
Poluição e seu controle: Aspectos Econômicos

ROBERTO MAX HERMANN (*)

I. INTRODUÇÃO

1) Este artigo apresentar informações relacionadas com a análise econômica da poluição ambiental (referente aos prejuízos por ela causados) bem como dos meios tecnologicamente disponíveis para seu controle. A contribuição da Teoria Econômica se dirige, primordialmente, a oferecer subsídios à elaboração de legislação pertinente ao assunto visando evitar distorções econômicas nas suas aplicações.

2) Para Samuelson "Economia é o estudo de como os homens e a so-

cidade decidem, com ou sem a utilização do dinheiro, empregar recursos produtivos escassos que poderiam ter aplicações alternativas, para produzir diversos bens e serviços ao longo do tempo e distribuí-los para consumo, agora e no futuro, entre diversas pessoas e grupos da sociedade. Ela analisa os custos e benefícios da melhoria das configurações de alocação de recursos".(1)

3) Alguns pontos merecem destaque:

— o economista se preocupa essencialmente com a alocação de recursos e não com a moeda empregada neste processo alocatório. Os recursos produtivos podem ser classificados em 3 grandes categorias: humanos, naturais e de capital. So-

mente combinações harmônicas destes 3 recursos é que podem gerar processos produtivos eficientes.

— recursos naturais podem ser divididos em renováveis e não renováveis. Os primeiros se caracterizam pela possibilidade de múltiplas utilizações sucessivas. O ferro se constitui num exemplo desta categoria. Após uma primeira utilização é possível recirculá-lo (o que exige a adição de outros recursos, notadamente de capital) e vir a utilizá-lo novamente. Entre os recursos não renováveis pode-se citar o exemplo do petróleo que após refinado, isto é, subdividido em diferentes substâncias e posteriormente utilizados não apresenta possibilidades práticas de sintetizá-lo novamente. Entre os recursos na-

(*) Professor Adjunto, EPUSP. Consultor do CNEC.

turais de importância destacam-se o ar, água e solo. Para efeitos de planejamento ambiental estes recursos caracterizam-se por uma capacidade assimilativa de poluentes. É de notar-se que esta capacidade é finita em pontos localizados sujeitos continuamente à emissão de poluentes.

— se bem que, explicitamente, a preocupação de Teoria Econômica seja com os recursos já mencionados a moeda desempenha papel importante já que é através deste processo que os homens e as sociedades exprimem suas escolhas. Como será visto adiante, preços desempenham papel normativo na produção e distribuição de bens e serviços através da lei de oferta e de procura.

4) O Estado (entendido na sua forma mais ampla, como o Poder Político desempenha papel de extrema importância na área de Proteção Ambiental. Alguns fatores requerem esta intervenção:

— efeitos externos (denominados pelos economistas como externalidades ou economias e deseconomias externas): ocorrem quando um processo produtivo exerce influência sobre outros. Tal influência pode ser benéfica (economia externa) ou danosa (deseconomia externa). Situações onde ocorrem externalidades (notadamente deseconomias externas) são de conflito potencial exigindo um poder de árbitro que é desempenhado pelo Estado.

— demanda coletiva: ao contrário dos bens e serviços usualmente adquiridos por consumidores isolados, a demanda para serviços na área ambiental é eminentemente coletiva. Exemplificando, se a cidade de São Paulo decidir dispor de um ambiente com características diferentes daquele que hoje tem torna-se preciso um esforço de grande envergadura que necessariamente deve refletir um desejo coletivo. Outra vez, o Estado é o veículo para avaliar esta demanda coletiva.

— magnitude dos investimentos exigidos — o setor privado não tem condições, mormente em países em desenvolvimento como o Brasil, de levantar os fundos necessários para o estabelecimento de programas para controlar e preservar o meio ambiente. Ante-se a este fato um outro: o retorno destes investimentos é dificilmente mensurável em termos monetários o que torna difícil a adesão de empresários privados.

5) Se cabe ao Estado agir no setor ambiental, pelas razões acima expostas, compete a este impor seus objetivos a programas na área ambiental. Tradicionalmente a ação do Estado, no plano econômico, tem sido de caráter desenvolvimentista, isto é, procurando ordenar o crescimento econômico nacional da maneira mais eficiente possível. Só recentemente é que objetivos ambientalistas se tem

mostrado presente nos planos e programas governamentais. Como investimentos no gerenciamento de recursos ambientais não constituem acréscimos diretos ao Produto Nacional Bruto surge um conflito entre pontos de vista estritamente desenvolvimentistas e ambientalistas.

Deste conflito espera-se que surja um meio termo que conduza a soluções de compromisso entre os dois pontos de vista opostos.

Cus 6) No setor público, custos e benefícios são os instrumentos para a aplicação de Teoria Econômica. Custos constituem uma avaliação social das oportunidades perdidas em outros setores econômicos devido aos recursos empregados em um determinado programa. Simetricamente, benefícios constituem uma apreciação de utilidade para a sociedade dos bens e/ou serviços derivados do mesmo programa. Estas avaliações, podem ser feitas a preços de mercado quando tais parâmetros estão disponíveis. Para avaliação de custos, normalmente este é o caso. Entretanto para os benefícios tais preços usualmente não podem ser encontrados no mercado. Por exemplo, quanto vale, em termos sociais o Rio Pinheiros totalmente livre das cargas poluidoras que hoje o deterioram. Quanto vale que São Paulo esteja com sua atmosfera totalmente livre dos poluentes hoje presentes?

7) No setor privado tais problemas de avaliação são minimizados. Por exemplo, para uma firma benefício é medido por seu lucro contábil.

8) Historicamente, a capacidade assimilativa dos diferentes segmentos do meio ambiente físico (ar, água e solo vem sendo utilizada como se fosse um bem gratuito. Este fato provocou, em zonas localizadas, a exaustão completa desta capacidade. O mecanismo de mercado sugere que, para racionar o uso deste bem, se eleve o preço do mesmo entrando em ação a lei da oferta e da procura. Neste caso tal não resolve pois:

— é impossível assinalar um preço para uso desta capacidade

— mais ainda, normalmente o poluidor auferir lucros com seus processos produtivos mas não sofre os efeitos de poluição que gera, havendo então pouco interesse na utilização deste bem

g) Pelo acima exposto, conclui-se que cabe ao Estado regular o uso desta capacidade assimilativa. Entretanto para que esta intervenção estatal não seja demasiadamente severa (favorecendo a corrente ambientalista) impedindo o desenvolvimento econômico ou demasiadamente branda e conseqüentemente arruinando um patrimônio ambiental de gerações futuras é preciso que haja uma contribuição da Teoria Econômica.

II. POLUIÇÃO E SEU CONTROLE

10) O objetivo deste capítulo é de fornecer uma visão macroscópica dos problemas decorrentes de presença de poluentes no meio ambiente.

11) É usual considerar o meio ambiente físico como dividido em 3 segmentos: ar, água e solo. Esta distinção é útil pois permite uma análise individual de impactos ambientais em cada segmento isoladamente. Entretanto é importante notar que o enfoque a ser dado a programas de proteção ambiental deve, necessariamente, ser integrado considerando conjuntamente os 3 segmentos. Caso isto não ocorra fica aberta a possibilidade de dispor-se de resíduos gerados em um ambiente em outros não controlados. Por exemplo, é possível (e mesmo usual em algumas cidades) queimar-se sistematicamente, resíduos sólidos evitando problemas de poluição do solo e aumentando consideravelmente o conteúdo de poluentes atmosféricos. Ainda, como ilustração, considere-se ainda o uso de trituradores domésticos muito em uso nos Estados Unidos. Tal aparelho tritura resíduos sólidos, notadamente que se originam de atividades culinárias, e diluem estes resíduos em água corrente. Outra vez existe a passagem de resíduos que viriam a ser dispostos no solo para resíduos que são dispostos em corpos d'água. A poluição do solo é aliviada às custas de acréscimo na poluição hídrica.

12) A descrição e previsão de fenômenos relacionados com a poluição do ar são os que apresentam as maiores dificuldades. A razão destas dificuldades reside parcialmente em prever as características aerodinâmicas das correntes de ar que veiculam as cargas poluidoras lançadas na atmosfera. Mesmo técnicas sofisticadas de análise (com emprego de modelos matemáticos implementados em computadores digitais) podem prever apenas tendências fornecendo resultados válidos somente em termos médios espaciais e temporais. Eventos localizados de curta duração não podem ser adequadamente previstos e descritos. Automóveis e indústrias se constituem nos maiores poluidores atmosféricos.

A poluição atmosférica é facilmente percebida pela comunidade por ela afetada devido a alterações no cheiro e em outras propriedades físico-químicas do ar. Seus efeitos fazem-se sentir no ataque superficial a prédios e instalações a ela expostas e sobre os seres vivos devido ao potencial de provocar irritações epidérmicas e várias outras doenças.

13) Contrariamente à poluição atmosférica, aquela de origem hídrica é passível de análise com grau de detalhe espacial e temporal muito

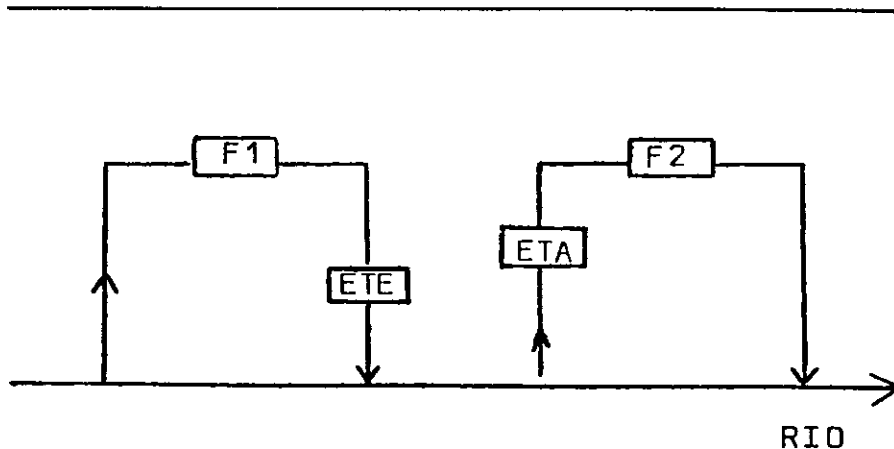
mais refinado. Modelos matemáticos, de grande complexidade são utilizados para descrição de propagação de poluentes podendo prever variações de concentração da maioria deles ao longo de intervalos de tempo bastante reduzidos em pontos localizados nos corpos d'água (rios, lagos naturais ou artificiais, stuários, porções do ambiente marítimo). Estes modelos são baseados em equações diferenciais de Mecânica dos Fluidos em duas fases usualmente apresentadas nos cursos sobre Processos de Transporte de Massa.

Outra diferença entre o recurso ar e o recurso água se prende aos propósitos a que são utilizados. O ar é recurso utilizado basicamente para atender um propósito: a respiração de seres vivos, essencial para manutenção de vida de organismos terrestres. A água por outro lado, pode ser usada para atendimento de diferentes propósitos:

- abastecimento urbano e industrial
- diluição de cargas poluidoras
- geração energética
- recreação
- irrigação
- navegação, etc.

A cada um destes usos, a mesma concentração de um determinado poluente irá ocasionar prejuízos diferentes. Assim por exemplo, água altamente poluída pode ser usada na geração energética sem prejuízo sensível a este propósito. Água com características semelhantes é absolutamente imprópria para consumo doméstico. Esta diferenciação de uso acarreta a necessidade de classificar os corpos d'água de acordo com seus usos, para determinar as características semelhantes é absolutamente imprópria para consumo doméstico. Esta diferenciação de uso acarreta a necessidade de classificar os corpos d'água de acordo com seus usos, para determinar as características ecológicas desejáveis para os mesmos.

14) A disposição final de resíduos sólidos traz, comparativamente, problemas de muito menor magnitude do que os mencionados previamente. Esta disposição pode ser feita em locais selecionados em função da distância das fontes geradoras (com reflexos sobre os custos de transporte) e do preço da terra a ser dedicada a este fim. Monitoragem adequada é necessária para evitar efeitos ambientais nocivos nos outros segmentos. Tais depósitos podem exalar mau cheiro e por ocasião das chuvas podem fornecer cargas poluidoras que atingem, eventualmente, corpos receptores hídricos. A reutilização do lixo, inclusive para geração energética, é tecnologia que se encontra em franco desenvolvimento.



15) Foram desenvolvidas diferentes alternativas tecnológicas com objetivo de abater o volume de poluentes lançados a cada um dos segmentos do meio ambiente. A cada uma destas medidas está associado um custo.

III. EXEMPLO NUMÉRICO

16) Apresenta-se, a seguir, um modelo matemático altamente simplificado com o objetivo único de ilustrar alguns dos conceitos já emitidos. Modelos matemáticos mais complexos (e conseqüentemente mais realistas) são comumente utilizados para análise de problemas semelhantes.

As duas fábricas indicadas por F1 e F2 no desenho acima usam água do rio nos seus processos produtivos. F1 dispõe de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) para controlar a qualidade de seus despejos residuais. Em F2 está instalada uma estação de tratamento d'água (ETA) necessária para eventuais correções na qualidade d'água captada no rio por imposição de seu processo produtivo.

Os custos de operação de F1 e F2 são, obviamente, afetados pelo funcionamento da ETE e ETA.

para F2:

$$Z_1 = b_1 x_1 - a_1 x_1^2 - K_1 x_1 \frac{1-r}{r}$$

benefício bruto custos de produção (fixos + variáveis) custos de operação da ETE

$$Z_2 = b_2 x_2 - a_2 x_2^2 - K_2 r x_1 x_2$$

benefício bruto custo de produção (fixos + variáveis) custos de operação da ETA

Os processos produtivos empregados nas duas fábricas não podem ser mudados pressupondo um nível tecnológico constante.

Seja:

x_1 — nível de operação de F1 (unidades/dia)

x_2 — nível de operação de F2 (unidades/dia)

b_1 — preço de venda do produto de F₁

b_2 — preço de venda do produto de F₂

Somente um poluente será aqui considerada esta hipótese é uma simplificação considerável da realidade mas necessária para manter a estrutura matemática do exemplo a nível elementar.

r — proporção do poluente remanescente após tratamento na ETE de F1; se o esgoto não for tratado, $r=1$. A carga poluidora no rio é proporcional a rx_1 .

Para empresários privados, a função de benefício líquido é representada pelo lucro contábil (ver item 7). No caso as funções de benefício líquido são:

para F1:

para efeitos de cálculos numéricos pode-se assumir

$$b_1 = 20 \quad K_1 = 0,4 \quad a_1 = 1$$

$$b_2 = 50 \quad K_2 = 0,5 \quad a_2 = 2,5$$

18) O empresário privado, usualmente, procura maximizar seu lucro. Para F1, a estratégia consiste em fazer $r = 1$ (não tratar seus esgotos) e em seguida calcular x_1 tal que

$$\frac{dz_1}{dx_1} = 0 \text{ e } \frac{d^2z_1}{dx_1^2} < 0.$$

Efetuando

$$x_1^* = 10 \text{ unidades/dia}$$

$$z_1^* = \$ 100,00$$

Como F1 está a montante (acima) de F2 sua decisão em relação ao grau de tratamento r e nível de produção x_1 terá que ser obedecida pela segunda fábrica. Substituindo $r = 1,0$ e $x_1^* = 10$ na equação 2, derivando e igualando a zero vem:

$$x_2^* = 9 \text{ unidades/dia}$$

$$z_2^* = \$ 202,50$$

Caso F1 não interferisse com o processo de F2 seu ponto de ótimo seria:

$$r = 0$$

$$x_2^* = 10 \text{ unidades/dia}$$

$$z_2^* = \$ 250,00$$

O impacto causado por F1 sobre F2, neste caso simples, pode ser avaliado e se traduz pela diferença de lucro que F2 nas duas situações.

$$\Delta = 250,00 - 202,50 = \$ 47,50$$

Este último valor constitui-se na deseconomia externa de F1 sobre F2 (ver item 4)

19) O item acima discute a situação de conflito. Como resolvê-la? É pouco provável que a direção de F2 conseguisse obter uma solução de compromisso negociando diretamente com a direção de F1. Como descrito nos itens 4 e 5 ao Estado cabe o poder de árbitro em situações do tipo daquele aqui examinado.

20) Uma primeira linha de ação poderia ser descrita como segue. O Estado representando a comunidade usuária do rio (neste exemplo simplificado constituída exclusivamente pelas duas fábricas) decide procurar paprap as variáveis de decisão (x_1 , x_2 e r) os valores que maximizem o va-

lor econômico representado pela soma $z_1 + z_2$.

Somando as equações 1 e 2, efetuando as derivadas $\frac{d(z_1 + z_2)}{dx_1}$

$$\frac{d(z_1 + z_2)}{dx_2} \text{ e } \frac{d(z_1 + z_2)}{dr} \text{ e igual}$$

$$r = 0,2865$$

$$z_1 = \$ 89,71$$

$$z_2 = \$ 237,48$$

$$z_1 + z_2 = \$ 327,19$$

Esta seria, do ponto econômico, o enfoque mais racional.

Entretanto do ponto de vista prático revela-se pouco viável por exigir uma análise individual em cada caso. Tal esforço exigiria recursos consideráveis, muito acima dos comumente alicados às entidades controladoras do meio ambiente.

21) Um enfoque alternativo, ainda incipiente, mas do ponto de vista de Teoria Econômica bastante atraente, consistiria de:

- classificar os diferentes processos produtivos em algumas categorias (por exemplo, papel, textil, etc.) e avaliar para cada um deles um nível de tecnologia padrão, que refletisse um estágio desejável a ser lançado pelas diferentes fábricas e municipalidades.
- usualmente, quanto mais eficiente é o processo produtivo, maior é a utilização dos diferentes insumos e menor as cargas poluidoras geradas.
- por confronto entre o processo utilizado e o padrão seria possível avaliar em cada instalação, a diferença entre a carga poluidora mínima possível e aquela efetivamente descarregada. Cada poluidor seria taxado com um valor proporcional a esta diferença.

Este esquema é bastante atraente do ponto de vista teórico pois permite cobrar do usuário do recurso natural valor proporcional ao seu uso. Ainda mais, passa a ser um estímulo para o aperfeiçoamento dos processos produtivos e/ou de tratamento. Entretanto sofre da mesma restrição apontada no item precedente: requer esforço organizacional considerável.

22) Finalmente o enfoque mais simples consiste em assinalar valores máximos para as concentrações de poluentes emitidos e/ou presentes no ar e na água. Tal enfoque é utilizado no Brasil e será objeto da próxima aula.

23) Suponha, agora, que o rio que serve ao abastecimento e recepção dos resíduos de F1 e F2 seja ainda usado para outro propósito: recreação.

Já foi visto, no item 20, que $r = 0,2865$ é valor ótimo para os usos descritos anteriormente. A inclusão deste novo propósito exige que r seja, no máximo, igual a 0,1 (ver item 13). Quais seriam os novos valores de x_1 , x_2 , z_1 , z_2 neste caso?

A solução desta nova versão do problema descrito no item 17 requer o uso dos multiplicadores de Lagrange. Efetuando vem:

$$x_1^* \cong 8 \text{ unidades/dia}$$

$$x_2^* = 10$$

$$z_1^* = \$ 67,18$$

$$z_2^* = \$ 246,04$$

$$z_1^* + z_2^* = \$ 313,22$$

A inclusão deste novo uso traz um decréscimo na receita líquida das atividades produtivas de 327,19 — 313,22 = \$ 13,97. Esta diferença é incorrida para preservação das características ambientais do curso d'água visando seu uso em atividades não econômicas.

IV. SUMARIO

25) As forças de mercado não agem na área ambiental devido a:

- dificuldade em estabelecer preço de mercado para utilização dos recursos ambientais representados pela capacidade assimilativa do ar, água e solo;
- relutância dos usuários em "adquirir" estes recursos já que eles não aumentam a produtividade do setor privado. No setor público, alternativas de investimentos podem ser geralmente, encontradas que tragam benefícios mais imediatos e visíveis.

25) Devido aos efeitos descritos no item precedente o Estado é forçado a intervir impondo legislação específica, com objetivo de preservar o patrimônio ecológico nacional.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Samuelson, P. A. - Introdução à análise econômica, Livraria Agir, 1975.
- 2) Solow, R. M. - The Economist's approach to Pollution and Its Control, Science, vol. 173, 1971.
- 3) James, L. D. e R. R. Lee - Economics of water Resources Planning, TMH Edition, 1971.