

# MÉTODOS DE VALORAÇÃO E A FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA: DIFICULDADES E VIABILIDADE DE APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE POLUIÇÃO DO AR.<sup>1</sup>

ESPERANCINI, M.S.T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Parte da tese de doutorado, desenvolvida e defendida na FEAC/USP

<sup>2</sup> Prof. Dr. da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP – Botucatu. C.P 237

---

## RESUMO

Este trabalho pretende discutir os principais métodos de valoração ambiental aplicáveis a estudos de poluição do ar. As duas principais abordagens são analisadas: aquelas baseadas na função de preferência dos consumidores e aquelas baseadas nos efeitos mensuráveis dos danos ambientais como as funções dose-resposta. Verificou-se que para os países subdesenvolvidos, onde a consciência ambiental ainda se encontra em estágio inicial, os métodos de função dose-resposta podem ser mais vantajosos. Discute-se ainda as duas abordagens mais importantes dentro das funções dose-resposta: o enfoque cross-section e o enfoque temporal.

**Palavras chave:** valoração ambiental, funções dose-resposta, poluição do ar

---

## ABSTRACT

This work aims to discuss the main environmental evaluation methods to be applied in air pollution studies. The two main approaches are: those based on consumers preferences and those based on measurable effects on environmental damages, as well as dose-response functions. It was verified that in non developed countries, where the environmental awareness was in the beginning stage, the dose-response function method was more appropriated. It is also discussed the two main method in dose-response function: the cross section and the temporal approach.

**Key words:** environmental valuation, dose-response function, air pollution

---

# 1. INTRODUÇÃO

As dificuldades envolvidas na valoração dos danos ambientais, não tem impedido que esta seja uma das áreas mais desenvolvidas dentro do escopo da economia ambiental. As técnicas de valoração permitem que sejam imputados preços a bens e serviços ambientais, que não são considerados pelos mecanismos de mercado, mas que tem grande influência nos níveis de bem estar da sociedade.

Sua análise permite que possam ser elaborados com maior acuidade projetos de qualidade ambiental, levando em conta fatores ambientais e sócio-econômicos.

A teoria neoclássica permitiu grande desenvolvimento dos métodos de valoração e instrumentos de controle para a qualidade ambiental. Outras abordagens, como a economia ecológica tem envidado, também, esforços no sentido de determinar parâmetros de qualidade ambiental, baseados em fluxos de energia.

Este trabalho pretende discutir os métodos de valoração ambiental, suas vantagens, limitações e condições de aplicação, com um enfoque específico sobre os métodos de função dose-resposta e suas aplicações em estudos de poluição do ar.

Discute-se, neste trabalho, as principais abordagens de funções dose-resposta, aspectos quanto a variáveis, dados e modelos, vantagens e limitações em situações específicas de poluição do ar.

## 2. MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL E A FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA

As abordagens para a medida econômica dos benefícios da qualidade ambiental podem ser classificadas em:

1. aquelas baseadas em informações diretas ou indiretas do mercado, tais como valor de propriedade, taxas de salários, despesas em bens relacionados, etc.
2. aquelas baseadas no estado de preferências, na ausência de mercados, expresso através de inquirição direta.
3. aquelas baseadas em dados de dose-resposta, ligando nível de poluentes a um indicador de bem estar.

A finalidade dos métodos existentes é elucidar valores individuais, expressos em termos de uma disposição a pagar por uma melhoria ambiental <sup>3</sup>.

No primeiro caso, procura-se pela informação num mercado já existente; no segundo, determinam-se as preferências individuais na ausência de mercados, e no terceiro caso, procura-se a informação a partir de dados científicos e, somente então,

relaciona-se com alguma medida de bem estar.

A primeira abordagem em termos de mensuração direta diz respeito a avaliações a partir de mercados correlatos existentes, ou de ajustamento dos indivíduos à queda de bem estar devido a um dano ambiental, com reflexo em algum mercado diretamente mensurável. Neste sentido, podem ser citados os métodos de valoração hedônica, custos de viagem e custos de proteção contra possíveis danos ambientais.

O método da valoração hedônica baseia-se no fluxo de benefícios que deriva de uma série de fatores (entre eles, a qualidade ambiental) que compõem o valor de uma propriedade. Dado que as propriedades tem diferentes atributos ambientais, estes podem resultar em diferenças no valor das propriedades. Esta técnica procura identificar quanto do diferencial de valor entre diferentes propriedades pode resultar de atributos ambientais, inferir quanto as pessoas estão dispostas a pagar por uma melhoria na qualidade ambiental e qual o valor social desta melhora. Para isso, são utilizadas técnicas de regressão múltipla, sob um enfoque temporal, sob um enfoque espacial, ou uma combinação de ambos (estimação *pooled*).

As principais dificuldades associadas ao método da valoração hedônica é que as estimativas por este método podem resultar em sobreestimativas dos benefícios de uma melhoria ambiental ou uma subestimativa dos custos de deterioração (McConnel, 1985 e Brookshire, 1982) e pode ser usado apenas quando as famílias estão conscientes sobre os custos e benefícios dos atributos ambientais, estando aptas a ajustar sua locação residencial às escolhas de combinações de atributos que elas desejam (Markandya, 1992).

Aplicações deste método têm sido feitas com sucesso em países desenvolvidos para estimar custos da poluição sonora ou do ar e mudanças na qualidade ambiental. Nos países menos desenvolvidos o uso é mais limitado, embora já exista a aplicação no estudo da poluição do ar em São Paulo (Oliveira, 1997).

O método dos custos de viagem é baseado numa extensão da teoria da demanda do consumidor com enfoque sobre o valor do tempo e é usada particularmente para avaliação do valor de recursos ambientais como parques, bosques e reservas. A técnica consiste em avaliar quanto os visitantes estão dispostos a dispender, em termos de tempo, para se dedicar a visitar estes recursos, e outros custos que incorrem durante a visita como custos de transporte e pagamento de taxas para ingresso.

O requerimento de dados para aplicação deste método é muito extenso, o que pode tornar-se uma restrição para os países menos desenvolvidos, embora algumas aplicações já tenham sido feitas na avaliação de recursos ambientais nestes países.

Por fim, a avaliação dos custos de proteção é uma abordagem que procura identificar quanto as pessoas gastam para se proteger da queda de bem estar provocada por níveis reduzidos de qualidade do ar, ou sua variação direta, que é quanto as pessoas

dispendem em termos de saúde, quando estão expostas à poluição atmosférica.

A segunda abordagem é adotada quando os mercados para os bens ou serviços ambientais são ausentes ou não funcionam adequadamente, recorrendo-se a uma valoração contingente sobre um mercado hipotético, método este conhecido por valoração contingente.

Este método requer um tipo de abordagem mais direta, onde se aplicam questionários, que inquiram diretamente quanto os indivíduos estão dispostos a pagar por um benefício, e/ou quanto eles estão dispostos a receber em termos de compensação pelo fato de tolerarem um custo ambiental. Este processo pode ser feito usando técnicas experimentais em condições de laboratório para procurar identificar a valoração que os indivíduos fazem em relação a variações na quantidade ofertada do bem ambiental, contingente sobre um mercado hipoteticamente criado.

Uma série de dificuldades pode viesar os resultados obtidos por este método: uma delas é de cunho estratégico, de vez que este método pode ensejar o surgimento de comportamentos oportunistas, pois a possibilidade de pagar e/ou receber pelo dano ambiental pode levar os indivíduos a não revelarem corretamente suas preferências pelos bens ambientais, gerando um curva de demanda equivocada.

Outros problemas decorrem da necessidade de desenhar o problema em questão, de modo a não acarretar vieses relacionados a informações, ou seja, o respondente deve ter conhecimento amplo a respeito do problema, de forma a evitar que a falta de conhecimento ou uma idéia errada a respeito do problema possa viesar suas respostas.

A forma de pagamento pelos benefícios de bens e serviços ambientais pode interferir no resultado de avaliação, pois o mesmo indivíduo pode fazer avaliações diferentes, dependendo do veículo de pagamento e/ou compensação. Outro problema relaciona-se a hipóteses não corroboráveis de que os lances dados nestes mercados hipotéticos podem ser totalmente diferentes dos lances verificados no mercado real e o mercado hipotético ser totalmente inconsistente com as escolhas possíveis no mundo real (Gerking, 1988).

Até recentemente, acreditava-se que o uso desta técnica nos países em desenvolvimento seria de difícil implementação, se não impossível, devido à sofisticação dos experimentos envolvidos, mas trabalhos recentes têm sido feitos na avaliação dos benefícios de alguns bens e serviços ambientais e em oferta de água, pelo Banco Mundial no Brasil, Índia, Nigéria, Paquistão, Tanzânia e Zimbábue, que foram especialmente desenhados para investigar a possibilidade do uso da valoração contingente, mostraram que a técnica pode ser empregada neste contexto (Brisco, 1990).

Além dos métodos de valoração direta, a partir das preferências reveladas

pelos indivíduos, o valor do bem ambiental pode ser medido indiretamente através de funções dose-resposta.

Neste método procura-se quantificar a relação entre a poluição e algum efeito mensurável, e somente então aplica-se alguma medida de valor econômico para o efeito, tal como custo de recuperação do dano, de produção sacrificada, redução de produtividade e outros. Este é um dos métodos mais utilizados na avaliação de custos de degradação do meio ambiente, como os fenômenos de poluição da água, do ar e do solo. É uma metodologia sempre aplicável a danos ambientais, e parece ser o mais promissor em termos de análise de custos ambientais, uma vez que abstrai uma série de dificuldades de mensuração encontradas no método anterior.

Idealmente, as estimativas de funções dose-resposta deveriam estar associadas a modelos de demanda dos produtos que eles afetam. Em alguns estudos mais sofisticados utilizando funções dose-resposta, isto é feito, mas em geral, não. Em muitos casos, os dados simplesmente não permitem a estimativa de um modelo mais refinado. Mesmo assim os modelos simples são de grande utilidade, uma vez identificadas as limitações com que são realizados e os tipos de vieses que eles podem estar embutindo.

A aplicação do método de função dose-resposta justifica-se quando: 1) as pessoas são inconscientes dos efeitos que a poluição causa e daí não se ajustam para melhorar seu bem-estar. Pode ocorrer que não se encontre uma relação significativa entre aumento da poluição e efeitos na saúde porque os indivíduos estão se ajustando preventivamente aos efeitos da poluição e 2) quando elucidar preferências por qualquer dos métodos diretos não é possível em razão da indisponibilidade de dados ou quando falta sofisticação de mercado por parte da população atingida.

Com relação à primeira justificativa é necessário reconhecer que, como resultados de mudanças no ambiente os seres humanos freqüentemente ajustam seu comportamento, minimizando os efeitos adversos e maximizando os efeitos positivos. Se possível estes efeitos deveriam ser incorporados neste modelos. Contudo, o esforço na montagem de uma base de dados necessária para a modelagem de um problema deste tipo não se justifica na ausência de estudos iniciais que permitam conhecer melhor o problema.

Existem estudos onde se procura derivar a disposição a pagar por um melhoria na qualidade do ar a partir de ajustamentos feitos pelos indivíduos para se proteger dos danos da poluição. Gerking e Stanley (1986), desenvolveram um modelo onde permite-se ajustar o comportamento dos agentes para incorporar comportamentos preventivos contra queda de qualidade do ar e envolvem a substituição de queda de qualidade do ar por cuidados médicos. O montante que os agentes estão dispostos a pagar por serviços médicos devido à injúria pela poluição do ar na saúde é uma aproximação do que eles estão dispostos a pagar por uma melhoria da qualidade do ar.

A diferença chave entre a abordagem da disposição marginal a pagar e função dose-resposta está no tratamento dado ao estoque de saúde (M). No primeiro M é tratado como uma *variável de escolha*, enquanto na abordagem dose-resposta, M é especificado como uma função de uma variedade de variáveis (cuidados médicos, qualidade do ar, variáveis demográficas e sócio-econômicas), que são todas tratadas como *exógenas*.

A desvantagem ou mesmo impossibilidade deste tipo de estudo é a necessidade de uma bem especificada função de produção de saúde, o que implicaria numa base de informações muito rica e especialmente desenvolvida para este tipo de estudo.

A segunda razão se aplica particularmente aos países em desenvolvimento onde preços e dados de despesas são relativamente pobres e o uso da valoração contingente pode sofrer vieses estratégicos, hipotéticos e operacionais (Markandya, 1992). Para este autor, métodos baseados em funções dose-resposta são de grande relevância e valor para os países em desenvolvimento, onde a aplicação de métodos baseados nas preferências são menos viáveis.

Segundo Ridker (1967) se os ajustamentos individuais e interações sociais podem ser abstraídos, três tipos de informação são suficientes para produzir a estimativa dos custos desejados de poluição do ar. Primeiro deve-se ter uma descrição dos danos por unidade de objeto em função da intensidade da poluição do ar, com todos os outros efeitos que poderiam causar tais danos, permanecendo constantes ou controlados estatisticamente. Segundo, se esta relação existe ela pode ser representada por :

$D_i = F_i(S)$ ,  $i=(1, \dots, n)$  , onde  $D_i$  é o dano por unidade de objeto afetado pelo  $i$ -ésimo tipo de dano, e  $S$  é o nível de poluentes na atmosfera. Terceiro, o custo de cada tipo de dano provocado pela poluição atmosférica pode ser obtido multiplicando o número de unidades afetadas pelo custo do dano por unidade e pelo número de unidades afetadas.

A especificação da função dano não é, *per se*, pertinente ao campo econômico e para que estes estudos tenham utilidade para a análise econômica esta função deve ser especificada em termos relevantes para a análise econômica permitindo a mensuração das perdas como, por exemplo, taxas de absentéismo, custos de tratamento médico, custos de proteção, etc.

Esta abordagem é importante, pois as situações de danos ambientais apresentam escassez de valores sistematicamente calculados, e mais do que requintes e precisões de ordem teórica, o meio ambiente demanda decisões que possam preservá-lo de modo racional e muitas vezes estas estimativas constituem nas únicas disponíveis e passíveis de serem utilizadas para motivar decisões que envolvam a variável qualidade

ambiental (Marques, 1995).

### 3. VARIAÇÕES E APLICAÇÕES DAS FUNÇÕES DOSE-RESPOSTA

As funções dose-resposta normalmente associam poluição do ar e mortalidade/morbidade humana e podem ser de dois tipos: clínicos ou laboratoriais e estudos estatísticos ou epidemiológicos. O primeiro tipo de estudo procura evidências de que a exposição de seres humanos e animais à emissão de poluentes (sob condições controladas) tem efeitos sobre a saúde. Este tipo de pesquisa clínica analisa o desempenho das funções pulmonares ou sintomas de doenças respiratórias e dizem respeito a área de saúde pública.

O segundo tipo de trabalho procura associar poluição do ar e efeitos na saúde do ponto de vista da mortalidade e morbidade, através de evidências epidemiológicas ou estatísticas e têm maior interesse do ponto de vista econômico para a avaliação dos custos ambientais da poluição, por serem mais abrangentes com relação à população atingida. Os estudos epidemiológicos podem, grosso modo, ser enquadrados em duas categorias: a análise *cross-section*, e a análise temporal.

A análise *cross-section* procura detectar os chamados efeitos de longo prazo, ou seja, efeitos de exposições contínuas a baixos níveis de poluição do ar por períodos prolongados. Para isto são relacionados os níveis de poluição às taxas de mortalidade (que são os estudos mais comuns) utilizando como unidade de análise as unidades geográficas em que o fenômeno da poluição é relevante.

A hipótese utilizada é que a exposição crônica a níveis moderados de poluição exacerba doenças ou aumenta a suscetibilidade a doenças respiratórias, do coração e do sistema circulatório. Na análise dos efeitos de longo prazo, para estimar os efeitos da poluição na saúde, outros fatores que podem afetar a mortalidade/morbidade devem ser mantidos constantes experimentalmente ou controlados estatisticamente. Estes fatores podem ser características físicas, pessoais e sócio-econômicas, tais como idade, sexo, raça, renda, hábitos pessoais como tabagismo, exercícios físicos, história genética e nutricional, cuidados médicos e fatores ambientais, como o clima.

Outro tipo de abordagem utilizada pelos estudiosos em epidemiologia da poluição do ar refere-se à análise temporal que consiste numa investigação das mudanças no padrão de mortalidade e morbidade, relacionando-as a mudanças na qualidade do ar, ao longo de um dado período de tempo, numa única localização. Envolve uma resposta de curto prazo, na qual altas concentrações de poluentes tem efeitos imediatos na saúde.

A hipótese que suporta análises deste tipo, ao contrário do caso anterior onde se procura avaliar os efeitos de uma exposição contínua e permanente a níveis baixos de

poluentes, é a existência de impactos em termos de mortalidade e/ou morbidade quando existe exposição a alterações mais acentuadas dos níveis de poluentes.

A seguir, discute-se as dificuldades e vantagens associadas a cada uma das abordagens, a partir da literatura especializada em estimação de funções dose-resposta utilizando a abordagem *cross-section* e a abordagem temporal.

### **3.1. Enfoque *cross-section***

A abordagem *cross-section* foi a primeira a ser utilizada na estimação de funções dose-resposta para encontrar a associação entre poluição do ar e efeitos na saúde, e sua utilização envolve uma série de dificuldades que serão discutidas a seguir.

Na abordagem *cross-section*, em geral, se requer amostras de unidades de grande porte para fazer determinações precisas nas pequenas diferenças de taxas de mortalidade, que em geral são números bastante reduzidos (este problema é atenuado quando se procura analisar a morbidade).

Por outro lado a dificuldade em determinar acuradamente dosagens representativas de poluição do ar aumenta com a extensão geográfica e diversidade da cidade, em razão da falta de uniformidade metodológica em amostrar e analisar os dados de qualidade do ar.

A seleção de uma unidade geográfica para uma análise *cross-section* freqüentemente requer um compromisso entre precisão estatística que é maior em grandes unidades e acuracidade na determinação da dosagem de poluição do ar que é mais fácil com unidades menores. A associação entre poluentes específicos e mortalidade pode ser sensível ao grau de agregação nas unidades geográficas usadas como observação.

Outra dificuldade é impossibilidade de trazer a representatividade temporal para análise. Como os estudos *cross-section* se propõem a demonstrar os efeitos de uma exposição crônica, mudanças passadas nos graus de poluição deveriam ser incluídos na análise, especialmente para a população mais idosa, para a qual os efeitos ambientais de exposições passadas deveriam ser considerados. O uso de exposição corrente, ao invés de integrada no tempo produzirá provavelmente sobrestimativas dos coeficientes de poluição do ar<sup>4</sup>. Um viés geográfico pode também ser produzido, que é um problema mais sério, se as histórias de exposição da população à poluição variam grandemente de local para local.

Pode-se citar, ainda, o efeito da migração, que é potencialmente influente em estudos *cross-section*, se as populações optam por migrar devido a problemas de



exposição a poluição do ar. Neste caso, os efeitos da poluição sobre a população residente podem estar subestimados.

Existe, ainda, uma extensa literatura que discute problemas de adequação do modelo. Uma vez que não existe um modelo teórico para explicar as taxas de mortalidade, todos os estudos usam modelos *ad hoc*, onde se especula sobre os mais importantes atributos da população. A utilidade de cada variável pré-selecionada deve, então, ser testada por sucessivas adições ou deleções na especificação do modelo. Alguns autores sugerem que, em alguma medida, a análise multivariada de grandes populações pode superar esta dificuldade.

Esta pode ser usada para controlar estatisticamente fatores com efeitos conjuntos, reduzindo a probabilidade de que tais fatores obscureçam ou viesem as associações estimadas refletindo uma associação espúria. Por exemplo, a existência de áreas com alta poluição tendem a ser áreas de moradia de pessoas mais pobres provocando correlação entre as variáveis de poluição e sócio-econômicas.

O trabalho pioneiro nos estudos *cross-section* de avaliação dos custos ambientais do ponto de vista da saúde humana pela poluição foi o de Lave e Seskin (1970) que serviu como ponto inicial de discussão. Os autores usaram análises de regressão múltipla para estimar os efeitos da poluição do ar sobre as taxas de mortalidade entre mais de 100 áreas metropolitanas dos Estados Unidos durante os anos 60. Apesar de basearem-se em variáveis coletadas para outros fins, resultando numa caracterização grosseira das "verdadeiras" variáveis de interesse, eles encontraram efeitos consistentes e estatisticamente significativos e estimaram que reduções nos níveis de poluição do ar das fontes estacionárias aos níveis padrão da EPA (Environmental Protection Agency), resultariam em 7% de redução nos níveis totais de mortalidade. Ao longo das décadas de 70 e 80 uma série de trabalhos foi realizada no sentido de discutir os resultados obtidos por Lave e Seskin (1970), seja quanto à abordagem metodológica, seja quanto a base de dados utilizada, especificação e validade dos modelos adotados.

Uma das críticas diz respeito à possibilidade de que pouca ou nenhuma informação pode ser extraída do modelo, quando se faz uma análise agregada a partir de uma base de dados relativamente pobre. Os autores reconhecem que nenhum estudo dos efeitos de longo prazo deve ser totalmente preciso e o uso de dados agregados de áreas geográficas é particularmente suspeito porque uma diversidade grande de indivíduos é agregada considerando apenas medidas grosseiras de sua diversidade. A despeito disto, os autores defendem que este procedimento representa uma variedade de condições que reflete o ambiente corrente e passado no qual as pessoas vivem, que nem o mais cuidadoso estudo clínico controlado pode medir ou caracterizar.

Para refutar estudos que contradizem a associação entre poluição do ar e mortalidade encontrada neste trabalho, Chappie e Lave (1982) replicam o experimento

para dados de 1974, mostrando que são qualitativamente similares aos de 1960 e 1969, e demonstram pelo teste F que não se pode rejeitar a hipótese de que os coeficientes de poluição e sócio-econômicos sejam consistentes ao longo dos anos.

Alguns autores que utilizaram especificações alternativas obtiveram resultados que se mostraram inconsistentes com aqueles de Lave e Seskin, sugerindo que os coeficientes de poluição do ar devem ser sensíveis à precisa especificação do modelo. Nas especificações alternativas verificou-se que o nível médio de poluentes melhor caracteriza exposições cumulativas e deve ser a medida mais apropriada para avaliar efeitos de longo prazo na saúde e a adição de novas variáveis de poluição é pouco ou não significativa. Outras especificações alternativas como a substituição da densidade populacional por seu logaritmo<sup>5</sup>, a substituição da porcentagem de pobres pela renda média familiar<sup>6</sup> tiveram pouco impacto nos coeficientes estimados de poluição do ar.

Alguns autores discutem que a omissão de variáveis importantes para a explicação da mortalidade, pode tornar espúria a associação entre mortalidade e poluição do ar. Os coeficientes estimados para a poluição do ar estariam não-viesados apenas se as variáveis omitidas forem não correlacionadas com aquelas incluídas no modelo. Em trabalhos deste tipo, os hábitos pessoais da população talvez tenham sido a variável omitida mais importante e idealmente estes fatores deveriam ser controlados. Schwing e McDonald (1973), utilizando uma variável *proxy* para hábitos de fumo, acharam uma correlação parcial maior entre poluição do ar e mortalidade. Por outro lado, Crocker *et al* (1979) incluíram a variável fumo e variáveis nutricionais não achando relação significativa entre poluição do ar e mortalidade.

Gerking e Schulze (1973) encontraram uma relação significativa entre poluição do ar e mortalidade usando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários para estimar um modelo similar ao de Lave e Seskin(1970). Entretanto, obtiveram coeficientes negativos, mas não significativos após adicionar hábitos de fumo, nutrição, exposição ao frio e variáveis de cuidados médicos. Mas como estes estudos diferem entre si e, em muitos aspectos, do de Lave e Seskin (1970), é difícil atribuir as diferenças de conclusão à omissão de variáveis ou qualquer outro fator isoladamente.

Na verdade, a introdução de certas variáveis tais como fumo, exercícios físicos terão utilidade em controlar certas variáveis se existe razão para acreditar que a distribuição destas variáveis entre as diversas unidades geográficas diferem entre si. Caso contrário, é difícil perceber a utilidade da introdução destas variáveis.

A variável educação é ponto de discordância, uma vez que muitos autores acham importante sua introdução (Lipfert, 1978; Grossman,1972; Auster *et al*, 1972). Chappie e Lave (1982) consideram importante entender o que a variável educação mensura nestes modelos. Introduzindo esta variável, verificou-se que a correlação parcial

entre mortalidade e poluição se altera.

Os autores trabalharam a hipótese de que a variável educação substitui alguma variável referente a exposição ocupacional à poluição. Introduzindo uma variável chamada *mix de indústrias* que inclui taxas de desemprego, e porcentagem da força de trabalho empregada em indústria, comércio, serviços pessoais, serviços educacionais, construção e outras indústrias, verificou-se que esta faz uma significativa contribuição às regressões, mas apenas quando a variável educação não está presente. A variável poluição do ar continua a fazer uma significativa contribuição em todas as regressões embora sua magnitude fique reduzida.

Qualquer significância da variável educação se reduz a zero quando a variável *mix de indústrias* é adicionada. A variável educação parece caracterizar a estrutura ocupacional, no sentido de que normalmente áreas com grande emprego em serviços pessoais e negócios tem taxas de mortalidade menores do que aquelas com grande emprego em manufaturas, construção civil, comércio e outras indústrias. Pode-se concluir que estimativas sem a variável educação, todo efeito de exposição ocupacional é atribuível a poluição do ar, enquanto nas estimativas com educação, os efeitos da exposição ocupacional são capturados pela variável educação ao invés de o ser pelas variáveis de poluição do ar.

Outra crítica, como a de Christaisen e Degen (1980) centra-se na hipótese implícita de que os coeficientes da regressão não mudam no tempo, mas o efeito da poluição do ar nas taxas de mortalidade devem mudar no tempo, porque períodos de exposição contínua à poluição do ar devem aumentar ou diminuir a vulnerabilidade das pessoas. Os autores concluem que a hipótese de relação constante entre poluição e mortalidade deve ser rejeitada. Como a heterocedasticidade deve estar presente, isto enfraqueceria a validade dos resultados de Lave e Seskin, embora os autores ressaltem que suas críticas não negam o caráter monumental do trabalho destes autores e que a carga da prova está em mostrar que a poluição do ar tem um efeito insignificante na mortalidade. Além disso, verificou-se que a utilização do método de Mínimos Quadrados Generalizados, que tornaria a estimativa dos regressores mais eficientes, feita em trabalhos posteriores, pouco afetou os coeficientes da poluição do ar.

Outra crítica vem de Crocker *et al* (1979) e Gerking e Schulze (1981) que argumentam que um modelo de equação simples não é adequado, pois as taxas de mortalidade e morbidade devem afetar a oferta de serviços médicos e por outro lado a falta de serviços médicos deve afetar o *status* da saúde, sendo necessário um sistema de equações simultâneas. Usando um sistema deste tipo os autores não encontraram associação significativa entre poluição e mortalidade. Entretanto, ao propor um modelo estrutural de oferta e demanda de serviços médicos, os autores concluem que não é possível representar a complexidade dos serviços médicos a partir de um modelo, embora permaneçam céticos quando à utilização de modelos estruturais para explicar a

associação entre poluição e mortalidade.

Atkinson *et al* (1985) criticam o trabalho de Lave e Seskin(1970) no sentido de que eles fornecem pouca informação sobre o papel que suas crenças *a priori* exercem, isto é, eles não relatam a robusteza de seus resultados na seleção de parâmetros chaves de interesse e as variáveis explanatórias incluídas. Como diferentes séries de variáveis duvidosas devem ser igualmente plausíveis *a priori*, o investigador deveria relatar a sensibilidade das estimativas das variáveis foco à mudanças na lista de variáveis incluídas.

Os autores não questionam a possibilidade de uma relação significativa entre poluição do ar e mortalidade humana, mas procuram apenas demonstrar o papel crucial que crenças *a priori* têm na tentativa de inferir estas relações de dados epidemiológicos agregados, considerando que os resultados são afetados pela inclusão de variáveis "duvidosas". Embora não desmereçam o pioneirismo do trabalho original, os autores chamam a atenção para a necessidade de reduzir as incertezas associadas com a especificação do modelo, usando dados individuais, assim permitindo o uso de uma série limitada de prioridades bayesianas *a priori*.

Para Smith (1976), os diversos trabalhos que procuram encontrar a associação entre poluição e mortalidade encontram coeficientes estatisticamente significantes, mas o autor admite que as regras de decisão utilizadas na seleção dessas especificações podem incluir sérios erros que podem afetar os coeficientes estimados e também os testes de hipótese neles baseado. Por esta razão o autor propõe uma série de testes para especificação, que fornecem um meio mais legítimo de discriminar entre classes de modelo sem assumir que a relação entre poluição e mortalidade necessariamente exista. A lógica dos testes é baseada no fato de que sérias especificações de erros vão afetar as propriedades dos parâmetros estimados no modelo e portanto vão se refletir no padrão de comportamento dos resíduos estimados.

O trabalho de Joyce et al. (1989) introduz alguns aspectos interessantes nesta área, que fogem à análise corrente *cross-section*. Eles medem o impacto de poluição do ar em relação a taxas de mortalidade neonatal. O trabalho é inovador no sentido de que (1) adota um modelo comportamental de produção e demanda por saúde (2) emprega um indicador não convencional de saúde (mortalidade neonatal) (3) consegue derivar a disposição a pagar por mais saúde diretamente de sua função de produção de saúde.

Neste modelo, os autores assumem que a utilidade dos pais depende em seu consumo do número de nascimentos e da probabilidade de sobrevivência de sua descendência. O número de nascimentos e a probabilidade de sobrevivência são variáveis endógenas e a função de produção (de probabilidade) de sobrevivência depende destas variáveis assim como da quantidade e qualidade de serviços médicos, fumo materno, uso de serviços de aborto, uso de serviços de planejamento familiar e da qualidade do

ambiente.

Os autores consideram que a principal contribuição do trabalho é que as estimativas dos benefícios de uma redução nos níveis de poluição foram obtidos de um modelo bem especificado de produção de saúde. Neste modelo os indivíduos produzem capital de saúde numa estrutura de maximização de utilidade e são aptos a ajustar seu comportamento a fim de se defender contra reduções na qualidade do ar. Estes ajustamentos envolvem substituir a queda na qualidade do ar por cuidados médicos ou outras atividades que produzem saúde e formam a base para o cálculo dos benefícios de uma melhoria na qualidade do ar ou da disposição a pagar por essa melhoria.

Nesta linha, pode-se citar também os trabalhos de, Grossman (1972), Cropper (1981), Rosenzweig e Schultz (1982) e Harrington e Portney (1982). Danos de qualquer natureza, como queda na qualidade do ar, trazem reduções significativas aos estoques de saúde e morbidade e mortalidade ocorrem quando estes danos reduzem os estoques de saúde abaixo dos níveis críticos.

Outros trabalhos, além de identificar a associação quantitativa entre poluição e mortalidade/morbidade, desenvolvem estudos sobre os custos monetários deste dano ambiental. Koshal e Koshal (1973), por exemplo, desenvolveram um trabalho que estabelece uma relação quantitativa entre taxas de mortalidade total de todas as doenças e o nível de poluição do ar e outras variáveis sócio-econômicas. Com a ajuda da análise de regressão é observado que um aumento de 10% na poluição do ar implicaria um aumento na taxa de mortalidade por 1,2 a 1,9%. Uma redução total de cerca de 50% na poluição do ar implicaria uma poupança social de ordem de 300 a 400 milhões de dólares por ano em termos de todas as doenças. Esta análise sugere que o valor dos benefícios do abatimento é maior que seus custos.

Esta abordagem exige uma base de informações bastante rica para que todos os fatores sócio-econômicos sejam adequadamente controlados para que não interfiram na relação entre morbidade/mortalidade e nível de poluentes atmosféricos e uma série de dificuldades interferem na estimação de funções dose-resposta a partir da abordagem cross-section. Dentre estas podem ser citadas, o problema de amostragem, de especificação do modelo, de especificação do comportamento dos resíduos e de controle de variáveis sócio-econômicas. Apesar destas dificuldades, estudos deste tipo têm avançado bastante na procura de evidências da relação entre poluentes atmosféricos e mortalidade/morbidade.

### **3.2. Enfoque temporal**

Este tipo de abordagem apresenta a vantagem de dispensar a coleta de variáveis sócio-econômicas, pois trabalha-se com o pressuposto de que estas variam

pouco no período analisado.

Nos estudos que enfocam efeitos de curto prazo, procura-se uma associação temporal entre os níveis de poluição do ar e as taxas de mortalidade e ou morbidade, utilizando-se a hipótese de que fatores físicos, sócio-econômicos e características pessoais mudam pouco dentro de uma área geográfica no dia-a-dia e portanto podem ser considerados constantes.

Evidências deste tipo de efeito foram registradas na segunda metade deste século, em diversas regiões do mundo como em Donora, na Pensilvânia em 1948, Vale do Meuse, na Bélgica em 1930, em Londres, na Inglaterra em 1952 e mais recentemente, em Berlim, Alemanha Oriental, em 1989. Nestes episódios, o rápido aumento e queda nas concentrações de poluentes foram acompanhadas de um padrão similar na mortalidade diária, deixando poucas dúvidas de que altas concentrações de fumaça e neblina ou *smog* estão relacionados a excedentes nas taxas normais de mortalidade.

A vantagem deste tipo de estudo é, sem dúvida, seu baixo custo de realização, pois se necessita apenas de séries temporais de monitoramento dos níveis de poluentes e das taxas de mortalidade/morbidade. Outra vantagem da abordagem temporal é que muitos fatores que poderiam obscurecer a relação entre poluição do ar e saúde entre áreas são relativamente constantes no tempo, dentro da área. Por esta razão, a extensão do período de análise também deve ser escolhida cuidadosamente, pois certas variáveis consideradas constantes, por hipótese, não podem sofrer mudanças no período escolhido.

Verificou-se que os estudos em análise temporal basicamente ajustam a variável mortalidade/morbidade à série de variáveis de poluição, controlando para estação, clima, tendência de tempo, grau de dispersão dos poluentes, para diferentes idades, em tipos diferentes de função.

Um trabalho recente sobre os problemas de poluição do ar realizado no Brasil é o de Saldiva (1996), para quem a constante mudança de cenários por causa do fenômeno da migração e falta de estratégia de transporte público e emissão automotiva torna atraente a análise temporal da associação entre mortalidade e/ou morbidade e poluição. Ainda porque este tipo de estudo constitui uma alternativa barata para analisar o papel da poluição na saúde, mesmo em países sem fundos disponíveis para pesquisa.

Neste estudo foram utilizadas a mortalidade e morbidade da população abaixo de 5 anos e acima de 65 anos para o período de 1990 a 1994 utilizando três modelos: regressão de mínimos quadrados ordinários, regressão de Gauss de mínimos quadrados ponderados, com autocorrelação de primeira ordem dos resíduos e regressão de Poisson e com diversas variáveis de controle para o clima e efeitos sazonais.

Neste tipo de trabalho foi observada forte associação entre mortalidade e poluição do ar. Cerca de 30% das mortes de crianças estavam associadas com os níveis

médios de nitratos. A mortalidade de adultos foi significativamente associada com a concentração de material particulado. Os níveis de morbidade também foram considerados fortemente associados com os níveis de poluição do ar. Para o autor, os estudos de séries temporais são viáveis para dados de mortalidade centralizados ou não. O autor se preocupou mais em explorar a existência de qualquer associação significativa entre os dois fenômenos em São Paulo, mais do que derivar qualquer efeito exato da poluição na mortalidade, mas ressalta que a limitação dos dados limita o poder explanatório das variáveis encontradas.

No caso brasileiro, um dos trabalhos envolvendo a associação entre poluição atmosférica e mortalidade por doenças respiratórias é o trabalho de Mendes (1993), que procurou estimar as funções dose-resposta para a poluição do ar e seu impacto sobre a saúde humana no Brasil através de uma metodologia *pooled*, utilizando dados desagregados tanto espacial quanto temporalmente. As variáveis explicativas para a mortalidade por doenças respiratórias foram sócio-econômicas, de poluição e atmosféricas.

A partir de críticas como a de Christaisen e Degen(1980) acerca das limitações do uso de único ano para representar o nível histórico de poluição, o autor optou por trabalhar com dados desagregados "tanto espacialmente quanto temporalmente, embora reconhecendo a limitação da base de dados", não sendo revelada a forma de estimação dos dados que não apresentavam a desagregação desejada para o período entre 1980 e 1991.

Outro ponto é a utilização de variáveis meteorológicas que suscita algum questionamento, uma vez que o próprio autor admite que existe uma certa sincronia entre o movimento das duas séries de dados, pois as condições climáticas afetam o grau de dispersão dos poluentes na atmosfera. A justificativa para incluir as variáveis meteorológicas é que a temperatura e a umidade por si contribuem para a incidência de doenças respiratórias, entretanto, no trabalho, nada indica que o problema de correlação entre as variáveis de poluição e meteorológicas tenha sido sanado.

A despeito disso, os resultados parecem robustos uma vez que as mortes estimadas a partir da função dose-resposta e as efetivamente ocorridas são bastante próximas, inclusive para outras regiões que apresentam problemas severos de poluição.

#### **4. CONCLUSÕES**

Para os países pouco desenvolvidos, a preocupação com os danos ambientais ainda encontra-se em estágios iniciais, daí os métodos baseados em preferência do consumidor não serem os mais adequados. As condições verificadas nestes países parecem apontar para vantagens no uso de funções dose-resposta.

A literatura a respeito da estimação de funções dose-resposta permite concluir que maiores dificuldades estão associadas à análise cross-section, dada a necessidade de uma base de dados muito rica, especificações do modelo, desconhecimento "a priori" da influência das variáveis sócio-econômicas sobre a mortalidade/morbidade e as questões da amostragem, e da representatividade temporal.

Os trabalhos de enfoque temporal exigem base de dados menor, pois as variáveis sócio-econômicas podem ser consideradas constantes em um determinado período de tempo num local. Por outro lado, não foi verificada diversidade nas metodologias de análise temporal, sendo que grande parte dos trabalhos tem se limitado a ajustar a variável mortalidade/morbidade à série de variáveis de poluição, controlando para fatores estacionais, climáticos, em tipos diferentes de função. Apenas é necessário salientar a necessidade de monitoramento mais intenso das variáveis ambientais.

## 5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ATKINSON, S. E.; CROCKER, T. D. e MURDOCK, R.G. Have priors in aggregate air pollution epidemiology dictate posteriors?. *Journal of Urban Economics*. v.17, p.319-334, 1985.
- AUSTER, R.L.; LEVINSON, I.; SARACHEK, D. The production of health: an exploratory study. In: *Essays in the economics of health and medical care*. New York: Victor and Fuchs ed, National Bureau of Economic Research, 1972.
- BRISCO, R. Toward equitable and sustainable water supply: a contingent valuation study in Brazil. *The World Bank Economic Review*, v.4, p.115-143, 1990.
- BROOKSHIRE, E. Valuing public goods: a comparison of survey and hedonic approaches. *American Economic Review*, v.72, p.165-172, 1982.
- CHAPPIE, M.; e LAVE, L. The health effects of air pollution: a reanalysis. *Journal of Urban Economics*, v.12, p.346-376, 1982.
- CHRISTAINSEN, G. B. e DEGEN, C. G. Air pollution and mortality rates: a note on Lave and Seskin's pooling of cross-section and time series data. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 7, p.149-155, 1980.
- COURSEY, D.L. On the supposed disparity between willingness to pay and willingness to accept measures of value. *Quarterly Journal of Economics*, v.102, p.679-690, 1987
- CROCKER, T.D.; SCHULZE, W.; BEM-DAVID, S. Methods of assessing air pollution control benefits. I. Experiments in the economics of air pollution epidemiology. U.S.



EPA 600/5-79-001a. Washington, D.C. feb,1979.

CROPPER, M.L. Measuring the benefits from reduced morbidity. *American Economic Review*, v.71, p.235-240, may, 1981.

GERKING, S. The marginal valuation of job safety: a contingent valuation study. *Journal of Risk and Incertanty*, v.1, n. 2, p.185-199, 1988.

GERKING, S. ; SCHULZE, W. What do we know about benefits of reduced mortality from air pollution control? *American Economic Review*, v.71, p.228-234, 1981.

GERKING, S.; STANLEY, L. An economic analisys of air pollution and health: the case of St. Louis. *The Review of Economics and Statistics*, v. LXVIII, n. 1, feb, 1986.

GROSSMAN, M. The demand of health: a theoretical and empirical investigation, New York: National Bureau of Economic Research Ocasional, paper 119, 1972.

GROSSMAN, M. e CROPPER, B. On the concept of health capital and demand for health. *Journal of Political Economics*, v.80, p.223-255, 1972.

HARRINGTON, W. e PORTNEY, P. R.; Valuing the benefits of improved human health. Mimeo. Resources for the future, Washington, D.C, 1982

JOYCE, T. J.; GROSSMAN, M. e GOLDMAN, F. An assessment of the benefits of air pollution control: the case of infant health. *Jounal of Urban Economics*, v.25, p.32-51, 1989.

KOSHAL, R. K. e KOSHAL, M. Environment and urban mortality - an econometric approach. *Environmental Pollutants*, v.4, p.247-259, 1973.

LAVE, L.B.; SESKIN, E.P. Air pollution and human health. *Science*, v.169, p.723-733, 1970.

LIPFERT, F.W. The association of human mortality with air pollution: Statistical analysis by region, age and cause of death. New York: Long Island Lightning Company , 1978.

MARKANDYA, A . The value of the environment: a state of the art survey. In: MARKANDYA, A.; RICHARDSON, J. *Environment economics: a reader*. New York: St Martin's, 1992, p. 143-165.

MARQUES, J. F. Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

- Mc CONNEL, K. E. Identification of preferences in hedonic models, vol. 1, In: Benefit analysis using indirect of inputed market models, 1985.
- MENDES, A.P.F. Uma avaliação do impacto ambiental no Brasil: poluição do ar e mortalidade. Rio de Janeiro, 1993, 115p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, R.G. Dois estudos sobre a poluição atmosférica na cidade de São Paulo. São Paulo: 1997. 75p. Tese (Doutoramento) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.
- RIDKER, R.G. Economics costs of air pollution: studies in measurements. London: Praeger Publishers, 1967. 213p.
- ROSENWEIG, M. E SCHULTZ, T. P. The behavior of mothers as inputs to child health: the determinant of birthweight, gestation and rate of fetal growth. Victor Fuchs (ed). Economic aspects of health. Chicago: National Bureau of Economics Research, 1982.
- SALDIVA, P.H. Association between air pollution and adverse health effects in São Paulo, Brazil. In Conference on Environmetrics in Brazil, 1, São Paulo, 1996.
- SCHWING, R.C.; Mc DONALD, G.C. Instabilities of regression estimates relating air pollution to mortality. *Technometrics*, v.15, p.463-481, 1973.
- SESKIN, E. P., An analysis of some short term health effects of air pollution in the Washington, DC, metropolitan area. *Journal of Urban Economics*, v.6, p.275-291, 1979.
- SMITH, V. K. The measurement of mortality-air pollution relationships. *Environment and Planning*, v.8, p.149-162, 1976.

---

<sup>3</sup> **Pode ser avaliada a disposição a aceitar uma compensação pela deterioração do ambiente. Para maiores detalhes sobre a diferença de abordagens ver Coursey (1987).**

<sup>4</sup> **O coeficiente é (D mortalidade/D poluição), assim, se a poluição é subestimada, o coeficiente será sobrestimado, assumindo que o erro não é confundido com outras variáveis sócioeconômicas.**

<sup>5</sup> **Pois não se espera que prevaleça um efeito linear sobre a saúde da população numa faixa de varie de 10 a 10000 habitantes /área.**

**<sup>6</sup> Observou-se que a última tem maior correlação parcial com a mortalidade total.**