma que com relação a qualquer outro insumo convencional. No caso em estudo, a variável ambiental tratada é considerada como um produto detrimental. A proposta por Reinhard toma a forma de uma medida simples de produtividade parcial e será comparada com a abordagem DEA.

Figura 5 – Relação entre um Produto Detrimental e um Insumo Tradicional



A Figura 5 ilustra uma fronteira de produção, no espaço de insumos, para um insumo convencional X e um produto detrimental Z , mantendo constantes os níveis de produto tradicional. As DMU que estiverem operando em isoquantas superiores a Y_F , a menor isoquanta possível, são consideradas tecnicamente ineficientes. Assim, por exemplo, a DMU_A é ineficiente e a DMU_B é eficiente. O índice de eficiência ambiental da DMU_A é igual a OZ_B/OZ_A , pela definição de Reinhard. A DMU_B , portanto, seria considerada eficiente, sob o ponto de vista ambiental, já que seu índice seria igual a um.

Um ponto negativo dessa medida é que apenas uma unidade avaliada seria considerada eficiente. Alguns fatores que se encontram fora do alcance do tomador de decisão não seriam incorporados à medida e poderiam gerar alguma inconsistência em seus resultados. Além disso, ela não incorpora nenhuma interação entre os níveis alocados de insumos e os níveis de produtos tradicionais gerados pelo sistema produtivo, assim, uma DMU pode ser considerada eficiente simplesmente por estar vendendo menores quantidades de veículos.

Os modelos DEA evitam esse problema. Eles calculam eficiência por meio de medidas radiais do tipo OB/OR . Essa medida reflete a máxima contração radial possível de insumos, dado um conjunto empírico de possibilidades de produção. Assumindo-se uma tecnologia com descarte forte de insumos e de produtos e que exhibe retornos variáveis de escala, a equação (1) calcula θ como a medida radial de eficiência ambiental.

$$E = \left\{ \min \theta : \theta x_0 - \sum \lambda_j x_j \geq 0; z_0 - \sum \lambda_j z_j \geq 0; \sum \lambda_j y_j \geq y_0; \sum \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0 \right\} \quad (1)$$

Onde as montadoras são indexadas pelo subscrito j , o subscrito θ indica a DMU avaliada, e y, z e x são, respectivamente, produto tradicional, produto detrimental e insumo tradicional. θ é um escalar que indica a eficiência ambiental, como anteriormente definida.

4. Dados e Resultados

Os dados sobre vendas e número de concessionárias no Estado de São Paulo foram obtidos do Anuário 2002 da ANFAVEA, enquanto os dados referentes à emissão de CO por montadora foram estimados, considerando a participação percentual de cada montadora por categoria de venda, para o percentual de venda por tipo de combustíveis, no total de CO gerado no Estado. O Quadro 5 apresenta as principais estatísticas dos dados utilizados.

Quadro 5. Principais Estatísticas dos Dados Utilizados

Estatísticas	Vendas (unid. ano)	Concessionárias (unid. ano)	CO (1000 t/ano)
Máximo	193.856	237	304,29
Mínimo	187	2	0,66
Média	40.766	49	64,30
Mediana	7.780	19	16,20
Desvio-padrão	69.084	63	95,40

Fonte: os autores

Os resultados gerados pela definição de Reinhard (PP) e pelo modelo DEA são sintetizados no Quadro 6. Eles mostram que, utilizando PP, apenas uma unidade é considerada eficiente, enquanto DEA aponta sete unidades eficientes. A unidade O², considerada eficiente pelo indicador PP, foi aquela que apresentou as menores emissões de CO, porém, isso poderia ter sido resultado apenas de seus menores níveis de vendas de veículos. Observando melhor esses resultados, verifica-se que a montadora G apresentou o menor indicador PP e foi considerada eficiente por DEA. Essa montadora foi a que produziu o maior volume de CO, mas foi também a que vendeu mais veículos no período analisado.

Quadro 6. Índices de Eficiência Ambiental

Montadora	PP*	DEA	Montadora	PP*	DEA
A	0,0045	1,0000	I	0,3333	1,0000
B	0,0085	0,6713	J	0,0833	0,2142
C	0,0049	0,9988	K	0,0400	0,6541
D	0,0208	0,2385	L	0,0833	0,8843
E	0,0417	0,2018	M	0,5000	1,0000
F	0,0714	1,0000	N	0,0667	0,4229
G	0,0033	1,0000	O	1,0000	1,0000
H	0,0556	0,2345	P	0,1667	1,0000

Fonte: os autores

* PP: Produtividade Parcial

Utilizando apenas o indicador PP, poder-se-ia estabelecer como meta para o setor automobilístico, os níveis de produção de CO da DMU_O. Entretanto, isso significaria propor uma redução generalizada na venda de veículos, criando obstáculos à geração de emprego e de renda na sociedade. Portanto, com base nas interações entre os níveis observados de produtos e de insumos, conclui-se que a medida DEA se mostrou superior à de produtividade parcial.

² Optou-se por não nomear as montadoras, preferindo-se a imparcialidade deste trabalho de cunho estritamente acadêmico.

5. Conclusões

Baseados no índice de performance ambiental proposto por Reinhard et al (2000), os resultados mostrados pelo Quadro 3 atestam que algumas montadoras ainda não apresentam índices de performance ambientais satisfatórios, apesar da redução considerável dos índices de emissão CO nos últimos anos. No entanto, o cálculo desse indicador não considera as interações entre produtos e insumo. Dessa forma, usou-se um modelo DEA para tentar superar esse problema, de onde se conclui que os índices de eficiência ambiental, calculados a partir deste modelo, se mostraram superiores.

Com base na experiência adquirida ao longo da elaboração deste paper, bem como dos resultados aqui obtidos, futuros estudos na área poderiam, talvez, se valer das seguintes sugestões:

- a) Usar bancos de dados mais abrangentes, com um maior número de montadoras, bem como de insumos e produtos;
- b) O cálculo de uma medida de eficácia ambiental que considera as metas impostas pelo PROCONVE como ideais;
- c) Retirar o efeito do porte das montadoras, devido a grande diferença de escala de produção (venda);

Buscar na literatura outros resultados da abordagem DEA, tais como aqueles referentes a multiplicadores que indicariam metas de relações ótimas entre os produtos comumente gerados pela indústria automobilística, a fim de sedimentar os resultados obtidos, principalmente, se estes forem confrontados com outro método de abordagem paramétrica, como, por exemplo, uma fronteira estocástica.

Bibliografia

- ANFAVEA. 2002.-Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores-*Anuário*.
- Allen, H. D. K. 2001. Measuring Ecological Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA), environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal of Operational Research*, **132**:312-325.
- Baer, Werner. 1996. *A Economia Brasileira*. Ed.Nobel, São Paulo.
- CETESB. 2001. *Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo 2000*, CETESB, 120p., São Paulo.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, **30**:1078-1092.
- Coelli, T., Prasada Rao, D. S., Battese, G. E. 1998. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- Cooper, W. W, Seiford, L. M. Tone, K. 2002. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers, Third Printing, New York.
- Cropper, M.L., Oates, W. E. 1992. Environmental Economics: A Survey. *Journal of Economic Literature*, **30**(2):675-740.
- Kopp, R. J. 1981. The Measurement of Productive Efficiency: A Reconsideration. *Quarterly Journal of Economics*, **96**(3):477-503.

- Macedo, Laura V. 2001. Problemas Ambientais Urbanos Causados pelo Trânsito na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). In: Guerra, Antônio José T. CUNHA, Sandra B. (org). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Mas-Colell, Andreu; Whinston, Michael D., Green, Jerry R. 1995. *Microeconomic Theory*, New York, Oxford University Press.
- Reinhard, Stijn., Lovell, C. A. K., Thijssen, Geert J. 2000. Environmental Efficiency with Multiple Environmentally Detrimental Variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal of Operational Research*, **121**:287-303.
- Seroa da Motta, Ronaldo. 1996. *Indicadores Ambientais no Brasil: Aspectos Ecológicos, de Eficiência e Distributivos*. Texto para Discussão n. 403, IPEA, Rio de Janeiro.
- SMA/CETESB. 1998. *Relatório Anual de Qualidade do Ar – série relatório São Paulo*: CETESB, 97 p.