

HENRIQUE TOMÉ DA COSTA MATA

**IMPACTOS DA POLUIÇÃO INDUSTRIAL  
NA ECONOMIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2001

HENRIQUE TOMÉ DA COSTA MATA

**IMPACTOS DA POLUIÇÃO INDUSTRIAL  
NA ECONOMIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 18 de maio de 2001.

---

Suely de Fátima Ramos Silveira

---

Fátima Marília Andrade de Carvalho

---

Marcelo José Braga

---

José Maria Alves da Silva  
(Conselheiro)

---

José Euclides Alhadas Cavalcanti  
(Orientador)

A Osvaldina e Sofia Lara.

## **AGRADECIMENTO**

Ao povo brasileiro, na esperança e na certeza de um futuro melhor para todos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especificamente ao Departamento de Economia Rural (DER), pelo excelente ambiente de trabalho e pela oportunidade de desenvolver e concluir em tempo este trabalho.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao professor orientador José Euclides Alhadas Cavalcanti, pela orientação e amizade transmitidas nos momentos difíceis.

Aos membros da Banca Examinadora Suely de Fátima Ramos da Silveira, Fátima Marília Andrade de Carvalho, José Maria Alves da Silva e Marcelo José Braga, pelas importantes sugestões para o aperfeiçoamento do texto final da tese.

A todos os professores do DER, pela riqueza dos ensinamentos transmitidos, principalmente na fase do cumprimento das exigências de créditos.

À Graça Freitas, secretária da pós-graduação do DER, pela permanente disposição, assistência e amizade durante todo o período de realização do curso, e aos demais funcionários e técnicos do DER, pela amizade calorosa e presteza.

A todos os colegas e amigos do curso de mestrado e doutorado, que proporcionaram ambiente de estudo favorável à realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

HENRIQUE TOMÉ DA COSTA MATA, filho de Lerêno da Silva Mata e Maria Tomé José da Costa, nasceu na cidade de São Tomé - República de São Tomé e Príncipe, em 11 de julho de 1958.

Em Portugal, concluiu os cursos de Técnico em Agricultura na Escola Agrícola Paiã - Odivelas, em 1978, e de Técnico Médio em Agricultura na Escola Agrícola Conde de São Bento - Santo Tirso, em 1981.

Foi técnico do Ministério da Agricultura e Pesca na República de São Tomé e Príncipe, no período de 1981 a 1982.

Em 1983, ingressou no Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa - Portugal, com bolsa de estudo da Cooperação Portuguesa, tendo-se transferido em 1985 para a Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil, onde, em 1990, graduou-se em Engenharia Florestal e em Licenciatura em Ciências Agrícolas, com bolsa de estudo da Divisão de Formação e Treinamento do Ministério das Relações Exteriores do Brasil.

Em março de 1991, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, na área de Economia, na Universidade Federal de Viçosa, com bolsa de estudo do CNPq, obtendo o título de "Magister Scientiae" em outubro de 1993.

Em junho de 1994, foi contratado como consultor permanente em economia florestal, pelo Projeto Alemão de Assessoria Política Agrícola e Florestal (APOFA-GTZ), no governo da República de São Tomé e Príncipe, função que exerceu até fevereiro de 1997. Ainda em janeiro de 1997, foi nomeado secretário do Conselho Técnico Assessor - CTA do Ministério da Agricultura e Pesca, cargo que abandonou para prosseguir seus estudos.

Em março de 1997, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, em nível de Doutorado, na área de Economia de Recursos Naturais e Meio Ambiente, na UFV, defendendo tese em maio de 2001.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Considerações gerais .....	1
1.2. O problema e sua importância .....	4
1.3. Objetivos .....	7
2. METODOLOGIA .....	9
2.1. Referencial teórico .....	9
2.1.1. Teoria de regulação e controle da poluição industrial .....	9
2.1.2. Crescimento econômico e meio ambiente .....	11
2.1.2.1. A reprodução econômica e a capacidade assimilativa do meio ambiente .....	11
2.1.2.2. Nível ótimo de poluição .....	14



	Página
2.1.2.3. Poluição como externalidade ambiental e seus impactos econômicos .....	16
2.1.2.4. Internalização de custos da poluição na abordagem de taxas pigouvianas e coaseanas .....	19
2.1.3. Impactos da tecnologia e da estrutura de preferências sobre o nível ótimo da poluição industrial .....	22
2.1.4. O problema e o custo de transação no processo de regulação e controle de poluição .....	25
2.1.4.1. Visão geral do novo paradigma de controle da poluição ..	26
2.1.4.2. Principais instrumentos da política de regulação da poluição .....	29
2.1.4.2.1. Mecanismos de incentivo econômico indiretos .....	31
2.1.4.2.2. Mecanismos de incentivo econômico diretos .....	33
2.1.4.2.3. Uso de instrumentos econômicos no Brasil .....	34
2.1.5. Globalização, comércio internacional e poluição .....	35
2.1.5.1. Política comercial e proteção ambiental .....	38
2.1.5.2. Poluição industrial e mudança climática .....	42
2.1.6. Microeconomia da poluição e bens públicos .....	43
2.1.7. Abordagem macroeconômica da poluição .....	47
2.1.7.1. Impactos macroeconômicos da regulação ambiental .....	50
2.2. Modelo analítico .....	52
2.2.1. Modelos analíticos de equilíbrio geral do tipo insumo-produto aplicados à análise de impacto ambiental .....	52
2.2.2. Modelo proposto para a análise dos impactos da poluição industrial na economia brasileira .....	62

	Página
2.2.2.1. Modelo de insumo-produto ambiental com multiplicadores de renda e controle de poluição endógenos .....	71
2.2.2.2. Restrições e estabilidade do modelo .....	77
2.2.3. Fonte e tratamento de dados .....	81
2.2.3.1. Método IPPS .....	81
2.2.3.2. Classificação e agregação setorial da economia .....	84
2.2.4. Caracterização da estrutura produtiva da economia brasileira	86
2.2.4.1. Procedimentos para a análise setorial de componentes do valor adicionado .....	87
2.2.4.2. Markup setorial do valor adicionado .....	88
2.2.4.3. Ligação interindustrial e setores-chave na abordagem ambiental da economia brasileira .....	89
2.2.4.3.1. Índices de Rasmussen-Hirschman .....	89
2.2.4.3.2. Campo de influência .....	90
2.2.4.3.3. Multiplicadores de renda, emprego e produção .....	92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	94
3.1. Perfil da estrutura produtiva dos complexos setoriais agregados ..	94
3.2. Análise dos multiplicadores setoriais de produção e renda .....	101
3.3. Índices de ligações e campo de influência .....	103
3.4. Impactos ambientais da poluição industrial na estrutura da economia brasileira .....	108
3.4.1. Estimativa quantitativa de geração da poluição industrial no Brasil .....	109
3.4.2. Estimativa dos custos de controle da poluição de origem industrial no Brasil .....	120

	Página
3.4.3. Impactos na geração e nos custos de controle da poluição industrial na estrutura da economia brasileira .....	127
3.4.3.1. Análise de poluentes emitidos .....	127
3.4.3.2. Internalização dos custos de controle da poluição industrial na análise estrutural da economia brasileira .....	135
4. RESUMO E CONCLUSÕES .....	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	154
APÊNDICE .....	162

## RESUMO

MATA, Henrique Tomé da Costa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2001. **Impactos da poluição industrial na economia brasileira.** Orientador: José Euclides Alhadad Cavalcanti. Conselheiros: Antônio Cordeiro de Santana e José Maria Alves da Silva.

Com a introdução e a aplicação do método de análise da estrutura produtiva proposto por Leontief, muitos estudos procuram demonstrar os elos de ligação interna e o processo de interdependência que se observa entre os diferentes setores da economia. Com base na versão ampliada da estrutura analítica proposta por Leontief para a análise da repercussão da poluição industrial, foram analisados os diferentes efeitos da poluição industrial na economia brasileira. Para isso, foram estimados os níveis de diferentes componentes da poluição da água e do ar e seus respectivos custos de controle para o caso brasileiro, com base nos indicadores de intensidade e custos médios obtidos da base de dados IPPS do Banco Mundial. Os resultados obtidos mostraram-se consistentes com os objetivos delineados de determinar os impactos da internalização dos custos e da quantidade de poluição na economia e de verificar os impactos de alternativas políticas econômicas no meio ambiente, em especial sobre a capacidade de geração e controle da poluição. Observou-se

que os setores de siderurgia e metalurgia, alimentos processados, têxteis, couros, calçados e vestuários, madeira, papel e celulose, extrativo mineral, química e petroquímica apresentaram os maiores efeitos de interdependência na economia, em termos de multiplicadores de produção e renda. Entretanto, para atender ao desenvolvimento de um programa de controle da poluição industrial, procedeu-se à estimativa dos custos e posterior internalização ao modelo de insumo-produto, na suposição de que os agregados produtivos devam adotar "tecnologias limpas", acarretando investimentos em atividades de controle. Os setores mais intensivos nas emissões de poluição foram siderurgia e metalurgia, química e petroquímica e outras indústrias, sendo os dois primeiros mais dinâmicos e de maior campo de influência na economia. Em relação aos custos estimados para os programas de controle, foram determinados maiores custos para componentes SO<sub>2</sub>, elementos tóxicos do ar, NO<sub>2</sub>, componentes orgânicos voláteis (COV) e poluentes da água.

## ABSTRACT

MATA, Henrique Tomé da Costa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2001. **Impacts of the industrial pollution in the Brazilian economy.** Adviser: José Euclides Alhadas Cavalcanti. Committee Members: Antônio Cordeiro de Santana and José Maria Alves da Silva.

With the introduction and the application of the method of analysis of the productive structure proposed by Leontief, many studies try to demonstrate the connection links and the interdependence process that is observed among the different sections from economy. Based on the enlarged version of the analytic structure proposed by Leontief for analysis of the repercussion of the industrial pollution, the different effects of the industrial pollution were analyzed in the Brazilian economy. For that, they were dear the levels of different components of the water pollution and air pollution and its respective control costs for the Brazilian case, based in the intensity indicators and costs obtained of the database IPPS of the World Bank. The results were shown consistent with the delineated objectives of determining the impacts of costs and amounts of pollution in the economy. The impacts of economic political alternatives on environment, especially, on the generation capacity and control was observed. The metallurgy, textile, leathers, footwears and clothes, wood, paper and

cellulose, extractive mineral and chemistry sectors presented the largest interdependence effects in the economy in terms of production and income multipliers. However, to assist the development of a program of industrial pollution control, it was proceeded the estimate of the costs and its including to the input-output model, in the supposition that the productive structure should adopt " clean " technologies, being carted in investments in control activities. The most intensive sections in the pollution emissions went to metallurgy, chemistry and other industries, the two first, more dynamic and of larger influence field in the Brazilian economy. In relation to the costs for control programs, they were larger for SO<sub>2</sub>, toxicant air elements, NO<sub>2</sub>, volatile organic components (COV) and water pollution components.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Considerações gerais

O impacto do homem sobre o meio ambiente como resultado das atividades de produção e consumo geralmente está relacionado a três fatores: à ocupação do espaço físico; à extração de recursos naturais como fator de produção; e às descargas residuais poluentes. O impacto ambiental dessas atividades constitui fator importante a ser computado em análises de crescimento econômico. A análise desses impactos enquadra-se no âmbito da economia da poluição e da economia dos recursos naturais. Na economia da poluição, analisam-se os recursos ambientais como receptores de dejetos ou *outputs* ecológicos indesejáveis do processo produtivo, enquanto na economia dos recursos naturais aborda-se o meio ambiente como fonte de matéria-prima ou *inputs* ecológicos.

O paradigma do desenvolvimento sustentável representa uma vertente nova em ciências econômicas, passando a descrever as condições de equilíbrio e crescimento econômico a longo prazo, com base na interação entre os fatores ambientais e econômicos. A poluição industrial e a deterioração da qualidade ambiental devem, nesse novo cenário, integrar a análise econômica em modelos de produção e se inserir num novo contexto da teoria da externalidade. A



sustentabilidade do perfil de qualidade ambiental da estrutura produtiva se desenvolve com a utilização de insumos ambientais e ecológicos e a emissão de subprodutos em níveis inferiores à capacidade-limite de absorção natural do sistema.

Desse modo, a abordagem implícita das externalidades, que considera os custos externos ao sistema econômico, tem implicações estruturais na dinâmica de mercado. Identificam-se distorções na interface econômico-ambiental, devido à discrepância que se observa nas relações entre a utilidade dos consumidores e a tecnologia de produção. Outro aspecto importante reside na idéia implícita nos bens públicos, na caracterização da maioria dos recursos ambientais. Decorre dessa idéia o pressuposto da não-rivalidade, segundo o qual o consumo de um agente não afeta a disponibilidade de consumo para o outro. Na realidade, trata-se, por um lado, de um importante princípio da economia e, por outro, de uma forte restrição às regras de direito de propriedade, importante instrumento autônomo de regulação no sistema de transação econômica.

Nos primeiros estágios do desenvolvimento, normalmente o rápido crescimento da atividade industrial está associado ao declínio da qualidade ambiental e à intensidade de emissão de poluentes, principalmente em áreas urbanas. Numa economia em crescimento, os insumos ecológicos são ativos ambientais escassos. Por outro lado, os produtos ecológicos, como poluentes, tendem a ultrapassar a capacidade assimilativa do meio ambiente e são, assim como os insumos, transacionados a preço nulo. Assim, *ceteris paribus*, o bem-estar integrado ao sistema tende a aumentar quanto mais a economia poupar na intensidade de uso de insumos escassos e quanto menor for o volume de produtos ecológicos emitidos.

Essas considerações permitem a formulação conceptual na adoção de programas de desenvolvimento econômico que levem em consideração a interdependência entre as necessidades de crescimento e a qualidade ambiental, especialmente no tocante à poluição industrial. Dessa forma, o impacto ambiental da economia pode ser analisado por um conjunto de fatores, como a intensidade de poluição industrial por setor da economia, o rigor da regulação e do controle

institucional, a evolução da renda nacional, o grau da abertura comercial e os custos totais dos danos e do controle da poluição. O impacto do crescimento econômico sobre o meio ambiente depende da análise do comportamento desses fatores. Delineiam-se as hipóteses de que a participação do setor industrial na produção total da economia e a renda per capita têm relação dada pela curva de Kuznets na trajetória de crescimento econômico e com implicações ambientais. No caso de uma economia dual, com dois setores apenas, agrícola e industrial, nas primeiras fases do crescimento, a participação do setor industrial na renda nacional expande-se mais rapidamente que a do setor agrícola. Nessa dinâmica, quando a economia se aproxima de sua fase de maturação, o setor de serviços ganha impulso e, com o crescimento mais rápido, determina a dinâmica do impacto ambiental e da poluição na economia (HETTIGE et al., 1997).

Assim, a análise da poluição é uma variante importante na abordagem da economia e, como tal, fundamenta-se basicamente no teorema de bem-estar. Entretanto, segundo BIRD (1982), os princípios da economia de bem-estar se sustentam nos pressupostos da competição perfeita e no comportamento da tecnologia de produção e consumo, onde as imperfeições de mercado são relaxadas e tratadas como distorções passíveis de ajustamentos no longo prazo. Nesse contexto, as soluções de mercado mostram-se inconsistentes para a análise de bem-estar em economia ambiental, porque a estrutura de troca competitiva não distribui eficientemente os impactos da poluição, por causa das limitações na determinação das regras de direito de propriedade – o uso da poluição como recursos de propriedade comum não permite, em princípio, a definição de uma relação de valor. Nesse caso, as condições ótimas de equilíbrio devem ser diferentes daquelas em que se considera somente a transação de bens e serviços com valor de troca definido (PIREDDU, 1996). A consideração dos custos externos de qualquer atividade ambiental ou relacionada à emissão de poluentes por meio de uma política de tributação ou outra modalidade de controle, por si só, não garante o controle ótimo desejável na gestão ambiental, sendo, por isso, necessárias políticas públicas de investimentos setoriais em controle. Novos instrumentos econômicos na gestão de qualidade ambiental devem estar

vinculados à análise integrada dos impactos, uma vez que os mecanismos teóricos prevaletentes na tomada de decisão acarretam a otimização de lucros dos agentes econômicos e a minimização dos custos de controle ambiental. Portanto, os agentes econômicos, ao decidirem sobre o nível ótimo de produção, consumo e investimento, não absorvem os custos de danos e de controle ambiental (EDER e NARODOSLAWSKY, 1999).

Essas dificuldades em explicar fenômenos ambientais e de gestão da poluição são fundamentais no âmbito da análise da estrutura de uma economia e constituem o referencial de base na condução da presente análise.

## **1.2. O problema e sua importância**

Com relação ao uso do meio ambiente para a deposição de resíduos poluentes, a relevância da análise econômica deve referir-se ao fato de o meio ambiente ter uma capacidade limitada em termos da autogestão de poluentes sujeitos a processos biológicos, o que, nas ciências biológicas, trata-se de poder de decomposição física de materiais. O problema da poluição não deve ser tratado sem uma boa compreensão da dimensão ecológica e econômica, o que justifica a sua abordagem de forma integrada.

Conforme MUELLER (1994), em fins da década de 60 e no início dos anos 70 começaram a ser divulgadas análises dos impactos de restrições ambientais sobre o crescimento econômico e deste sobre o meio ambiente; surgiram os primeiros modelos neoclássicos de equilíbrio geral, considerando explicitamente as funções do meio ambiente de fornecer recursos naturais ao sistema produtivo e de assimilar os resíduos de processos de produção e consumo.

Também, a partir dos anos 70, em decorrência, principalmente, da acentuação da poluição industrial e dos sucessivos choques de petróleo, gera-se um pessimismo na perspectiva da trajetória de crescimento econômico mundial, que culmina com o relatório do Clube de Roma. A partir daí, a realidade empírica passou a se traduzir em esforços distributivos e alterou as perspectivas de

desenvolvimento econômico na direção de maior equidade na economia, onde parâmetros ambientais, sociais e distributivos passaram a se sobrepor à economia no sentido marginal clássico. A conservação ambiental e o interesse principalmente para com os aspectos relativos à emissão de poluentes industriais resultantes da dinâmica de crescimento passaram a constituir o novo eixo dos objetivos de desenvolvimento econômico.

Em vista dessas inúmeras restrições conceituais e operacionais ao uso estrito da análise econômica como único instrumento de planejamento e tomada de decisão à margem dos aspectos relativos à poluição, diferentes concepções políticas e instrumentais alternativas poderão permitir a melhoria desejável da gestão de qualidade ambiental.

A análise das externalidades com o objetivo de induzir os agentes econômicos a considerarem os custos dos danos e de controle ambiental deve ser conduzida na base da adoção de critérios sociais de custo-benefício que permitam comparar programas de desenvolvimento alternativos e incluam os custos da poluição ambiental, implementando instrumentos econômicos com base nas multas e taxas sobre as emissões de poluentes, gerando assim receitas para financiar os programas públicos de monitoramento e pesquisas que estimulem as inovações tecnológicas. Esses fatores constituem diferentes vertentes para a análise do impacto da poluição na economia.

Partindo-se do princípio de que o problema da economia brasileira consiste na restauração de sua dinâmica produtiva e estrutural, a análise da expansão dos setores produtivos interligada à abordagem de geração de poluição deve, portanto, permitir a compreensão desse processo e gerar importantes subsídios para tomada de decisão em termos de políticas de gestão no campo específico da poluição.

Além disso, nas abordagens tradicionais, desconhecem-se os impactos da demanda de consumo na geração de poluição. Uma tentativa de estimar esses efeitos foi realizada em 1984 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, quando então se observou, com base em análises de experiências em alguns países industrializados, que as despesas com o

controle de poluição podem elevar o nível de renda agregada da economia ou até mesmo deprimir os níveis de renda. Segundo CAIRNCROSS (1992), a curto prazo, os investimentos em programas de controle e redução de poluição estimulam a produção setorial e o nível geral da atividade econômica. No longo prazo, decrescem os níveis de lucro dos agentes econômicos e os preços aumentam em compensação aos elevados custos de controle, eliminando os ganhos econômicos em programas de controle e redução da poluição industrial.

O impacto da poluição na economia brasileira pode ser analisado por meio do modelos de insumo-produto expandidos em uma estrutura econômico-ambiental que internalize variáveis de geração e controle de poluição, descrevendo a interdependência entre o sistema econômico e as atividades de controle ambiental.

O cenário analítico presente vem enfatizando as conseqüências ambientais de políticas comerciais e de ajustamentos estruturais da economia. Argumenta-se que essas políticas induzem vantagens comparativas no uso intensivo dos recursos ambientais e na adoção de tecnologia intensiva de poluição e que as pressões para dinamizar a capacidade produtiva das economias estimulam a diminuição dos recursos naturais e a expansão cada vez maior da poluição.

Por outro lado, existem também proposições segundo as quais as mudanças estruturais da economia são vantajosas do ponto de vista ambiental, uma vez que os setores dinâmicos e em crescimento são mais eficientes na estratégia de redução nos custos e aumento na competitividade, o que, como resultado, induz à redução dos custos ambientais, com a adoção subsequente de tecnologia cada vez menos intensiva na emissão de poluentes.

A outra variante política dessa abordagem sustenta que sistemas formais de regulação determinam que os setores econômicos poluidores potenciais tendam a diminuir suas demandas por recursos ambientais, na medida em que existe a expectativa crescente nos preços decorrentes da adoção desses instrumentos legais.

Quanto às políticas de regulação, argumenta-se que geralmente os países em desenvolvimento são menos rigorosos em matéria de política e legislação em relação aos países industrializados, o que pode favorecer a expansão e a migração de setores econômicos industriais intensivos na poluição. No longo prazo, e como resultado desses processos de ajustamento, a economia pode estimular investimentos em indústrias mais intensivos na poluição, que migrariam dos países desenvolvidos em consequência dos altos custos que lhes seriam impostos por parte de políticas de controle existentes naqueles países.

Desse modo, partindo da suposição de que existe relação de interdependência entre o sistema produtivo e as variáveis ambientais, principalmente no plano das emissões de poluentes, a hipótese geral é de que a economia brasileira, como outras economias em desenvolvimento, tenda a caracterizar-se por elevada capacidade de geração de poluição. Posto isso, o estudo baseia-se na suposição de que a análise da estrutura econômica sem considerar os impactos da poluição industrial induz a distorções dos resultados gerais de importantes variáveis macroeconômicas. A dinâmica de produção e consumo estará relacionada aos processos de geração de poluição e seus respectivos custos de controle e podem, assim, determinar efeitos diferenciados de “feed-back” na economia em abordagens de equilíbrio geral.

### **1.3. Objetivos**

O estudo propõe, em termos gerais, avaliar os impactos ambientais da poluição na economia brasileira.

Em termos específicos, objetiva-se:

- avaliar a estrutura produtiva e os setores-chave da economia brasileira, segundo a agregação que atenda à geração potencial de poluição;
- estimar as quantidades totais de diferentes componentes da poluição industrial da água e do ar na economia brasileira;
- estimar os custos setoriais e totais de diferentes componentes da poluição industrial da água e do ar na economia brasileira;

- determinar os impactos resultantes da internalização dos custos e da quantidade da poluição industrial sobre a estrutura da produção e meio ambiente; e
- analisar os impactos de medidas de políticas econômicas sobre a estrutura produtiva, em especial sobre a capacidade de geração e controle de poluição industrial.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Referencial teórico**

#### **2.1.1. Teoria de regulação e controle da poluição industrial**

De maneira geral, parte-se do princípio de que os países em desenvolvimento experimentam grande variedade de perfis ambientais e, conseqüentemente, inúmeras fragilidades nas suas estruturas de regulação ambiental (AFSAH et al., 1996; SHAMAN, 1996; MARGULIS, 1996). Com base nessas deficiências estruturais, o setor produtivo, destacadamente o setor industrial, trata o ambiente econômico externo como fator livre, o que os leva a reduzir os esforços no controle das emissões poluentes. Assim, em virtude da relação pouco conclusiva entre o poder regulatório e o comportamento das firmas, AFSAH et al. (1996) propuseram o desenvolvimento de um novo paradigma na avaliação do comportamento do setor industrial, segundo a relação de princípio poluidor-pagador.

O modelo poluidor-pagador é baseado numa estrutura de regulação ótima. Ele parte do pressuposto de que existe informação perfeita e custo de transação nulo entre os agentes econômicos. O custo de transação pode constituir uma barreira às soluções ótimas de mercado, o que dificultaria a aplicabilidade



do princípio<sup>1</sup> coaseano e pigouviano de controle, considerando o agente regulador como a única fonte de pressão sobre o agente poluidor e atribuindo pouca importância aos outros agentes de mercado, como as organizações civis em geral. O agente regulador legal é a instituição formal, e normalmente ele é de caráter público. Ele define e estabelece as regras e normas de comportamento ambiental com base na visão econômica tradicional, segundo a qual o conceito de nível de “poluição ótimo” é apropriado no plano da economia ambiental. Contudo, o modelo é insuficiente para a explicação real do comportamento dos agentes reguladores no processo de controle, por causa da suposição de informação perfeita e da desoneração do custo de transação.

Em relação à estrutura de custos no processo de regulação, fica implícita a idéia de que o controle de qualidade ambiental é um problema de minimização do custo total de poluição. Esses custos se compõem de custos diretos de controle e custos de danos de poluição. O custo de controle representa as despesas monetárias diretas com o objetivo de melhorar a qualidade ambiental ou o controle ambiental. Em geral, espera-se que o custo marginal de controle aumente com o aumento da qualidade ambiental, porque o incremento no nível da qualidade ambiental requer estímulos tecnológicos e de custos elevados.

A eliminação total de um dado tipo de poluição pode não se justificar com base em considerações econômicas de custo. Contudo, a poluição não-tratada contribui para a deterioração na qualidade ambiental. O valor monetário de todos os danos resultantes do impacto da poluição recebe a designação de custo total dos danos da poluição ou, simplesmente, custo da poluição. Danos na qualidade ambiental podem se manifestar de várias formas, dependendo da quantidade e da natureza de poluentes. Em geral, esses custos são identificados em termos de danos na mortalidade animal e de plantas, no aumento da velocidade da depreciação infra-estrutural e nos efeitos danosos sobre a saúde humana.

---

<sup>1</sup> Refere-se a diferentes sistemas de taxação ótima da poluição, baseadas no nível da produção ou no nível de poluentes emitidos, defendidas, respectivamente, por Pigou e Coase.

## 2.1.2. Crescimento econômico e meio ambiente

Tendo em vista a repercussão econômica e ambiental do problema da poluição, ênfases devem ser dadas à compreensão dos fatores ecológicos e tecnológicos que são essenciais ao entendimento do *trade-off* entre os objetivos de crescimento econômico e a necessidade de manutenção das metas de qualidade ambiental. Conceitos como capacidade assimilativa, custos de transação e falhas de mercado constituem importantes variáveis teóricas a serem descritas na perspectiva desse entendimento.

### 2.1.2.1. A reprodução econômica e a capacidade assimilativa do meio ambiente

Com base na segunda lei da termodinâmica, qualquer processo de transformação é acompanhado da emissão de subprodutos residuais, principalmente da emissão de energia na forma de calor, sendo isso o que normalmente ocorre nos processos de produção e consumo. Contudo, admitindo-se que o meio ambiente natural constitui o substrato de desenvolvimento destes processos, ele terá logicamente uma capacidade assimilativa determinada no tempo e cuja dinâmica dependerá da natureza, quantidade e qualidade dos subprodutos residuais emitidos. Entretanto, dada a dificuldade que existe na caracterização da relação estrutural entre a produção de bens e serviços e a geração de subprodutos residuais, assume-se geralmente, por simplificação, que tal relação seja linear e positiva entre os resíduos emitidos e o nível da atividade produtiva, isto é, que ela seja proporcional à intensidade da atividade produtiva.

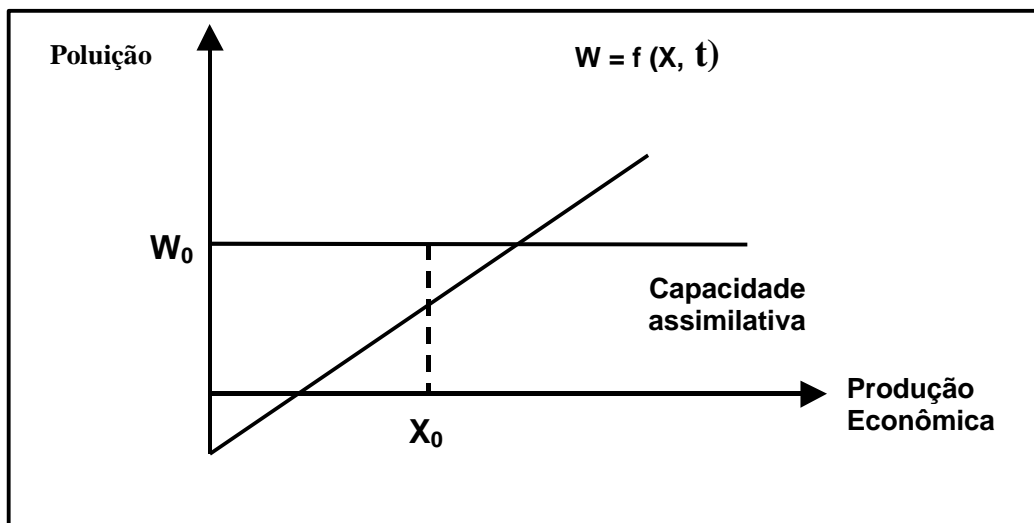
Matematicamente, HUSSEN (2000) propõe uma forma geral de relação funcional para descrever a dinâmica de processos de produção econômica e a emissão de resíduos, expressa na forma  $\mathbf{W} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{t})$ , ou, de maneira explícita, como  $\mathbf{W} = \mathbf{bX}$ , em que  $\mathbf{W}$  é o nível de resíduo ou da poluição gerado da atividade produtiva, a variável  $\mathbf{t}$  representa fatores ecológicos e tecnológicos

intrínsecos ao processo de transformação e  $b$  é o parâmetro marginal que, como já mencionado, assume sinal positivo.

Esse modelo simples pode ser representado na Figura 1, onde o eixo das abcissas representa a dimensão da atividade econômica, em termos de renda nacional, e o eixo das ordenadas representa a quantidade de poluição ou qualquer outro resíduo considerado. Porém, deve ser observado que  $W_0$  representa uma hipótese importante para o fechamento dessa estrutura teórica básica. A linha  $W_0$  representa o volume total de resíduos ou da poluição que o substrato meio ambiente assimilaria em um período de tempo determinado.

A partir dessa abordagem, as implicações analíticas do modelo demonstram que, se a capacidade assimilativa for invariante em  $W_0$ ,  $X_0$  representaria o nível máximo da atividade econômica que deveria ser implementada sem que o substrato fosse materialmente afetado. Nesse nível da atividade econômica, os resíduos seriam totalmente eliminados através de processos biológicos de decomposição natural. Assim, a conclusão teórica geral que pode ser formulada é de que existe um nível máximo da atividade produtiva sem que se infrinja qualquer custo da poluição; portanto,  $X_0$  representaria o limite ambiental de todo o sistema econômico.

O nível  $X_0$  poderia ser tratado como o nível de produção potencial da economia. A expansão da atividade produtiva além do nível  $X_0$ , invariavelmente, levaria a uma acumulação de resíduos não-assimiláveis no meio ambiente, cujo efeito sobre a qualidade ambiental progressivamente aumentaria, uma vez que quantidades maiores de poluentes reduzem a capacidade ambiental, determinada no tempo  $t_0$ , de resistir à cadeia de impactos. O impacto final desse efeito econômico-ambiental dinâmico levaria à redução na capacidade assimilativa, com mudança em  $W_0$  para níveis inferiores. Isto acarretaria diminuição correspondente do limite ecológico da atividade econômica para níveis abaixo de  $X_0$ .



Fonte: Adaptado de HUSSEN (2000).

Figura 1 - Ilustração do modelo teórico simples entre a atividade produtiva e a geração de poluentes.

Outro aspecto importante na análise deste modelo é a determinação dos fatores tecnológicos que podem afetar os limites de produção e da capacidade assimilativa. Os impactos da mudança técnica revelam-se de duas formas: via tecnologia, em que o processo pode ser mais ou menos acelerado e capturado pela variável  $t$ . O processo de transformação de determinados resíduos pode ser acelerado se forem adicionados outros componentes residuais ativos com a finalidade de aumentar a capacidade assimilativa do meio ambiente. Portanto, na Figura 1, esse efeito de mudança tecnológica manifestar-se-ia com a alteração em  $W_0$  para níveis superiores, indicando aumento na capacidade assimilativa e na elevação do nível da atividade econômica acima de  $X_0$ , já que a relação manter-se-á constante, por suposição. Por outro lado, a mudança tecnológica poderia modificar também a relação entre o nível da atividade produtiva,  $X$ , e a intensidade em que os resíduos são emitidos. Nesse modelo, essa observação seria capturada pela mudança no parâmetro  $b$ , alterando, para dada capacidade assimilativa, diferentes limites de produção.

### 2.1.2.2. Nível ótimo de poluição

O modelo simples descrito na seção anterior não leva em conta os fundamentos estritamente econômicos e procura descrever apenas a relação existente entre a economia e o meio ambiente, em termos de resíduos emitidos. No entanto, há a necessidade de se imbuí-lo de considerações que satisfaçam os objetivos econômicos, o que se passa a apresentar com base na análise econômica da poluição.

Segundo HUSSEN (2000), a especificação exata do que é nível ótimo de poluição está associada ao princípio de minimização dos custos totais da poluição, que se ilustra na Figura 2. O custo marginal dos danos causados por poluição, **CMD**, e o custo marginal de controle da poluição, **CMC**, estão representados no eixo das ordenadas, enquanto o nível da poluição faz-se representar no eixo das abcissas. Se a quantidade de poluição que deve ser controlada não for definida, a quantidade total emitida deverá ser igual a  $W_K$ , em que a condição equimarginal entre as duas curvas é satisfeita, ou seja, **CMD = CMC**.

Nesse nível de equilíbrio, o custo total de controle é representado pela área  $W^*SW_K$ , e o custo total dos danos é a área  $OSW_K$ . O custo total de poluição, que é a soma destes dois componentes de custo, é dado pela área  $OSW^*$ . Logo,  $W_K$  é o nível de equilíbrio de custo mínimo ou o nível ótimo de Pareto para poluição, uma vez que qualquer tentativa de se definir o nível de poluição acima ou abaixo de  $W_K$  induzirá inevitavelmente acréscimos no custo total. Supondo que a poluição aumente de  $W_K$  para  $W_i$ , como ilustrado na Figura 2, o custo total dos danos resultantes do incremento na poluição de  $W_K$  para  $W_i$  seria estimado pela área  $W_KSMW_i$ , a área que está sob a curva de danos.

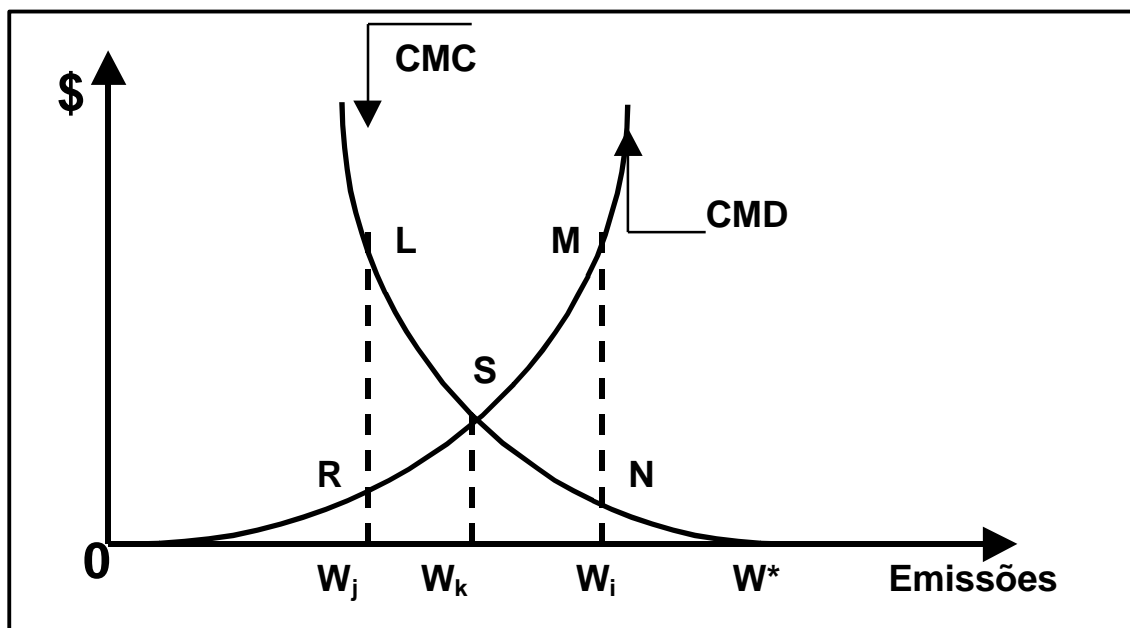


Figura 2 - Ilustração da condição de equilíbrio eqüimarginal na estrutura de custo na economia da poluição.

Contudo, como resultado da emissão incremental na poluição, ocorrerá a redução no custo de controle, já que, por hipótese, a relação controle e geração de poluição é negativa. O custo incremental não-gasto é dado pela área  $W_kSNW_i$ . O resultado líquido de aumento no nível de poluição de  $W_k$  para  $W_i$  é um acréscimo no custo total de  $SMN$ . Argumento similar poderia ser desenvolvido para mostrar que a redução da quantidade de poluentes emitidos de  $W_k$  para  $W_j$  resultaria em incremento no custo total de  $SLR$ , comprovando que  $W_k$  é Pareto ótimo.

Essa análise é uma complementação ao modelo ecológico-econômico e demonstra que, pela "rationale" econômica, se as variáveis de custo ambiental forem internalizadas ao sistema de transação, os agentes produtivos não se revelarão interessados em produzir acima do nível potencial descrito, uma vez que as condições de minimização dos custos de poluição deverão ser observadas.

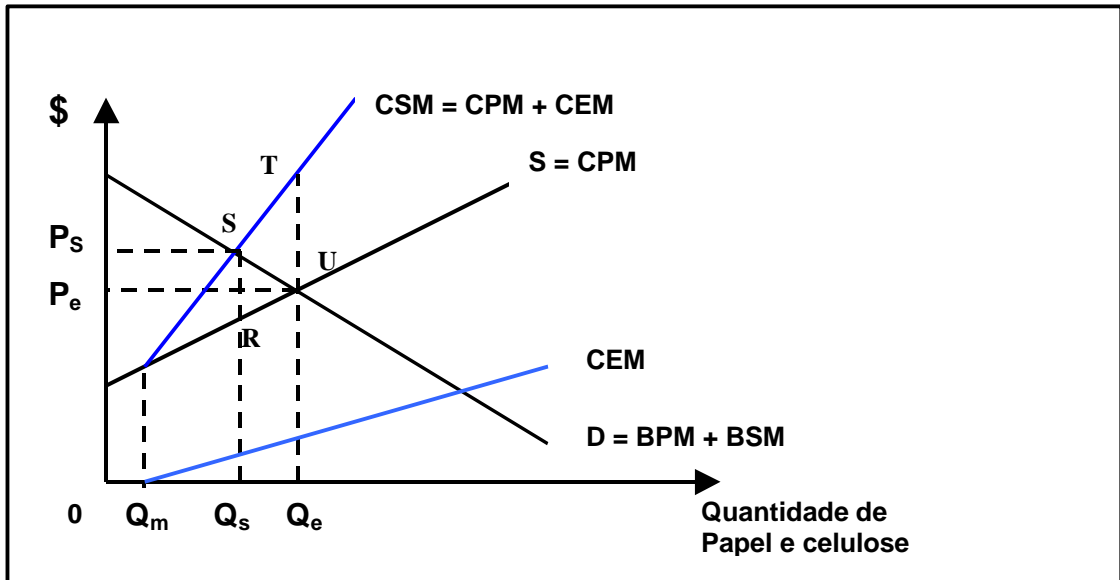
### 2.1.2.3. Poluição como externalidade ambiental e seus impactos econômicos

As implicações das externalidades no processo de alocação de recursos já foram sentidas por Adam Smith, como fator de restrição ao funcionamento da “mão invisível”. Segundo ele, quando a propriedade dos bens não for adequadamente determinada, de forma que os indivíduos não possam contabilizar todos os benefícios e custos de suas atividades, os recursos não podem ser eficientemente avaliados pela "mão invisível". Nessa condição, em que existem custos e benefícios externos, o conceito de externalidade é utilizado para descrevê-los, sendo formalmente definida como a condição que resulta do impacto da ação de um indivíduo ou grupo sobre a utilidade de outros indivíduos. Em outras palavras, externalidades são custos ou benefícios externos repassados a terceiros e que não são especificamente definidos em razão da natureza não-exclusiva decorrente do direito de propriedade comum no uso dos ativos ambientais. Assim, na existência dessa dicotomia, haverá sempre divergência entre a avaliação social e a privada dos custos e benefícios.

Nessas condições, a alocação de recursos por meio de mecanismos convencionais de mercado e baseada apenas em considerações de custos e benefícios privados induzirá à ineficiência na perspectiva da sociedade como um todo, o que constitui o caso de "falha de mercado" na visão econômica clássica. A instituição mercado não dispõe de mecanismos que levem em conta essas análises. Essa estrutura analítica leva à compreensão de resultados subótimos do processo alocativo, particularmente no caso da alocação de poluição, através de mercados convencionais. A ilustração econômica pode ser demonstrada para o caso do setor industrial de papel e celulose que utilize um rio como depósito de resíduos industriais.

Na Figura 3, a curva **D** representaria a demanda do mercado de papel e celulose e é tratada como o benefício privado marginal dos consumidores de papel e celulose, **BPM**. Na ausência de externalidade, o benefício externo seria igual a zero e a curva de demanda representaria também os benefícios marginais privado e social, sendo este último nulo. Tratando-se do setor de papel, a curva

de oferta, **S**, representa o custo marginal privado de produção, que são as despesas reais das firmas com o uso de fatores de produção, inclusive serviços ambientais.



Fonte: Baseado em HUSSEN (2000).

Figura 3 - Ilustração da controvérsia entre ótimo social e externalidade econômica.

Contudo, no processo de produção de papel, a indústria utiliza o rio para a deposição das substâncias químicas residuais, sem que os custos de lançamento desses poluentes façam parte da estrutura de oferta, **S**. Porém, os poluentes lançados causam sérios danos à qualidade ambiental, quando ultrapassam certo limite da capacidade assimilativa. Os custos desses danos são contabilizados na curva de custo externo marginal, **CEM**, e este custo representa o valor monetário total dos danos da poluição impostos à sociedade pelo setor de papel e celulose.



Segundo HUSSEN (2000), **CEM** tem duas propriedades importantes (Figura 3): é nulo até o nível  $Q_m$ , que é consistente com a quantidade máxima de produção que não afeta fisicamente a qualidade da água do rio; e é positivamente inclinado, isto é, aumentos além de  $Q_m$  estão associados a aumentos no **CEM**, uma vez que haverá reduções crescentes na capacidade ambiental em resistir a novas emissões de poluentes. Na Figura 3, a condição ótimo de Pareto ou da eficiência alocativa é definida no nível de produção  $Q_s$ , em que o custo privado marginal, **CPM**, é igual ao custo social marginal, **CSM**, diferentemente do que se ilustrou na Figura 2. Entretanto, deve ser notado que o custo social marginal, **CSM**, é a soma vertical das curvas de custo privado marginal, **CPM**, e do custo externo marginal, **CEM**. Portanto, se a decisão de produzir papel e celulose fosse tomada livremente, por meio de mecanismos convencionais de mercado, o nível ótimo de produção deveria ser definido em  $Q_e$ , em que **BPM** é igual a **CPM**. Desse modo, a solução de mercado mostrar-se-ia falha e viesada na obtenção do nível de produção consistente com o ótimo social, provando ser solução não Pareto eficiente. No caso de a produção industrial ser reduzida de  $Q_e$  para  $Q_s$ , o custo total poupado como resultado dessa diminuição seria representado pela área sob a curva de custo social marginal,  $Q_eTSQ_s$ . Esse custo social total é o conjunto do custo privado total representado pela área sob a curva de custo privado marginal,  $Q_eURQ_s$ , e do custo externo total, como indicado pela área **UTSR**. Reduzindo a produção industrial de  $Q_e$  para  $Q_s$ , a sociedade incorreria na perda de seu excedente que resulta da tolerância no consumo de  $Q_s$  menor que  $Q_e$ , dado por  $Q_eUSQ_s$ . Desse modo, reduzindo a produção industrial de  $Q_e$  para  $Q_s$ , o custo total poupado para a sociedade, a área  $Q_eTSQ_s$ , excede o benefício total tolerado,  $Q_eUSQ_s$ . O resultado final dessa dinâmica de consumo e do *trade-off* entre produção e poluição representaria um custo líquido evitado dimensionado pela área do triângulo **UTS**, ou seja, um ganho explícito para toda a sociedade e que o mercado se mostraria incapaz de obter sem nenhum mecanismo automático que levasse em conta as externalidades. Pelos mecanismos convencionais de mercado, a área **UTSR**, que representa os custos externos totais, não seria contabilizada. Esse custo é uma medida justa do valor

imputado aos serviços ambientais adicionais necessários, caso a produção industrial de papel e celulose fosse expandida de  $Q_s$  para  $Q_e$ .

A implicação dessa análise em termos de qualidade ambiental é a seguinte: uma vez que os níveis de poluição industrial estão associados diretamente à quantidade da produção industrial, a solução de mercado,  $Q_e$ , caracterizaria maior intensidade de poluição, acima do padrão que seria determinado pela produção social. Isso sugere que o mercado como único instrumento de alocação econômica estabelece baixo padrão de qualidade ambiental. Na presença de externalidades, a alocação de recursos com base na orientação clássica de mercado livre levaria à ineficiência geral, tanto em relação à alocação dos fatores produtivos quanto à necessidade de controle ambiental, tendendo o mercado a favorecer explicitamente a produção de bens e serviços industriais em detrimento da manutenção da qualidade ambiental.

#### **2.1.2.4. Internalização de custos da poluição na abordagem de taxas pigouvianas e coaseanas**

A importante conclusão das análises anteriores é de que o meio ambiente tem capacidade assimilativa limitada e, como tal, deve ser tratado como um recurso escasso. Desse modo, seria de melhor interesse para o sistema econômico administrar a gestão da poluição industrial de forma ótima. Entretanto, como se demonstrou, isso não tem sido possível por meio dos mecanismos normais do mercado, visto que o importante determinante da funcionalidade de mercado reside na caracterização formal do direito de propriedade para cada tipo de bem ou serviço usado no sistema de transação. A questão que deve ser levada em conta é tentar corrigir o processo de alocação ineficiente, que requer modificação do sistema de mercado.

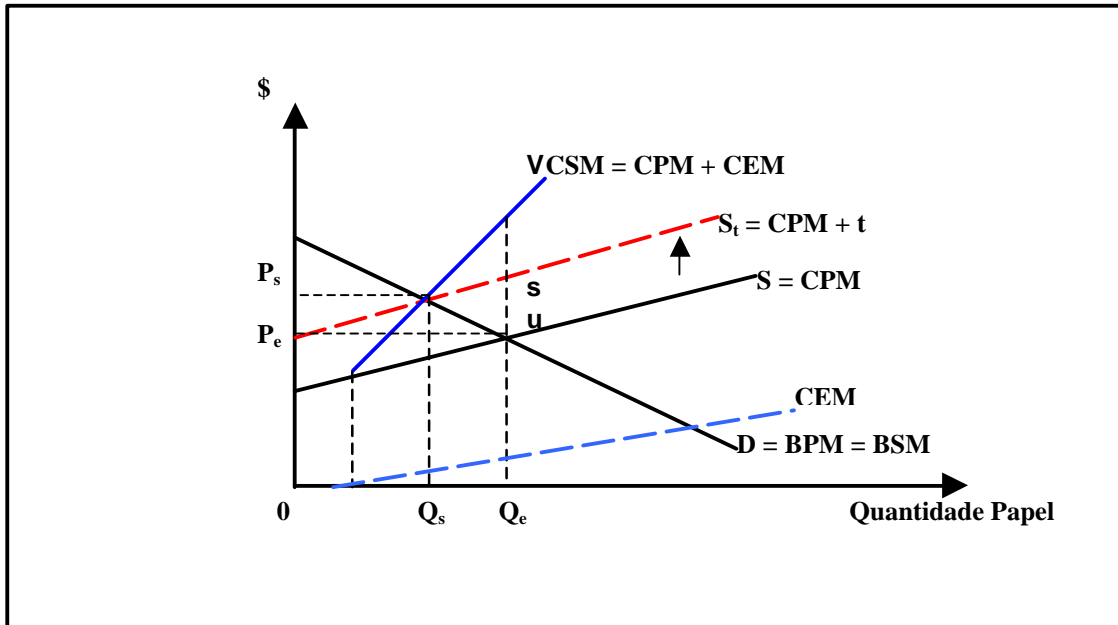
Entre outros métodos contemplados na literatura especializada, COASE (1960) estabelece opções de correções baseadas na necessidade de definição de um sistema consistente de direito de propriedade, na imposição de taxas ou na

definição de um padrão de emissão de resíduos, que podem direta ou indiretamente interferir na mecânica de mercado livre, sem alterar a sua natureza.

Uma análise peculiar da internalização dos custos da poluição industrial é a abordagem de taxas pigouvianas, que pode também ser desenvolvida com base no setor industrial de papel e celulose. No caso da poluição emitida nesse setor, a correção das distorções funcionais de mercado pode ser implementada, utilizando-se de um sistema de impostos sobre os níveis da produção industrial. A Figura 4 é uma variante da Figura 3, em que  $Q_e$  representa o equilíbrio de mercado de poluição. Contudo, esse nível de produção não seria ótimo porque as firmas que compõem a indústria não pagam os serviços ambientais de descargas industriais no rio. Segundo COASE (1960) e PIGOU (1960), isso se explica pelo fato de os mananciais dos rios serem tratados como recursos de propriedade de uso comum.

No entanto, supondo que exista um agente regulador central com plena autoridade para regular o uso de todos os mananciais de água, essa autoridade central asseguraria que todos esses mananciais fossem usados de forma consistente com o interesse público, cujo nível de produção industrial social fora definido em  $Q_s$ . Dessa forma, para se atingir o nível social ótimo de produção de papel e celulose, a produção industrial deveria ser reduzida de  $Q_e$  para  $Q_s$ . O critério usado pelo agente regulador na fixação desse nível de produção seria a imposição de uma taxa por unidade de produção, o que posteriormente irá se tratar de tributação ambiental.

Na Figura 4, essa idéia é implementada com a imposição de uma taxa,  $t$ , utilizada para internalizar poluição industrial. Trata-se de um tipo específico de taxa pigouviana que incide sobre a produção de bens e serviços impactantes nocivos ao meio ambiente. A imposição dessa taxa alteraria a curva da oferta de  $S$  para  $S_t$  - a nova curva de oferta que intercepta a curva de demanda no nível de produção  $Q_s$  - que é o nível socialmente desejável de produção industrial de papel e celulose.



Fonte: Adaptado de HUSSEN (2000).

Figura 4 - Determinação do nível ótimo de produção industrial consistente com a solução de taxa pigouviana.

O mecanismo de interpretação dessa abordagem sugere que o setor industrial concebe a taxa como um pagamento pelo uso dos rios na atividade de deposição de resíduos. A taxa pigouviana, nesse caso, força o setor de papel e celulose a internalizar o valor de uso dos mananciais, de maneira que os serviços ambientais do rio já não seriam concebidos como um bem livre. Portanto, a taxa corrige essa distorção de uso excessivo de serviços do rio e os respectivos danos.

O problema que se levanta, porém, recai sobre os mecanismos operacionais do agente central regulador, de como ele deve definir o nível ótimo das taxas, que seja consistente também com os objetivos distributivos e os custos de transação inerentes. Como a taxa é baseada na produção, ela é relativamente fácil de ser implementada e monitorada, sendo apenas necessária a checagem sistemática do nível de produção industrial, desde que os custos de transação sejam relativamente baixos para o agente regulador implementá-lo. A implementação de taxas visa melhorar a qualidade ambiental; contudo, como elas

são baseadas na quantidade de produção em lugar do volume de poluição lançado, o programa de controle pode ser ineficiente para a obtenção do nível socialmente desejável de qualidade ambiental, caso não se conheça a relação  $b$  definida anteriormente e, conhecendo-a, que ela guarde estabilidade.

Uma vez que as penalidades têm como base mormente a produção do que os resíduos lançados, a política pública baseada na taxa pigouviana não forneceria nenhum incentivo para as firmas pesquisarem e melhorarem o método de emissão da poluição. Dessa forma, existem problemas relativos à utilização das taxas pigouvianas. A objeção é de que a mera transferência de recursos do setor privado para o setor público poderia, em vez de corrigir distorções de mercado, ser fator determinante do poder de intervenção pública e gerar, com isso, burocracia deficiente que levaria a maior distorção ainda. O fundamento de algumas correntes econômicas é de que uma política ambiental baseada na taxação tenderia a inculcar elevado poder à autoridade pública central.

### **2.1.3. Impactos da tecnologia e da estrutura de preferências sobre o nível ótimo da poluição industrial**

Neste tópico, examinam-se os efeitos de mudança nas preferências dos consumidores e na tecnologia de produção sobre o nível socialmente ótimo de qualidade ambiental. A Figura 5 apresenta a ilustração de três casos analíticos.

Na Figura 5(A), assume-se que  $CMD_0$  e  $CMC_0$  representam, respectivamente, curvas de custo de danos e custo de controle de poluição. O nível ótimo de poluição, nesse caso, é dado por  $W_k$ . Supondo que a estrutura central de regulação decida por ampla campanha de sensibilização ambiental que eduque efetivamente a sociedade e estimule a demanda por melhoria na qualidade ambiental, o efeito da alteração na demanda por qualidade ambiental em virtude da mudança na preferência social induziria a alteração efetiva para a esquerda da curva de custo marginal de poluição, de  $CMD_0$  para  $CMD_1$ , uma vez que a curva de custo marginal de poluição capta a disposição a pagar dos

consumidores por um meio ambiente de melhor qualidade e livre de poluição industrial.

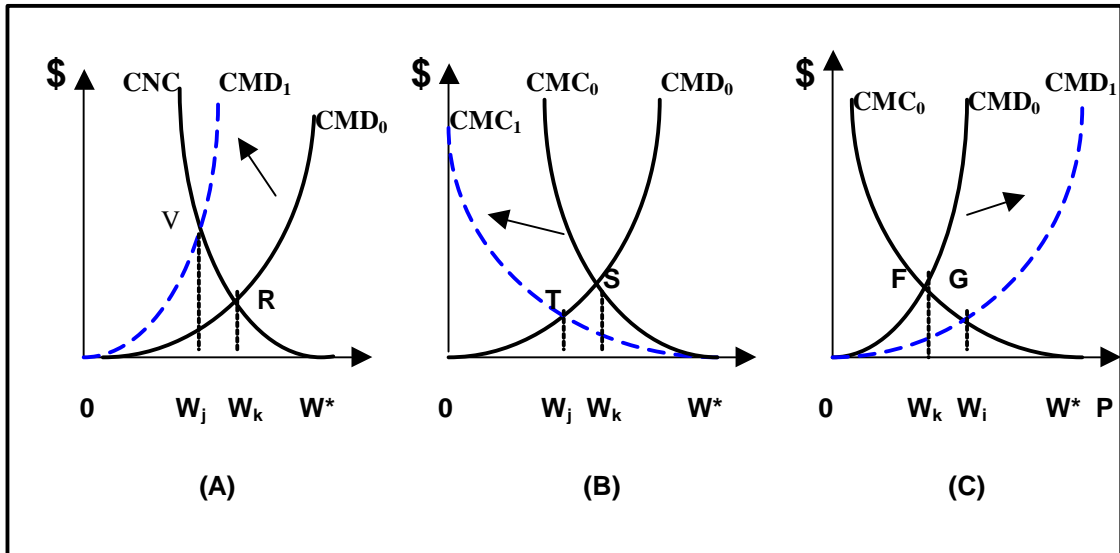


Figura 5 - Efeitos de mudanças na tecnologia e nas preferências sociais sobre nível ótimo de poluição industrial.

Sendo constantes todos os outros fatores, essa mudança exógena no custo marginal alteraria a posição do nível ótimo de poluição de  $W_k$  para  $W_j$ . Conseqüentemente, a conclusão desta análise é de que as preferências por alto padrão de qualidade ambiental resultam na baixa tolerância de poluição industrial ou na exigência de alto nível de qualidade ambiental. Contudo, o novo padrão de qualidade se estabeleceria com o componente de custo total de poluição mais elevado,  $OVW^* > ORW^*$ .

O efeito da tecnologia sobre o nível de poluição industrial pode ser analisado num modelo teórico similar. Supondo que as indústrias se esforcem no sentido da adoção de tecnologias de produção menos intensivas na emissão de poluentes, esse procedimento geraria uma poupança com os gastos no processo

de tratamento de resíduos. Assim, a curva de custo marginal de controle se deslocaria para baixo e para esquerda, como se apresenta na Figura 5(B), de  $CMC_0$  para  $CMC_1$ . Essa mudança tem o efeito de reduzir o nível de poluição inicial de  $W_k$  para  $W_j$ . Portanto, a importante conclusão obtida desta análise é de que as políticas industriais com vistas ao melhoramento da tecnologia de produção ou de tratamento de resíduos possibilitam a redução do nível de poluição industrial e, obviamente, o melhoramento na qualidade ambiental.

Como ilustrado na Figura 5(B), quando o nível de poluição é  $W_k$ , o custo total de emissão de poluentes é dado por  $OSW^*$ . Todavia, com o novo nível de poluição,  $W_j$ , o custo total diminui para  $OTW^*$ . Nesse caso particular, portanto, não existe somente declínio na intensidade de poluição, mas também redução nos custos da poluição emitida.

Por outro lado, a tecnologia pode afetar o nível de poluição industrial de maneira oposta. Supondo que exista ganho tecnológico no tratamento de uma doença causada por longa exposição a certo tipo de resíduo, o efeito dessa inovação tecnológica seria o de alterar a curva de custo marginal para baixo, como se apresenta na Figura 5(C), de  $CMD_0$  para  $CMD_1$ . Como resultado dessa mudança, o novo nível ótimo de poluição,  $W_i$ , excederia o nível inicial antes de a mudança tecnológica ter ocorrido,  $W_k$ . Essa análise demonstra um caso peculiar, em que melhoramentos tecnológicos induzem aumentos no nível da poluição e deterioração na qualidade ambiental. Entretanto, mesmo admitindo que não se trata da adoção direta de tecnologia de produção, melhoramentos tecnológicos dessa natureza levariam à diminuição no custo total de poluição. Na Figura 5(C), o custo total da emissão de poluentes dado pela área  $OFW^*$ , antes da adoção de nova tecnologia de combate à doença, diminui para  $OGW^*$ , de custo menor.

Com esses dois casos expostos, pode-se concluir que os melhoramentos tecnológicos têm efeitos sobre a curva de  $CMC$  e sobre a curva de  $CMD$  e, em ambas as curvas, conduzem à redução nos custos totais da emissão de poluentes. Contudo, o efeito da inovação tecnológica sobre a qualidade ambiental apresenta, de certa forma, alguma ambigüidade. Se, por um lado, a curva de  $CMC$  se desloca para esquerda devido à adoção de tecnologia no tratamento de poluentes

industriais, o resultado deve ser mesmo o declínio na poluição e, portanto, o melhoramento na qualidade ambiental. Por outro lado, ao se deslocar a curva de **CMD** para a direita, o resultado é o aumento no nível da poluição emitida e, logo, a deterioração na qualidade ambiental. Essas análises são importantes na definição de políticas de controle, já que a lógica da adoção de tecnologia nem sempre se mostra uma solução inequívoca para o melhoramento da qualidade ambiental.

PORTER e LINDE (1995), por exemplo, defendem a hipótese de que o reforço das medidas de regulação ambiental teria o efeito de forçar as firmas a adotarem tecnologias de produção mais eficientes, como resultado da inovação que leve à diminuição na intensidade de poluição. No longo prazo, o efeito da inovação tecnológica levaria a uma redução nos custos de produção e estimularia maior dinamismo na economia. Essa hipótese é conhecida na literatura da economia da poluição como a "Hipótese de Porter".

#### **2.1.4. A informação e o custo de transação no processo de regulação e controle de poluição**

O problema da informação é fundamental em qualquer processo de negociação e contrato, uma vez que ele determina a estrutura de mercado. No caso do controle da poluição industrial, devem existir recursos que permitam o monitoramento da qualidade e o cumprimento das medidas legais determinadas no processo de regulação. Para isso, dados sobre o nível das emissões de poluentes e da qualidade ambiental devem estar disponíveis e os custos de controle não devem ser distorcidos, devendo estar isentos de externalidades.

Do ponto de vista institucional, os agentes públicos encarregados de controle devem sustentar uma burocracia flexível que lhes permitam adequado entrosamento no processo de comunicação sobre dados de qualidade ambiental e a instrumentalização da redução dos custos de transação. Isso pressupõe a alocação eficiente de capital humano, recursos técnicos e financeiros para a elaboração das normas legais e o rigor no estabelecimento das ações prioritárias.



Dessa forma, AFSAH et al. (1996) defendem a idéia de que as ações dos agentes reguladores formais se desenvolvem em cenário de informação restrita e de altos custos de transação e de que, nessas condições, fica extremamente difícil a implementação de qualquer programa de controle que inclua os instrumentos convencionais de mercado, baseados no princípio poluidor-pagador.

#### **2.1.4.1. Visão geral do novo paradigma de controle da poluição**

Em vista do que se expôs no item anterior, fica demonstrado que a abordagem fundamentada nas pressuposições de ótimo de Pareto não se mostra exclusivamente apropriada para a solução do problema de controle, tendo em conta o sistema de informação prevalecente e os elevados custos de transação. Esses instrumentos medem a eficiência da implementação de medidas de qualidade ambiental - alto custo administrativo e dificuldades na definição das funções de custo de controle. Assim, AFSAH et al. (1996) sugeriram a junção de duas forças potenciais ao regime de controle da poluição industrial: nova abordagem participativa conjunta, comunitária e de mercado.

O fator renda determina o nível da organização e educação e, conseqüentemente, o grau de pressão e poder de barganha comunitária no cumprimento das normas ambientais estabelecidas. Por outro lado, na ausência das instituições formais ou onde elas existam, mas se mostrem ineficazes, a regulação informal poderia ser implementada através de organizações não-governamentais e unidades coletivas das próprias comunidades. Nesse caso, as indústrias podem negociar diretamente com esses agentes informais, respeitando as normas sociais vigentes.

No plano institucional de mercado, as indústrias podem operar em diferentes frentes, internacional, nacional ou local, razão pela qual muitos fatores podem afetar as suas estruturas de custos e receitas. Com o advento da legislação e o estabelecimento de algumas diretrizes ambientais no processo de comércio internacional, a dinâmica dos investimentos externos e da alocação de capital depende cada vez mais intensivamente do desempenho ambiental das firmas e,

sobretudo, dos prejuízos potenciais que podem advir das exigências regulatórias e de certas obrigações contratuais.

O cenário da internacionalização de capital e do processo de globalização das economias tem demonstrado o interesse dos investidores para com o novo enfoque de mercado, o mesmo podendo ser deduzido dos agentes de financiamentos de capital, equipamentos e serviços em relação aos setores industriais potencialmente poluidores. Essa abordagem poderá se mostrar mais conclusiva quando da análise do sistema de comércio internacional e sua relação específica com os aspectos da poluição industrial. Entretanto, segundo ARORA e CASON (1994), HAMILTON (1995), HETTIGE et al. (1995) e LAPLANTE e LANOIE (1994), evidências recentes, tanto nos países da OCDE como nos países em desenvolvimento, sugerem que, por razões de reputação ambiental, muitas indústrias se preocupam com suas estruturas de receitas e custos e a determinação dos níveis de lucro esperado, dada a sensibilidade e as preferências dos consumidores.

Fatores de escala, tipo de indústria, orientação para o mercado interno ou externo, estrutura e natureza de propriedade (multinacional, nacional e regional) determinam o desempenho ambiental das indústrias em relação ao seu potencial de emissão de poluentes. No caso de setores sensíveis do ponto de vista da necessidade de garantia da reputação no mercado, a certificação pública do desempenho ambiental pode gerar ganhos e lucros esperados desses setores.

AFSAH et al. (1996) consideram que o modelo de regulação e controle da poluição torna-se adequado se for considerada a introdução de variáveis que reflitam a atividade das comunidades e se for atribuída maior importância ao mercado na explicação de variações no desempenho ambiental das indústrias.

A proposta baseia-se na aplicação de um modelo “triangular”, dado pelo trinômio Estado-Mercado-Comunidade, o que se traduz em novo paradigma de regulação ambiental geral. A combinação dessas instituições e os respectivos instrumentos de monitoramento dependem das condições sociais, econômicas e institucionais específicas de cada região. Na relação Estado-Mercado repousa o princípio da economia ambiental, e fatores como renda, carga de poluição e

tamanho da população exposta são variáveis determinantes no processo regulatório, enquanto diferentes formas da organização social podem determinar a ação e o poder de barganha social.

Em face do dilema de crescimento econômico e de seus impactos em termos dos riscos na geração da poluição, algumas agências centrais de planejamento e controle vêm adotando, em alguns países, programas de exposição pública sobre o desempenho industrial das firmas como meio de pressionar a adoção de tecnologias de produção menos intensiva na emissão de poluentes, para o cumprimento formal de medidas regulatórias e legislativas estabelecidas, incentivando, desse modo, a implementação da qualidade ambiental.

Embora o Estado deva ter o papel predominante no processo de regulação da poluição industrial, as funções múltiplas da comunidade e do mercado devem ser coordenadas e reconhecidas como forma de assegurar as informações públicas necessárias e a avaliação correta do desempenho ambiental do setor industrial.

Restrições financeiras, institucionais e políticas fazem com que o processo de regulação da poluição industrial em países em desenvolvimento se torne problemático em relação aos países industrializados. BLACKMAN e HARRINGTON (2000) argumentam que, devido aos fatores econômicos e institucionais nos países em desenvolvimento, a capacidade da execução e do monitoramento ambiental é freqüentemente limitada. Nesse caso, esses autores sugerem que, dada a ineficiência observada na condução de políticas de comando e controle convencional, aqueles países devem adotar instrumentos de incentivos econômicos indiretos e de mercado, como a taxaço da poluição, as quotas ou licenças negociáveis e as taxas sobre os *inputs* geradores de danos ao padrão de qualidade ambiental.

#### 2.1.4.2. Principais instrumentos da política de regulação da poluição

Foi demonstrado que os mecanismos de mercado se mostravam insuficientes na determinação do nível ótimo de poluição e das externalidades de qualquer atividade produtiva. Para isso, faz-se necessário formas de intervenção governamental para a correção das falhas e a utilização de meios (instrumentos públicos) custos-efetivos, embora se reconheça que a intervenção do setor público não seja necessariamente condição necessária e suficiente para atender a alocação ótima de fatores ambientais e os riscos a ela inerentes. O Quadro 1 apresenta uma lista básica dos instrumentos de regulação da poluição, ordenados de acordo com dois critérios: a) definição da tecnologia de produção e do volume da poluição; e b) necessidade de um agente regulador central que controle e monitore os poluentes emitidos.

Quadro 1 - Classificação básica dos instrumentos de regulação ambiental

Classes	1. Instrumentos diretos	2. Instrumentos indiretos
Incentivos econômicos (IE)	<ul style="list-style-type: none"><li>• taxação das emissões</li><li>• quotas e licenças</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• impostos ambientais</li></ul>
Comando e controle (CEC)	<ul style="list-style-type: none"><li>• padrões de emissões</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• padrão de tecnologia</li></ul>

Fonte: Eskeland e Jimenez (1992), citados por BLACKMAN e HARRINGTON (2000).

Aqueles mecanismos que determinam as decisões de controle baseadas em leis e normas são conhecidos como mecanismo de comando e controle (CEC) e incluem padrões das emissões e tecnologia de produção. Políticas que estabelecem incentivos financeiros para a redução da poluição, determinando preços explícitos ou implícitos sobre o nível de poluição, são chamadas de

políticas de incentivos econômicos ou incentivos de mercado (IE). Consistem na imposição de penalidades financeiras ou certas modalidades de impostos e subsídios favoráveis à criação de um mercado artificial para o controle dos excedentes da poluição.

Segundo FISHER (1981), BLACKMAN e HARRINGTON (2000) e HUSSEN (2000), existem duas orientações estratégicas de políticas de regulação e controle da poluição: a orientação baseada nos impostos sobre os níveis da poluição emitida e o mercado de licenças negociáveis.

A carga da poluição consiste num sistema de taxaçoão ou de penalidade imposta sobre as indústrias poluidoras, sendo estas cargas uma versão das taxas pigouvianas e definidas na base monetária por unidade e tipo de poluição. As licenças negociáveis são baseadas em mercados artificiais, cuja idéia principal é facilitar as negociações que estimulem o comércio de poluição. Para isso, o conceito de direitos e licenças de poluição passa a vigorar, consistindo estes na determinação de quantidades específicas de cada poluente por setor ou unidades de produção industrial. Nessa abordagem, as firmas possuem o direito de emitir certa quantidade de poluição e podem negociar as suas quotas com firmas que tenham extrapolado quotas de emissão estabelecidas.

A orientação política é fundamentada essencialmente em três instrumentos: os direitos e obrigações legais, o método COASE (1960) de direito de propriedade e os padrões de emissões. COASE (1960) sugere que o nível ótimo da poluição pode ser obtido através da concessão de direito de propriedade pelos recursos ambientais. A implicação da teoria coaseana parte da idéia da definição arbitrária de direito e redução subsequente do papel regulador do agente central. Desse modo, o nível ótimo da poluição pode ser atendido por meio da negociação voluntária do setor privado envolvido, cujo procedimento fica consistente com a natureza tradicional do sistema de transação.

De maneira geral, os incentivos baseados em instrumentos diretos requerem maior demanda institucional e são, designadamente, impostos sobre a emissão poluentes, licenças negociáveis, impostos ambientais, subsídios, padrões de emissões, licenças negociáveis e leilões de direitos.

#### **2.1.4.2.1. Mecanismos de incentivo econômico indiretos**

Dada a restrição inerente ao processo de controle de poluição, os instrumentos de regulação baseados em impostos ambientais estabelecem a melhor alternativa para o controle efetivo de poluição industrial, já que, por definição, demandam menor esforço institucional dos agentes centrais de regulação do que no caso dos instrumentos diretos.

Existem três tipos de impostos ambientais: impostos sobre a produção final, relacionado à poluição, como os que incidem sobre os motores de combustão; impostos sobre os bens e serviços, geralmente usados como insumos numa atividade poluidora; e impostos sobre os índices de poluentes na composição de determinado insumo, como as taxas de SO<sub>2</sub> (dióxidos de enxofre) na composição de determinado produto.

Em termos de impacto, esses impostos ambientais apresentam vantagens fiscais ou de aumento na arrecadação pública e vantagens ambientais, neste caso, de efeito inverso em relação aos objetivos da obtenção de receitas. Na verdade, o objetivo do sistema-controle não tem uma finalidade tarifária, uma vez que se visa acima de tudo a estabilidade na qualidade ambiental. O impacto predominante desse tipo de instrumento depende da natureza da elasticidade de demanda do bem ou serviço ambiental taxado. No caso específico de combustíveis usados em automóveis, uma política de controle de emissões de CO (óxidos de carbono) e SO<sub>2</sub> (dióxidos de enxofre) deve passar por medidas de gestão de uso de automóveis e dependerá das elasticidades-preço de combustível.

Se a demanda por combustível for preço-inelástica, isto é, se o impacto de uma elevação no preço sobre a demanda for proporcionalmente pequeno, então o sistema de taxação terá efeito pouco expressivo sobre a qualidade ambiental, embora a arrecadação fiscal, dependendo da magnitude da alíquota, possa aumentar. A resposta da demanda de combustível na qual incide a política de gestão será pequena, ou seja, haverá pequena redução na demanda por combustíveis e, conseqüentemente, sobre a demanda de automóveis. Entretanto, se a demanda for preço-elástica, isto é, pequeno aumento no preço, em razão de o

imposto induzir um decréscimo mais que proporcional na demanda de combustível, o sistema de taxaço surtirá efeitos contrários e induzirá à melhoria na qualidade ambiental.

Assim, quanto maior forem as elasticidades de demanda, melhor o desempenho de políticas de gestão baseadas no imposto ambiental para a consecução dos objetivos ambientais. Por outro lado, em muitos setores industriais, a demanda é mais elástica no longo que no curto prazo, uma vez que os consumidores têm mais tempo para a substituição no longo prazo. Desse modo, o impacto dominante esperado de um sistema de imposto ambiental é mais de natureza fiscal no curto prazo, enquanto os objetivos de proteção ambiental são de longo prazo, o que vem demonstrar as incompatibilidades entre os objetivos de curto e os de longo prazo na gestão ambiental.

Segundo BLACKMAN e HARRINGTON (2000), a principal motivação dos sistemas de taxaço ambiental geralmente tem sido o espírito de geração de arrecadação fiscal. O valor ótimo das despesas com o controle de poluição pode ser mais ou menos as receitas equivalentes advindas de taxas ambientais. Entretanto, como as receitas fiscais de origem ambiental podem ser usadas para finalidades alternativas, conforme as decisões de políticas governamentais, para a educação ambiental ou no combate à pobreza nos países em desenvolvimento, os impostos ambientais podem servir como instrumento alternativo importante para a correção das distorções.

Os impostos ambientais também são práticos do ponto de vista da gestão pública, porque o controle do volume de bens e serviços produzidos é mais suscetível de monitoramento efetivo do que o volume de poluentes emitidos. No entanto, embora os impostos ambientais sejam de administração mais simples, eles não são autênticos incentivos para a redução de poluição. Limitam a aquisição de produtos relacionados à emissão de poluentes, mas não estimulam a inovação e adoção de tecnologia no sentido da redução de poluentes, além de apresentarem desvantagens do ponto de vista econômico, por afetarem atividades de setores demandantes de produtos taxados.

Por outro lado, o imposto sobre o conteúdo de poluentes em um determinado produto deve ser preferível à taxa sobre a utilização de um insumo. A taxa aplicada sobre o conteúdo de enxofre presente no carvão habilitaria o setor da indústria química a aumentar as suas obrigações ambientais, adotando insumos de baixo teor de enxofre (BLACKMAN e HARRINGTON, 2000). Finalmente, os impostos ambientais podem ter impactos distributivos adversos, isto é, podem favorecer classes de renda em detrimento de outros, o que torna a sua aplicação eficiente bastante complexa. A alegação geral é a de que a tributação ambiental desfavorece os mais pobres, que enfrentam maiores restrições de renda em relação aos mais ricos. Para que as metas de qualidade ambiental sejam atingidas, os instrumentos econômicos de controle que devem ser implementados devem condicionar a diminuição dos custos de transação. Assim, o problema distributivo estará em conflito com os objetivos ambientais e não com o instrumento de controle adotado em si.

#### **2.1.4.2.2. Mecanismos de incentivo econômico diretos**

Como foi mencionado anteriormente, o mecanismo de incentivo direto se fundamenta no sistema de taxas baseadas nos postulados de Pigou e Coase, sobre o volume de poluentes emitidos ou sistemas de licenças negociáveis. Alguns economistas defendem a superioridade operacional dos instrumentos econômicos diretos em relação aos instrumentos de comando e controle, alegando que, em termos de eficiência e flexibilidade, os instrumentos diretos oferecem vantagens especialmente atrativas nos países em desenvolvimento, por causa de restrições a instituições de recursos administrativos e financeiros e custos de transação (FISHER, 1981; BLACKMAN e HARRINGTON, 2000).

A vantagem da eficiência dos instrumentos de incentivos econômicos diretos se deve ao fato de eles permitirem que as indústrias adotem livremente a tecnologia que minimiza os custos de controle de poluição. Em contraste, no caso da adoção de instrumentos de comando e controle, através do estabelecimento da padronização de poluição, o agente central de controle determina o mesmo



padrão tecnológico para todas as firmas, o que não é consistente com o potencial individual de poluição dos diferentes setores industriais da economia.

Quanto ao problema de flexibilidade dos instrumentos, ele se coloca em termos da alteração do padrão de qualidade ambiental, das condições econômicas e na tecnologia de redução dos impactos. No sistema de comando e controle, o agente regulador formula e promulga as regras, de acordo com as diferentes categorias de indústrias. Contrariamente, num sistema de incentivos diretos, as firmas retêm o controle de poluição, com a incumbência de definirem o nível de redução específica para cada poluente, enquanto o regulador ordena as taxas ou quotas necessárias ao atendimento de determinado padrão de qualidade ambiental. Como resposta, haverá estímulo à adoção de novas tecnologias de produção e uma dinâmica espontânea e descentralizada de controle.

#### **2.1.4.2.3. Uso de instrumentos econômicos no Brasil**

De maneira geral, a legislação ambiental brasileira consiste basicamente de dois critérios normativos. O de normas de emissão de dejetos, que especificam os procedimentos individuais dos agentes econômicos em relação à intensidade de lançamento de diferentes componentes da poluição industrial, e as normas de qualidade, que definem as características e as metas de qualidade que devem ser alcançadas.

Com base em SEROA DA MOTTA et al. (2000), são apresentados no Quadro 2 os principais instrumentos econômicos de controle de poluição industrial no Brasil. Os objetivos básicos desses instrumentos consistem na busca de fundos para o financiamento de programas de controle ou para a complementação dos custos operacionais dos agentes de controle, uma vez que, regra geral, os recursos são provenientes das dotações orçamentárias, que sobrecarregam programas fiscais alternativos do governo. De maneira geral, estes instrumentos não têm caráter tributário rígido, havendo, entretanto, problemas de implementação em função das indefinições das alíquotas adequadas às contribuições e às destinações das receitas arrecadadas.

Quadro 2 - Principais instrumentos econômicos de controle de poluição industrial da água no Brasil

Instrumentos econômicos	Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas por volume e conteúdo poluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobrança (preço público) pelo uso da água para financiamento de bacias hidrográficas e indução ao uso racional dos recursos hídricos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifa de esgoto industrial baseada no conteúdo de poluentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifa de esgoto por conteúdo de poluentes para recuperação de custos de estações de tratamento de esgoto</li> </ul>

Fonte: SEROA DA MOTTA et al. (2000).

### 2.1.5. Globalização, comércio internacional e poluição

O ponto central do processo de globalização prende-se com a necessidade de padronização e harmonização dos procedimentos de comércio internacional. A padronização e a harmonização dos procedimentos de comércio estão, dentro de determinados limites, inseridas na necessidade de implementar melhorias no padrão de qualidade ambiental, principalmente no tocante aos níveis de emissões de poluentes industriais. Nesse sentido, as normas de gestão e controle de qualidade ambiental passam a constituir um fator de importância primordial no cenário da globalização econômica (VIANA e NOGUEIRA, 1998). Segundo NEUMAYER (2000), o criticismo acerca da liberalização do comércio pode ser sumarizado em três pontos: a liberalização do comércio como fator exacerbante do alto grau de degradação ambiental; o sacrifício de padrões ambientais em muitos países para atraírem investimentos estrangeiros diretos em setores econômicos geradores potenciais de poluição, se a liberalização de comércio permite-lhes vantagem comparativa nas exportações; e o sistema de conflito da Organização Mundial de Comércio, que favorece os interesses comerciais em detrimento da proteção ambiental.

Em princípio, a liberalização do comércio, que caracteriza a condição necessária à globalização, não teria qualquer impacto se o meio ambiente fosse manejado em nível ótimo. Nesse caso, se as externalidades não forem internalizadas no processo de comércio, o comércio internacional induziria a alocação ineficiente de insumos e produtos ambientais. Alguns modelos teóricos e evidências empíricas vêm sugerindo que a liberalização de comércio causa impactos sobre o meio ambiente mesmo nos casos em que os recursos sejam eficientemente alocados e o ambiente seja administrado em nível ótimo.

Segundo Rauscher (1991), citado por BLACKMAN e HARRINGTON (2000), em um país que se especializa na produção de determinado bem intensivo na poluição, com o processo de liberalização de comércio, a emissão de poluentes tende a aumentar, devido ao estímulo da produção para exportação. Contrariamente, os outros países experimentam ambiente de menor intensidade na emissão de poluição, na medida em que haverá benefício decorrente da satisfação de sua demanda por bens intensivos em poluição, via importação, de forma que a quantidade total de poluentes necessários não aumente no próprio país, em decorrência da alteração espacial que se registrou na produção.

Conforme Copeland e Taylor (1994), citados por BLACKMAN e HARRINGTON (2000), em um modelo de duas regiões, Norte-Sul, constata-se que os níveis agregados de poluição aumentam com a elevação das emissões na Região Sul e diminuição na Região Norte. Com esses resultados, sustenta-se a hipótese de que o ambiente seja um bem normal, ou seja, que a demanda por proteção ambiental aumente com a elevação do nível de renda, uma vez que aumentam as exigências de proteção na Região Norte. Desta hipótese se conclui que a liberalização de comércio altera a produção de bens intensivos na poluição no sentido de países de renda alta para os de menor renda, aumentando a geração de poluição global, uma vez que reduções nos níveis de lançamentos poluentes nos países mais ricos compensam mais que proporcionalmente a acréscimos nos países em desenvolvimento.

Estudos empíricos desenvolvidos por COLE et al. (1998) sobre os efeitos ambientais da Rodada do Uruguai demonstraram que as emissões globais de

NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO e partículas em suspensão vêm aumentando. Esses estudos confirmam as conclusões teóricas de que o acréscimo na emissão de poluentes nos países em desenvolvimento sobrepõe a possível queda na geração de poluição nos países desenvolvidos, o que leva à conclusão de que o valor monetário dos aumentos de danos ambientais seja maior que os benefícios globais do processo de liberalização de comércio. Em suma, as evidências teóricas e empíricas demonstram que o processo de liberalização de comércio pode levar à degradação de recursos naturais e ao aumento global no nível de poluição industrial. Continua, porém, a idéia de que a liberalização do comércio pode conduzir à melhoria de bem-estar global em detrimento da deterioração da qualidade ambiental, a não ser que as preferências sociais atribuam maior valor aos benefícios da manutenção de um padrão ambiental desejável em relação aos ganhos estritos de consumo, advindos do processo de comércio.

Quanto ao problema da dinâmica de migração de fontes poluição de um país para outro, em decorrência da própria dinâmica de capital, existem dois argumentos econômicos básicos. WORLD BANK (1993) procura demonstrar isso na base da mobilidade do capital internacional. Os países adquirem esse capital internacional com o objetivo de acelerar o processo de crescimento econômico interno, e eles terão incentivo em reduzir seus padrões ambientais além dos padrões ótimos, para atraírem o fluxo migratório de investimentos advindos da possibilidade de maior rentabilidade financeira dos projetos. A outra abordagem, dada pelo modelo teórico defendido por BARRET (1994), mostra que, se o mercado internacional tem estrutura de competição imperfeita, então países podem ter incentivos em diminuir o padrão ambiental, de forma a permitir-lhes implementar o setor industrial doméstico e expandir a produção para a obtenção de margens de comércio internacional fora do âmbito de seus concorrentes. Como todos os países terão esse incentivo, a argumentação é de que o padrão ambiental global será ineficiente.

Questões de qualidade prevalecem também nas discussões de comércio e meio ambiente. As exigências internacionais no sentido da adoção dos mecanismos da ISO 14000 implicam, de forma geral, maiores custos de controle

ambiental, nomeadamente aqueles custos relativos aos danos ambientais causados por poluição industrial e com repercussões nefastas à capacidade competitiva dos países, dada a relação entre a capacidade geração de poluentes e o nível de qualidade de produção. Existem dois argumentos relativos à adoção da ISO 14000: o de que ela resultaria na queda das barreiras comerciais, tendo em vista a normalização do padrão de qualidade do comércio, e o de que ela acentua a ocorrência de barreiras comerciais, em razão das suas exigências para com os requisitos de comércio. O processo de investimento internacional e os benefícios em termos da eficiência nas organizações industriais são fatores que determinam também o grau de desempenho ambiental em termos da utilização dos recursos naturais em muitos países.

#### **2.1.5.1. Política comercial e proteção ambiental**

Uma vez integrada à economia internacional através do comércio e da mobilidade de capital, como já citado, tem-se interrogado permanentemente se deveria a regulação ambiental em termos de gestão de poluição industrial ser mais uniforme em resposta ao processo de integração global (WORLD BANK, 1993). A visão estritamente ambientalista, contrariamente à vertente econômica, é de que o processo de comércio pode induzir o desenvolvimento sustentável somente se os custos ambientais forem internalizados por mecanismos de taxaço, licenças e outros. De acordo com WORLD BANK (1993), os efeitos de crescimento econômico e da liberalização comercial sobre o padrão de qualidade ambiental são ainda contraditórios. Sustenta-se que, quando as políticas ambientais forem implementadas corretamente e o crescimento econômico estiver associado às mudanças tecnológicas, ou, ainda, quando a liberalização do comércio reduzir as distorçoões econômicas ambientalmente desfavoráveis, os efeitos de crescimento sobre o meio ambiente serão positivos.

Na ausência de distorçoões de preços, o “laissez-faire” maximiza o bem-estar social, como é de praxe. No entanto, existem cenários em que as falhas de mercado predominam na relação de troca e, mesmo assim, podem resultar em

ganhos eficientes. Segundo SADOULET e DE JANVRY (1995) e VASAVADA (1991), quando se estiver diante de externalidades decorrentes da poluição industrial, a política de preços domésticos e a política comercial podem, em conjunto, ser usadas como instrumentos de redução das externalidades e de busca da eficiência ambiental. No caso do setor agrícola, que usa intensivamente insumos poluentes, como pesticidas, na produção de *commodities* exportáveis, a abordagem de Pigou-Coase da internalização dos efeitos externos implicaria a utilização de tarifas ou subsídios especiais como instrumentos de política comercial. Essas políticas induzem a substituição de insumos poluentes por insumos não-poluentes. Como normalmente os países em desenvolvimento experimentam grande fragilidade em termos da administração de tarifas e subsídios especiais, por falta de estrutura institucional e fiscal funcional, nesse caso, políticas comerciais devem ser usadas como instrumento de redução das externalidades ambientais.

De maneira geral, as contradições de juízo sobre o processo de liberação de comércio e metas de proteção ambiental são inconclusivas. Enquanto o comércio orienta-se no sentido da geração de riqueza e crescimento econômico, a proteção ambiental é algumas vezes motivada pelo desejo de desaceleração das metas de crescimento econômico, pela limitação da produção, pela determinação de níveis de sustentabilidade e pelo aumento dos custos de produção para internalizar os impactos desses efeitos.

Do ponto de vista de relações comerciais, o processo econômico busca a competitividade via redução nos custos de produção e a diminuição nas tarifas, com a finalidade de eliminar barreiras comerciais. Os objetivos da proteção ambiental buscam normalmente restringir esse processo de comércio com o aumento dos custos dos produtos comercializáveis em função da incorporação de variáveis relativas à externalidade do processo de produção. Outra justificativa importante em favor do processo de harmonização do comércio prende-se aos limites da utilização das restrições comerciais como instrumentos de proteção ambiental. Em razão das exigências regulatórias de pressupostos ambientais, existem muitas medidas protecionistas de comércio, constituindo os chamados

"dumping". A outra constatação é de que não se pode concluir que a liberação de comércio retraia a qualidade ambiental, porque há economias relativamente fechadas ao processo de comércio e investimento estrangeiro que apresentam elevado conteúdo de poluição industrial em relação aos países integrados no comércio internacional.

Segundo VEIGA (1994), o dilema entre o comércio e as necessidades de proteção ambiental se mostra particularmente importante se o setor industrial for caracterizado por grau elevado de utilização de recursos naturais, energia e poluição. Essas características são importantes no tocante às exportações, uma vez que esses fatores constituem fontes importantes de vantagem comparativa nas exportações em muitos países em desenvolvimento. No caso brasileiro, grande parte das exportações é fundamentalmente de setores de melhor desempenho exportador em *commodity* de escala com baixas possibilidades de diferenciação e cuja concorrência no mercado internacional se dá via preço. Isso quer dizer que, em mercados onde a competitividade for marcante, os custos de diferenciação e adaptação aos requisitos e às normas ambientais serão também elevados. Assim, medidas compensatórias podem advir da elevação dos preços internos, nos casos em que os consumidores domésticos aceitem a internalização dos custos externos e desoneração das vendas externas. Dado o nível de exigência ambiental dos consumidores internos em termos de educação e renda, fica difícil a expectativa da aceitação da elevação de preços, e o cenário das exportações será de grande vulnerabilidade à luz das imposições de padrões e normas ambientais externas.

Em geral, o que se pode argumentar, no atual cenário internacional, é que os níveis da atividade econômica estão relacionados à competitividade e à melhoria das condições ambientais dos países. A explicação se baseia na alta elasticidade-renda de demanda por qualidade ambiental e mudança na composição da atividade produtiva para processos ambientais mais limpos, uma vez que o grau de exigência de qualidade ambiental aumenta com a elevação do nível de renda.

Por exemplo, segundo SEROA DA MOTTA et al. (2000), é habitual a alegação de que a competitividade da economia brasileira seria prejudicada caso fossem introduzidos no sistema instrumentos de controle da poluição baseados na tributação. Os autores justificam que, como as metas ambientais são para ser cumpridas, os instrumentos que devem ser implementados seriam aqueles que oferecessem menores custos de implementação. Logo, a questão da competitividade, à semelhança do problema distributivo, estará em conflito com os objetivos ambientais e não com o instrumento de controle a ser adotado. Mais ainda, considerando as atuais tendências de se incorporar cada vez mais variáveis ambientais nas questões de comércio internacional, a existência de instrumentos econômicos de controle mais efetivos, adicionalmente, geraria uma imagem ambiental positiva no mercado internacional.

Por outro lado, para PORTER e LINDE (1995), a dinâmica da competitividade comercial pode resultar de um processo regulatório rigoroso. Através de um padrão ambiental devidamente projetado, induz-se a inovação tecnológica que compensaria total ou parcialmente os custos de controle. Essa compensação da inovação, ao fazer diminuir os custos com o aumento da produtividade, poderia estimular a vantagem absoluta para as firmas em relação às suas congêneres de países que não estejam sujeitos a padrões de regulação similares. Portanto, a inovação compensatória ao se promover maior redução da poluição, freqüentemente, coincide com os objetivos de melhoramentos na produtividade dos recursos usados na produção. As firmas podem se beneficiar de um projeto de proteção ambiental corretamente definido, em relação ao que enfrenta seus competidores noutros países. Assim, estimulando a inovação, a proteção ambiental rígida pode fazer aumentar a produtividade e o nível de comércio, já que, basicamente, o processo regulatório diminuiria as incertezas com que os financiamentos seriam canalizados às atividades de controle e encorajaria novos investimentos ambientais para a melhoria na qualidade e no *design* da produção, incluindo a redução na quantidade das emissões poluentes e a conversão de materiais tóxicos e perigosos em elementos ambientalmente mais estáveis.



### **2.1.5.2. Poluição industrial e mudança climática**

No cenário internacional, o problema da redução dos níveis da poluição constitui a principal limitação em relação aos objetivos de se promover o desenvolvimento econômico sustentável e minimizar os impactos sociais e ambientais do crescimento econômico, principalmente no tocante à mudança climática, que vem sendo caracterizada no quadro da Convenção das Nações Unidas e de algumas normas da Organização Mundial do Comércio.

O debate sobre o clima mundial está intrinsecamente relacionado ao nível das emissões poluentes implementadas no âmbito internacional pelo Protocolo de Quioto, que trata das necessidades de reduções nas quantidades dos gases de efeito estufa emitidos, especialmente de CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, nos domínios de energia, transportes, agricultura e setor industrial em geral. Na perspectiva de aumento global da temperatura e de seus impactos nos ecossistemas, a comunidade internacional vem tentando adotar medidas de natureza tecnológica cada vez menos intensivas na geração de poluentes, de modo que, no médio e longo prazo, metas de reduções substanciais sejam atingidas.

Essas metas consistem em assegurar que as emissões industriais sejam expressas em termos de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito estufa e que não se excedam determinados níveis dentro dos limites temporais definidos. Para isso, concebeu-se o mecanismo de desenvolvimento limpo, que consiste na adoção, por parte dos países industrializados, de sistemas de financiamento para programas em termos de tecnologias de redução da poluição.

A idéia seria de que os agentes econômicos devam financiar projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento ou de que implementem um regime de comércio dos direitos de emissão internacional que permita aos países industrializados captar créditos sobre direitos de emissão de outros países, o que constituiria uma forma dinâmica de estimular maior fluxo de capital para os investimentos necessários em áreas ambientais.

No entanto, o dilema em torno da concretização dessas intenções tem recaído sobre a incompatibilidade entre as metas políticas de crescimento

econômico e estes objetivos ambientais, principalmente por parte daqueles países cujas indústrias demonstram maior capacidade de utilização de energia e insumos tecnológicos com elevado coeficiente de componentes da poluição.

### **2.1.6. Microeconomia da poluição e bens públicos**

Os procedimentos de análise microeconômica de poluição têm como suporte o conceito econômico de externalidade. Segundo MISHAN (1971) e VICTOR (1972), o conceito descreve a relação de interdependência entre a produção e o consumo. SCITOVSKY (1969) aborda o problema em dois contextos diferentes: teoria de equilíbrio e teoria da industrialização. A teoria de equilíbrio fundamenta-se nos pressupostos da competição perfeita, o que limita as análises das interdependências diretas entre os agentes econômicos. A teoria da industrialização relaciona-se com o problema da alocação da poupança entre oportunidades de investimentos alternativos e seus efeitos colaterais.

A poluição é, assim, uma externalidade que pode ser analisada dentro da estrutura teórica e conceptual da economia de bem-estar. A abordagem de bem-estar parte das formulações teóricas de como o mercado competitivo resolve problemas alocacionais. Na visão clássica, concebe-se que, em condições de mercado perfeitamente competitiva, a alocação de recursos através da economia de mercado sem distorções resulta no que foi anteriormente considerado de nível de produção socialmente ótimo. A alocação de qualquer recurso escasso é ótimo social quando, para a última unidade de recurso consumido, seu benefício social marginal for igual ao seu custo social marginal. Então, o problema microeconômico se coloca em termos de como a economia de mercado instigada por decisões de agentes privados pode determinar soluções socialmente ótimas.

Como exposto nos itens anteriores, o problema de ótimo social depende da composição do sistema de transação e de informações específicas sobre os custos e benefícios externos. Entretanto, na realidade, a alocação de recursos se dá em cenário de informação imperfeita (OGDEN, 1966). Normalmente, as análises econômicas procuram demonstrar a eficiência competitiva na ausência

de externalidade. Como descrito anteriormente, na perspectiva paretiana, uma condição é eficiente quando é impossível aumentar o nível de bem-estar de um agente sem piorar o de outro agente. O equilíbrio competitivo sem externalidade é, portanto, pareto-ineficiente, porque, em equilíbrio, o preço de todos os bens e serviços deve ser igual ao custo marginal de produção. Esse preço é o referencial de valor relativo aos consumidores e produtores em se tratando de outros bens e serviços. Em termos microeconômicos, o custo marginal indica o valor adicional de uso de um recurso usado na produção, e ele expressa também o conceito de uso alternativo. Para os consumidores, a análise é desenvolvida em função da utilidade marginal e na relação de preços ou na disposição a pagar. Analiticamente, surge então o seguinte problema: na presença de externalidades, o preço de mercado não reflete adequadamente os benefícios do consumo de uma unidade marginal e o custo marginal não dimensiona com consistência o custo de oportunidade da produção. Nessa base de idéias, PIGOU (1960) e COASE (1960) descrevem a imperfeição de mercado como a divergência entre os benefícios marginais sociais e privados e os custos marginais sociais e privados. Os requerimentos de igualdade entre estas estruturas implicam a internalização total dos efeitos externos, além daqueles privados resultantes da relação de troca entre os agentes econômicos.

De acordo com NG (1971), a política clássica de controle de poluição com base nos subsídios e impostos pigouvianos não deve ser a única solução de equilíbrio. DAVIS e WHINSTON (1962) acham que, devido à existência do paradoxo de Giffen, a solução de equilíbrio no esquema imposto-subsídio mostra-se ainda incoerente com o ótimo de Pareto desejável. A situação de Giffen pode ser ilustrada na Figura 7. Nesta figura, CD representa a reta orçamentária e I a curva de indiferença relevante de um indivíduo B que consome apenas dois bens (X e Y), representados pelos respectivos eixos; E é o ponto de equilíbrio privado de B, onde  $X_1$  e  $Y_1$  são consumidos. O consumo de X, contudo, impõe externalidade sobre o indivíduo A. Supondo que o indivíduo A ofereça ao indivíduo B uma quantidade T para cada unidade de redução no consumo de B por X, a nova restrição orçamentária do indivíduo B é

representada por TED, e ele reduz seu consumo de  $X_1$  para  $X_2$ . Se o indivíduo A oferece ao indivíduo B uma compensação maior, como a representada pelo valor T, seu consumo de X aumenta para  $X_3$ , quando então o efeito renda sobrepõe o efeito substituição. Supondo que  $X_2$  seja o nível mínimo de consumo que pode ser induzido por este método, se a desutilidade marginal de X para o indivíduo A em  $X_2$  for maior que a utilidade marginal para o indivíduo B, o ponto ótimo de Pareto não deverá ser obtido por esse tipo de solução de barganha. O poder de barganha só atinge o ponto eficiente se uma solução benéfica para todas as partes for determinada pelo poder público, daí a justificativa da necessidade de um agente central regulador para corrigir as imperfeições de mercado, com as ressalvas de alguns economistas sobre o aspecto burocrático das intervenções públicas na geração de distorções adicionais.

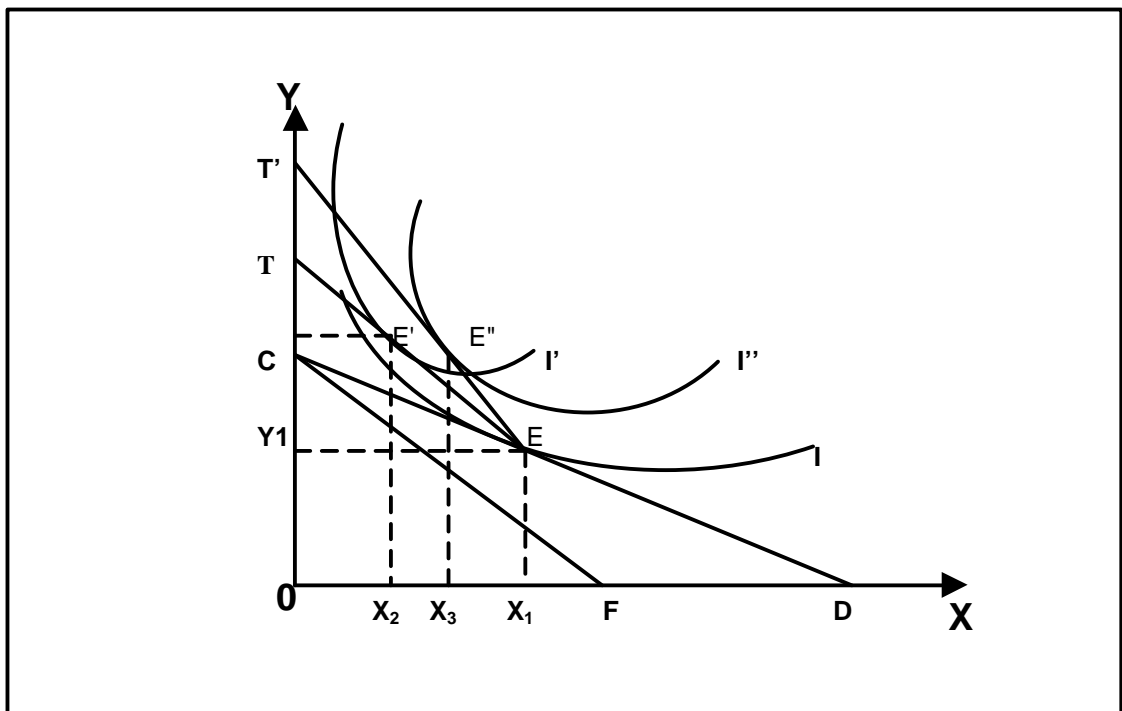


Figura 7 - Ilustração de paradoxo de Giffen em análise da externalidade ambiental.

Por conseguinte, o referencial geral de mercados competitivos na produção e distribuição de bens e serviços não implica mercados competitivos para atender aos objetivos de controle e melhoria da qualidade ambiental. No caso da poluição industrial, a suposição de competitividade é coerente para análises em setores econômicos onde existe maior concentração industrial em que a externalidade de uma firma seja substituta perfeita da de firmas concorrentes. Se não existirem outros produtores que gerem o mesmo tipo de externalidade numa região, a firma então é caracterizada como monopolística na redução de externalidade, tendendo a reduzi-la em quantidade menor à que seria observada no cenário competitivo.

De acordo com HARBERGER (1954), da teoria de monopólio sabe-se que o monopolista, em virtude do *markup* que lhe é inerente, pode restringir a produção de maximização de lucro, aproximando-se muito mais das condições de eficiência induzida por redução da produção para um nível próximo do ótimo social de qualidade ambiental. No cenário monopolista, quando se trata da alocação ótima de um bem-público, como o é no caso da redução de poluição industrial, em função da perda geral de bem-estar, observa-se diminuição na produção em função do incremento nos lucros e, conseqüentemente, melhoria na qualidade ambiental.

A perda de bem-estar consiste na redução do excedente do consumidor em termos de consumo e, em contrapartida, em ganho de eficiência no controle ambiental, ponderado por elevação em níveis de preço. Neste caso, particularmente, há indícios de aparecimento de cenário inflacionário, aspecto que será tratado ulteriormente. Entretanto, essa abordagem é relativamente extensa e apresenta especificidades conflitantes em termos conceituais, já que por elevação do nível do bem-estar entende-se a elevação nos excedentes dos consumidores, tanto para um bem tangível quanto para um intangível, desde que se satisfaçam as suas preferências.

A microeconomia clássica explica ainda que, em um sistema econômico operando na ausência de bens públicos, a obtenção de pareto-eficiente ocorre quando a taxa marginal de substituição entre os bens em troca for igual à relação

de troca dada por preços relativos. Com a internalização de bens públicos no processo de troca, a taxa marginal de substituição de um bem público por um privado é diferente daquela obtida no equilíbrio competitivo, porque cada consumidor estará propenso a pagar pelo consumo diferentes relações de preços entre bens públicos e privados.

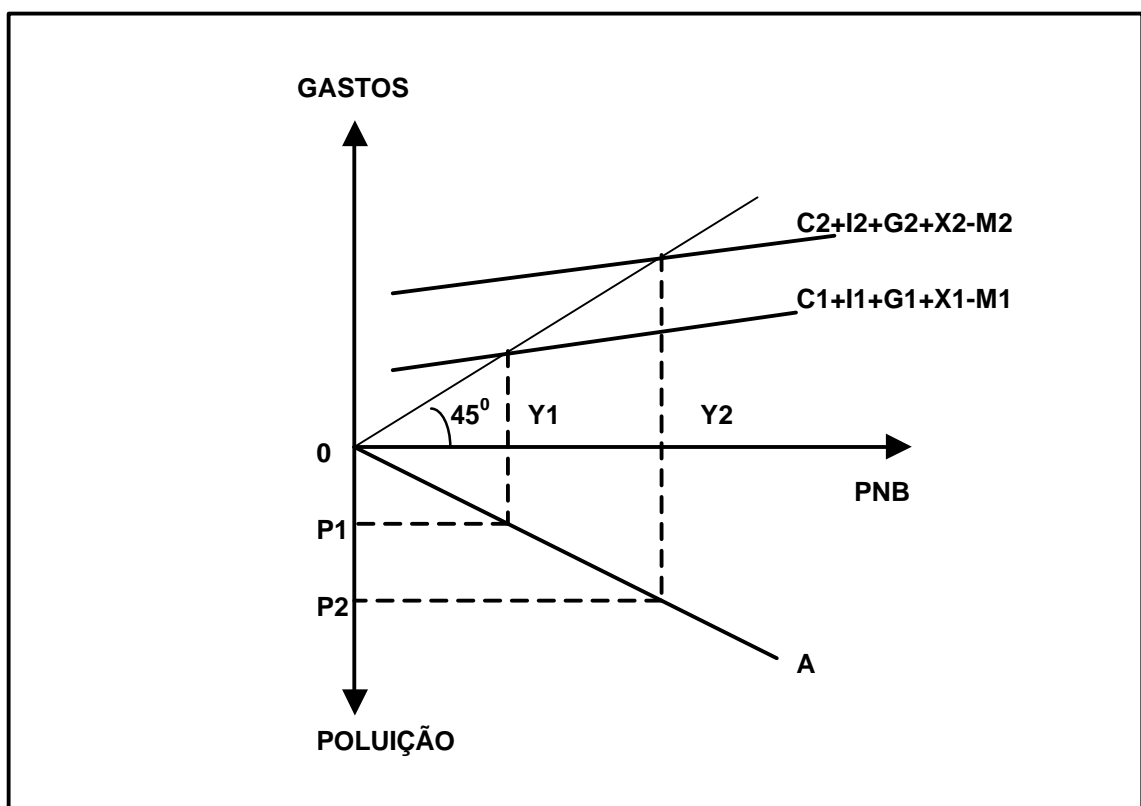
Para VICTOR (1972), em consequência de dificuldades na caracterização das preferências reais, a avaliação consistente dos benefícios da provisão geral dos bens públicos apenas tem implicações através da aplicação de políticas públicas. A imposição de medidas públicas de controle pode induzir os agentes econômicos a investir em programas de pesquisa e desenvolvimento tecnológicos que resultem em processos de encadeamento favorável à qualidade ambiental.

#### **2.1.7. Abordagem macroeconômica da poluição**

Do ponto de vista macroeconômico, uma medida importante de bem-estar geral da sociedade é dada pela renda nacional; porém, a renda é um agregado de valores monetários de bens e serviços gerados na economia para um período determinado. Como ficou demonstrado em análises teóricas anteriores, importantes categorias de bens e serviços considerados intangíveis e não-monetizados não entram na contabilização da renda, de modo que o valor desta nesse período deve ser corrigido para o seu valor efetivo. Isso ilustra a deficiência na dedução do valor efetivo da renda nacional e a necessidade de contabilidade ambiental da renda. Para os objetivos teóricos deste estudo, a poluição gerada como um subproduto da renda nacional é uma variável relevante de análise do desempenho da estrutura econômica. Presume-se que aumentos nos níveis de poluição levem à redução na dimensão real da renda e de outras variáveis macroeconômicas, portanto, na redução no nível de bem-estar.

Segundo VICTOR (1972) e UHLIN e THAMPAPILLAI (1997), a internalização da poluição industrial na análise da estrutura da economia pode ser ilustrada num modelo simples do tipo keynesiano, como apresentado na Figura 8.

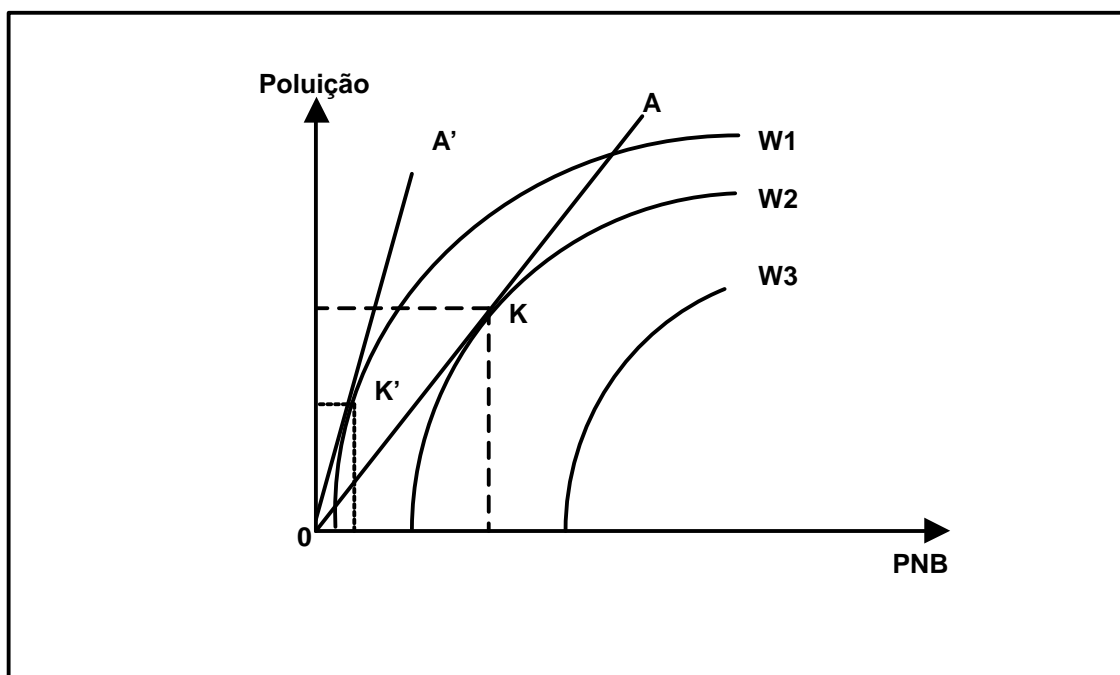
Relaxa-se sobre procedimentos da agregação de poluentes. A parte superior da Figura 8 mostra, em diagrama de 45°, como a renda e o nível de emprego são determinados no curto prazo. As despesas agregadas no período 1 são dadas por  $C_1+I_1+G_1+X_1-M_1$ , que é a soma das despesas com consumo, investimentos, gastos públicos e exportações líquidas. A renda ou PNB de pleno emprego tende a aumentar de um período para outro por causa da variação positiva no nível de gasto com consumo e investimento.



Fonte: VICTOR (1972).

Figura 8 - Ilustração gráfica do impacto macroeconômico da poluição industrial num modelo keynesiano simples.

Na parte inferior, um índice de intensidade de poluição é registrado no eixo das ordenadas, variando linearmente com a magnitude da renda nacional. Parte-se da hipótese, como já discutido, de que a relação seja linear, de forma que a taxa de variação da renda será a mesma para a quantidade de poluição. De acordo com VICTOR (1972), a relação linear demonstra a neutralidade entre o crescimento econômico e a intensidade de poluição. A função A indica a trajetória da renda e poluição que lhe está associada, de forma que, no nível de renda  $Y_1$ , o custo ambiental é  $P_1$  e, no nível  $Y_2$ , o custo ambiental aumenta para  $P_2$ . Essa relação entre poluição e renda pode ser obtida com a inversão da parte inferior da Figura 8 e a introdução de um mapa de indiferença social, como se ilustra na Figura 9.



Fonte: VICTOR (1972).

Figura 9 - Curvas sociais de indiferença entre poluição e renda nacional.



As curvas  $W_1$ ,  $W_2$  e  $W_3$  representam o mapa de indiferença que expressa diferentes níveis de preferência social, e cada um desses mapas reflete uma combinação alternativa entre renda e poluição para um dado padrão de bem-estar social. Contrariamente às curvas de indiferença tipicamente convexas em relação à origem, estas curvas relacionam de maneira inversa a poluição e o bem-estar social, sendo a poluição um mal e a renda o bem.  $W_2$  indica nível de bem-estar mais alto em relação a  $W_1$ , e  $W_3$  é de bem-estar maior que  $W_2$ , pois, para qualquer nível de renda, o bem-estar social será maior quanto menor for o nível de poluição.

Assume-se, por hipótese, que a taxa marginal de substituição entre poluição e renda declina para zero com movimentos ao longo de cada curva de indiferença e na direção crescente da renda. Com a expansão da economia na trajetória de  $K$ , sobre o segmento  $OA$ , o bem-estar social aumenta, uma vez que o aumento no consumo per capita mais que compensa o aumento na intensidade de poluição. No ponto  $K$ , o crescimento econômico descrito no segmento  $OA$  provoca declínio no padrão de bem-estar social, quando a economia se dirige de curvas de indiferenças mais altas para curvas mais baixas. A análise pode ser estendida para diferentes classes de renda, visto que classes diferentes de renda têm preferências específicas para absorção de qualidade ambiental. Assim, quanto mais elástica for a relação tecnológica entre a poluição e a renda, melhor o bem-estar, que é dado por níveis maiores das curvas de indiferença. Os consumidores obtêm alto padrão de renda por quantidades proporcionalmente menores de poluição. Essas considerações dos aspectos gerais da teoria de poluição servem de fundamento à proposta da análise da repercussão ambiental da estrutura econômica desenvolvida neste estudo.

#### **2.1.7.1. Impactos macroeconômicos da regulação ambiental**

Foi mostrado ao longo das exposições anteriores sobre os efeitos microeconômicos das externalidades ambientais que, se não forem feitas correções das distorções do sistema de transação, o mercado induzirá a alocação

deficiente de recursos, inclusive alocando fatores escassos na produção de bens e serviços com alto poder poluente em detrimento da qualidade ambiental. A forma de corrigir essas distorções é internalizar as intangibilidades através da imposição de penalidades sobre setores poluidores. As taxas pigouvianas serviriam de exemplo nesses casos.

Entretanto, políticas de regulação ambiental podem apresentar impactos sobre o desempenho macroeconômico. Na ilustração apresentada na Figura 3, o nível socialmente ótimo de produção para o setor industrial de papel e celulose estará associado a uma elevação nos preços de  $P_e$  para  $P_s$ . Embora o objetivo político e ambiental seja a preservação da qualidade ambiental, no plano econômico, a política de regulação do padrão de poluição apresenta indícios inflacionários e de desemprego, especialmente naqueles setores extremamente poluidores da economia. A imposição de taxas sobre produtos com alto coeficiente de poluente aumenta os preços do produto e reduz a quantidade ofertada. A redução na oferta tem lugar com diminuição na intensidade de uso dos fatores de produção, como trabalho e capital, o que vislumbra o cenário de desemprego, particularmente se o setor poluidor potencial for identificado como um setor dinâmico em termos de ligações para frente e para trás.

Contudo, como o objetivo do sistema de taxação é melhorar a qualidade ambiental por meio da redução nos indicadores de poluição, os setores da economia que mais diretamente estiverem envolvidos no processo tecnológico de controle devem expandir-se economicamente nesse novo cenário. Assim, a análise de desemprego efetivo vai depender da intensidade de uso de diferentes fatores de produção por setor da economia. HUSSEN (2000) argumenta, em termos da produtividade, que o processo da regulação ambiental tem efeitos negativos sobre a produtividade e, portanto, sobre a renda. A idéia é de que as despesas alocadas em programas de controle da poluição tendem a deslocar os investimentos em bens de capital e equipamentos, com impactos na produtividade geral da economia.

Finalmente, a controvérsia em torno dos efeitos macroeconômicos da teoria de regulação ambiental diz respeito à conhecida hipótese de Porter

(PORTER e LINDE, 1995), segundo a qual políticas de controle teriam o efeito de forçar as empresas à adoção de tecnologias de produção menos intensiva na emissão de poluentes. Isso faria com que, no longo prazo, houvesse tendência de redução nos custos de produção e maiores estímulos econômicos.

## **2.2. Modelo analítico**

### **2.2.1. Modelos analíticos de equilíbrio geral do tipo insumo-produto aplicados à análise de impacto ambiental**

No Brasil, poucos estudos vêm sendo desenvolvidos para analisar essa inter-relação entre a economia e o meio ambiente, especialmente no caso da poluição industrial. A dificuldade de implementação empírica desses estudos reside na obtenção, no tratamento e na modelagem de dados. No entanto, devem-se destacar os trabalhos de YOUNG (1998), ao investigar as alterações ambientais no Brasil, em termos de emissão de poluição resultantes de crescimento econômico orientado para as exportações, e de MIRANDA (1980), ao aplicar o modelo de Victor para a análise econômico-ambiental da região industrial do Médio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro.

Supõe-se, como proposto por alguns autores, que a abordagem analítica deva-se desenvolver numa contextualização em que o sistema econômico como um todo seja composto de  $n$  setores, em que  $n-k$  produzam bens e serviços destinados à transação intermediária e ao consumo final e que a tecnologia usada gere poluição como subprodutos homogêneos. Paralelamente aos  $n-k$  setores, podem-se definir os outros  $j$  como setores de tecnologia engajados na atividades de redução e tratamento da poluição gerada nos  $n-k$  setores (PERRONI e WIGLE, 1997).

Segundo AYRES e KNEESE (1969), a análise de equilíbrio parcial é teórica e empiricamente importante, pois permite a definição de danos ambientais e seus determinantes, além das funções de custo mínimo de controle. PARGAL e WHEELER (1996) modelaram um sistema de relações de demanda e oferta de

serviços ambientais usando o conceito de equilíbrio. Definiram uma função de demanda por serviços ambientais e uma de oferta ambiental de firmas que refletem as expectativas de preço. O nível de equilíbrio foi obtido na base da estática comparativa, conhecendo-se os determinantes exógenos da intensidade da poluição.

A projeção de emissão de poluentes e seus impactos na economia é um instrumento relevante para a administração e o controle ambiental - o modelo de fluxo de materiais interindustriais fornece a base conceitualmente satisfatória para o desenvolvimento de análises de dimensões mais amplas e para projeções futuras mais seguras sobre poluição. Assim, uma estrutura analítica formal, que observe o fluxo de externalidade e o relacione à estrutura de equilíbrio geral, constitui formulação adequada à análise da repercussão ambiental da economia.

De acordo com MÁIMOM (1992), os modelos de equilíbrio geral do tipo insumo-produto revelam-se empiricamente apropriados como instrumento de análise das inter-relações econômico-ambientais. Para DORFMAN (1954), ainda que muitas relações entre o sistema econômico e o sistema ecológico sejam não-lineares e que a hipótese de tecnologia fixa seja inconsistente para relações interindustriais de longo prazo, é válido o enfoque teórico e empírico para as abordagens de problemas de poluição industrial. Uma das mais importantes abordagens desse tipo tem sido a extensão da aplicação dos modelos de insumo-produto no exame de relações entre a atividade produtiva e a emissão de poluentes industriais.

Desse modo, a partir dos anos 60 muitos modelos econômicos empíricos passaram a incorporar variáveis ambientais para descrever simultaneamente as relações econômicas e ambientais. Esses instrumentos viriam a auxiliar a administração de problemas ambientais resultantes do processo de desenvolvimento econômico. O problema e as preocupações básicas desses estudos consistiam na necessidade de caracterização e identificação das implicações ambientais de padrões alternativos de consumo. Tabelas interindustriais passaram a ser expandidas com linhas e colunas adicionais para delinear o fluxo de materiais através do processo produtivo.

Segundo RICHARDSON (1972), HADDAD (1989) e MÁIMOM (1992), Cumberland foi pioneiro ao incluir efeitos ambientais num modelo interindustrial ampliado. A sua abordagem consistiu em acrescentar linhas e colunas à tabela tradicional de insumo-produto, de modo a identificar os custos e benefícios ecológicos associados à atividade econômica. No modelo proposto por Cumberland não se considera o fluxo de materiais. Ele analisa os custos e benefícios e atribui valores monetários a dimensões ambientais. Com base na ilustração apresentada no Quadro 3, observa-se que a linha R mede os efeitos líquidos resultantes da dedução dos custos ambientais em programas econômicos e consiste de estimativas monetárias dos benefícios e custos por setor de atividade. Os elementos constantes na coluna B representam os custos dos setores público e privado para neutralizar os efeitos adversos e restaurar o ambiente para níveis de qualidade original. Assim, diante de quedas no padrão de qualidade ambiental do ar e da água, os insumos e a tecnologia adaptada para o tratamento da poluição devem ser incluídos na matriz convencional interindustrial.

Quadro 3 - Representação estrutural do modelo proposto por Cumberland

$A_{ij}$	<b>Y</b>	<b>X</b>	Custo de Recuperação Ambiental <b>B</b>
<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	
<b>M</b>	<b>M</b>	<b>X</b>	
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>SX</b>	
Benefícios ambientais <b>Q (+)</b>			
Custos ambientais <b>C (-)</b>			
Balanço ambiental <b>R = Q - C</b>			

Fonte: RICHARDSON (1972).

A operacionalização da abordagem teórica do tipo *setor x setor*<sup>2</sup> na matriz geral de Cumberland depende do esquema de valoração das submatrizes ambientais adicionais, da unidade de valor e da relação técnica entre variáveis ambientais e econômicas. Entretanto, o modelo proposto por Cumberland é mais uma aproximação da análise clássica do tipo benefício-custo que pode ser usada como instrumento de sugestão de políticas públicas e na determinação do padrão de poluição, uma vez que os instrumentos de controle afetam o fluxo interindustrial (CUMBERLAND e STRAM, 1974).

AYRES e KNEESE (1969), com base no princípio da termodinâmica, desenvolveram o conceito de equilíbrio de Walras-Cassel na análise econômica ambiental. Partiram da hipótese de que a externalidade ambiental resulta da atividade de produção e consumo e de que as descargas residuais e energéticas obedeciam à lei de Lavoisier de conservação de energia. A abordagem de Ayres e Kneese aproximou-se da estrutura de equilíbrio geral fechado em termos físicos, com o meio ambiente tratado como um setor produtivo específico.

DALY (1968) elaborou um modelo econômico-ambiental para a inter-relação entre a atividade produtiva e o meio ambiente. O modelo de Daly é baseado na formulação de insumo-produto expandida para processos ambientais. A estrutura do modelo é bastante agregada e subdivide-se em duas classes: econômica e não-econômica (Quadro 4).

A desvantagem verificada no modelo empírico de Daly reside no excesso de agregação estrutural e na dificuldade de obtenção de dados ambientais, aspecto que foi depois superado com a postulação de ISARD (1968), ao adotar o enfoque *produto-setor*, que permite uma contabilização múltipla de *commodities* ecológica e econômica em um único setor da economia.

---

<sup>2</sup> Modelo do tipo *setor x setor* define a abordagem original de Leontief e considera o sistema econômico constituído por setores produtores de um único produto homogêneo. O enfoque produto x setor é uma outra abordagem e permite uma contabilização múltipla de *commodities* ecológica e econômica em um único setor.

Quadro 4 - Estrutura geral do modelo proposto por Daly em 1968

Atividades	Animais Plantas Agricultura Indústria Serviços	Atmosfera Bactéria Hidrosfera Litosfera Sol	Total
Agricultura Indústria Serviços Animais Plantas	<b>Quadrante 1</b>	<b>Quadrante 2</b>	<b>Q<sub>1</sub></b>
Atmosfera Bactéria Hidrosfera Litosfera Sol			<b>Q<sub>2</sub></b> <b>Q<sub>3</sub></b> . . <b>Q<sub>6</sub></b> <b>Q<sub>7</sub></b> . . <b>Q<sub>10</sub></b>
	<b>Quadrante 3</b>	<b>Quadrante 4</b>	

A principal característica do modelo de Isard é de que este não se satisfaz em indicar “entradas e saídas” no sistema ecológico a partir das repercussões de decisões tomadas no sistema produtivo, mas procura compreender internamente o que ocorre dentro do próprio sistema ecológico, a lógica e a dinâmica de evolução (ISARD, 1975). Nesse sentido, ele introduz três conceitos básicos, de produtos, insumos e processos ecológicos, nas relações de insumo-produto, os quais, convencionalmente, somente operam com mercadorias, insumos e produtos; enquanto as mercadorias se caracterizam por preços de mercado, os ecológicos incluem aqueles não diretamente transacionáveis no mercado, com preços estimados (ar, águas, algas, nitrogênio, fósforo, aves, ervas, carbono etc.). Insumos ecológicos são recursos ambientais escassos transferidos a preço zero, embora de valor positivo. Produtos ecológicos seriam poluentes e outros resíduos indesejáveis, também transferidos a preço zero, embora de significativo valor negativo. Finalmente, processos ecológicos envolveriam insumos e produtos econômicos e ecológicos, sem que haja uma unidade (agentes econômicos de produção, grupos de consumidores, instituições governamentais) com comportamento maximizador ou minimizador. Tanto mercadorias como

processos ecológicos podem ocorrer em grande número, dependendo da análise e do nível de desagregação.

Entretanto, VICTOR (1972) observou dificuldades para a implementação empírica do modelo de Isard, principalmente devido à ausência de informações quantitativas e qualitativas que mostrassem as inter-relações dentro do sistema ecológico. Assim, ele desenvolveu um modelo alternativo e promoveu alterações na estrutura da relação *produto-setor* de Isard, de forma a torná-la operacionalizável quanto aos requisitos estatísticos (Quadro 5). Tratou-se de um modelo *produto-setor* ampliado, com linhas adicionais de insumos ambientais, P e T, e colunas de produção ecológica, R e S, de melhor capacidade para análise dos resultados.

Quadro 5 - Modelo econômico-ecológico restrito para tecnologia produto-indústria

	Subsistema econômico			Ecossistema	
	Commodities	indústrias	Demanda final	Produção total	Commodities ecológicas
Commodities		<b>U</b>	<b>E</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>
Indústrias	<b>V</b>			<b>X</b>	<b>S</b>
Valor adicionado		<b>W</b>	<b>PNB</b>		
Produção total	<b>Q'</b>	<b>X'</b>			
Commodities ecológicas	<b>P</b>	<b>T</b>			

Fonte: MILLER e BLAIR (1985).

Esse processo de desagregação gerou coeficientes estáveis e foi mais adequado à análise, por permitir a modelagem de resíduos como subprodutos econômicos. O modelo de Isard sintetizou o princípio de equilíbrio econômico-



ambiental, embora se deva registrar a excessiva necessidade de dados e as restrições à hipótese linear geral no tratamento das variáveis.

No Quadro 6, é mostrado o desenvolvimento geral do conceito de interdependência econômico-ambiental no modelo proposto por Victor. O procedimento consistiu em adicionar à estrutura do modelo variáveis ambientais, ao introduzir os insumos ecológicos como a terra, o ar e a água, necessários ao processo econômico, e subprodutos ecológicos resultantes do processo de transformação econômica (ABDALLAH e MONTROYA, 1998). Os resultados analíticos de Victor foram resumidos em três linhas gerais: primeiro, a construção de duas tabelas de impacto em nível de produto, em que se observa a relação entre os insumos e produtos ecológicos e a demanda monetária final por produto. Uma das tabelas considera o impacto de unidade de demanda final sobre o setor ecológico sem considerar as importações necessárias à produção, e a outra tabela estabelece a mesma relação, com as importações inclusive. O segundo resultado consiste dos custos de produtos econômicos. Neste caso, Victor atribuiu pesos aos produtos ecológicos e, em conjunto com a tabela de impacto sem as importações, estimou os custos ecológicos da produção e do consumo para cada produto. O terceiro resultado consistiu na simulação em termos dos efeitos da variação no nível de produção sobre os índices ecológicos.

Quadro 6 - Síntese analítica do modelo econômico-ambiental proposto por Victor em 1972

	Produtos econômicos I, ..., n	Setores econômicos 1, ..., m	Demanda final 1, ..., f	Total	Produtos ecológicos		
					Terra n+1 ..., t	Ar t+1 ..., v	Água v+1 ..., z
Produtos econômicos 1...n		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		<b>G</b>	
Setores econômicos 1...m	<b>D</b>			<b>e</b>		<b>F</b>	
Insumos primários		<b>H</b>	<b>K</b>	<b>l</b>			
Total	<b>c'</b>	<b>e'</b>	<b>o'</b>	<b>p</b>		<b>q'</b>	
Terra n+1...t+1	<b>S</b>	<b>R</b>		<b>t</b>			
Água v+1.....z							

Fonte: MÁIMOM (1992).

LEONTIEF (1970) incorpora um setor de geração de poluentes e outro setor de controle de poluição para verificar a possibilidade de expandir a estrutura de insumo-produto tradicional para a análise da repercussão ambiental e demonstrar que a interdependência setorial pode ser usada para determinar o preço-sombra de eliminar uma unidade de poluição. Segundo RICHARDSON (1972), esse modelo proposto por Leontief poderia assumir diversas formas, dependendo do tratamento dado ao setor de famílias, às indústrias, ao setor de geração de poluição, e de como o setor de controle de poluição é financiado – por pagamentos diretos pelas famílias, sistema de tributação ou controle pelo setor industrial à sua própria custa. Tratou-se de um modelo do tipo *setor – setor*, como se ilustra no Quadro 7. Neste quadro, os dados relativos ao controle de poluição setorial são apresentados em termos monetários e obtidos a partir dos insumos das outras indústrias, permitindo a avaliação do custo monetário para o combate à poluição. O modelo de Leontief é uma ampliação, a partir do modelo econômico simplificado, e inclui a poluição industrial como uma importante variável de análise do sistema produtivo.

Quadro 7 - Quadro analítico do modelo de insumo-produto ampliado proposto por Leontief para análise da repercussão ambiental na economia

Produtos	Setores			Demanda final	Produção bruta
	1	2	Controle poluição		
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{1PA}$	$Y_1$	$X_1$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{2PA}$	$Y_2$	$X_2$
Geração física de poluentes	$X_{1P}$	$X_{2P}$	$-X_{PA}$	$Y_P$	$X_P$
Valor agregado	$V_1$	$V_2$	$V_{PA}$	$V_Y$	$V$
Vendas brutas	$X_1$	$X_2$	$X_{PA}$	$Y$	$X$

Fonte: LEONTIEF (1970) e MILLER e BLAIR (1985).

A característica distintiva das tabelas de insumo-produto ampliadas seriam as linhas, que representam agora os setores de produção física de poluentes específicos, e as colunas, que passariam a representar os setores de redução de poluição. Como a geração de poluentes é considerada em termos físicos, enquanto o resto da tabela está em termos monetários, a linha de geração de poluentes deve ser excluída da soma vertical referente às colunas de demanda setorial. Por outro lado, o setor de redução da poluição pode ser tratado de forma endógena, da mesma forma que as outras indústrias intermediárias. Não existe nenhum coeficiente intra-industrial nem uma linha para a própria indústria de redução da poluição, refletindo o fato de que sua produção é usada para compensar a geração de poluição na economia como um todo, não importando sua fonte. Os insumos do setor de controle de poluição não são transacionados. Todavia, a contribuição de Leontief ao incorporar a variável poluição no modelo ampliado de insumo-produto tem sido objeto de muitas discussões, principalmente em torno dos efeitos multiplicadores das atividades de controle de poluição.

Alega-se que os investimentos setoriais em programas de redução podem acabar gerando impacto adicional de geração de mais poluentes no sistema,

devido ao efeito multiplicador de renda e produção. Por isso, os postulados de RHEE e MIRANOWSKI (1984) constituíram aperfeiçoamento alternativo de uso ou não da estrutura ampliada de Leontief e do aspecto da exogeneidade total da demanda final. Para os autores, o procedimento deveria consistir em, primeiramente, observar se o nível de poluição está ou não afetando o sistema, ou seja, se a externalidade é ou não relevante. Quando o nível de poluição gerada estiver abaixo do nível tolerado, a poluição será uma externalidade pouco relevante e não é necessário programas de controle. Não obstante as contribuições de Rhee e Miranowski, a formulação ambiental de Leontief em 1970 foi também questionada por FLICK (1974), alegando este o fato de o setor de redução de poluição gerar valores negativos para satisfazer a demanda final e, com isso, os setores produtivos terem de gerar níveis de produção inferiores, nas condições de equilíbrio do modelo. O aumento de demanda final setorial causaria elevação no nível de poluição, e, como a quantidade tolerável é fixa, a atividade antipoluidora do setor de controle deveria aumentar para compensar a poluição embutida com a demanda adicional.

HARTOG e HOUWELING (1974) introduziram o princípio poluidor-pagador na estrutura de insumo-produto para permitir-lhes a análise dos impactos dos custos de controle e suas incidências sobre os setores poluidores potenciais. Para esses autores, analiticamente, o princípio poluidor-pagador permite a modelagem de insumo-produto com coeficientes técnicos de atividades de redução de poluentes. THOSS (1974) também apresentou uma especificação estrutural de insumo-produto relativa à distribuição dos insumos intermediários e valor adicionado, em que diferentes componentes de demanda final foram mantidos numa formulação geral baseada na programação linear e de solução mais objetiva.

Apesar de todas as dificuldades conceituais e operacionais no processo de modelagem estrutural para a implementação de cada um dos modelos descritos que refletissem a repercussão ambiental, muitos esforços foram desenvolvidos no sentido de alocar recursos e pesquisas para a execução empírica de modelos teóricos para ampliar a percepção dos problemas de gestão

de qualidade ambiental e contribuir para a orientação dos agentes públicos e privados no controle da poluição industrial.

### **2.2.2. Modelo proposto para a análise dos impactos da poluição industrial na economia brasileira**

No tópico anterior, foi salientada, entre outros procedimentos, a necessidade de se desenvolver um instrumental analítico intersetorial que considerasse o problema da poluição industrial na análise econômica e que internalizasse-a como uma externalidade ambiental. Foram descritas também as principais abordagens e estruturas teóricas existentes no tratamento desse tema. Nesta seção, define-se e desenvolve-se essa estrutura analítica como instrumento para a implementação empírica do problema da poluição industrial.

O modelo de insumo-produto ambiental proposto por Vassily Leontief é o primeiro tipo de modelo de equilíbrio geral aplicável à análise dos impactos da poluição industrial e exequível do ponto de vista teórico e analítico, diferentemente das outras estruturas teóricas predominantes e de difícil implementação empírica, em virtude da necessidade de grande número de informações. Leontief utilizou-se do sistema de equilíbrio de Walras, dando-lhe conteúdo e aplicabilidade empírica através da simplificação e operacionalização de um conjunto de equações. Nessa base, vários modelos do tipo equilíbrio geral foram desenvolvidos, cuja diferença essencial entre eles seria o grau de flexibilidade e rigidez nas pressuposições. A partir disso, a estrutura de insumo-produto passou a constituir uma extensão prática da teoria de equilíbrio, vendo a economia inteira de maneira sistêmica, como um fluxo de transação de bens e serviços.

O modelo simplificado de Leontief, na sua versão inicial, parte da suposição de que existe, num dado nível de preços, equilíbrio simultâneo entre a demanda e a oferta, ou seja, entre o setor de consumo e o setor de produção. Essa abordagem analítica permite delinear a análise do sistema econômico brasileiro segundo a agregação desejada, que leve em conta a interação conjunta de fatores

ambientais caracterizados pela emissão da poluição e os respectivos custos de controle. Embora o modelo apresentado por Leontief para analisar o impacto da demanda final e da estrutura tecnológica de determinada economia seja passível de algumas críticas, por apresentar, de maneira incompleta, as inter-relações entre o sistema produtivo e meio ambiente, ele mostra-se adequado aos objetivos deste estudo, por permitir uma das melhores aproximações da análise dos impactos da poluição industrial na economia. No entanto, alguns modelos de programação linear, contabilidade social e computáveis de equilíbrio geral já são extensões reais recentes das aplicações em análises empíricas sobre a interação entre a economia e o meio ambiente, cujos referenciais também podem ser aplicados.

Assumindo que  $n$  setores da economia mantenham parcelas constantes no mercado de cada produto e que os processos de produção sejam tecnologicamente interdependentes, caracterizados por relação linear entre insumos e a produção final de cada setor, pode-se obter um sistema de  $n$  equações lineares relacionando cada setor da economia com a produção de todos os outros setores. O modelo considera, assim, que a demanda final é um setor autônomo e determinado exogenamente (LEONTIEF, 1970 e 1974; VICTOR, 1972; RICHARDSON, 1972). Em termos formais, tem-se a seguinte expressão inicial e representativa do quadro de insumo-produto básico:

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + (C_i + I_i + G_i + E_i)_i \quad (1)$$

em que  $X_{ij}$  é a produção do setor  $i$  utilizada como insumo intermediário pelo setor  $j$ ; e  $C_i$ ,  $I_i$ ,  $G_i$ ,  $E_i$ , e  $X_i$  são, respectivamente, a produção do setor  $i$  que é comprada pelas famílias, a produção do setor  $i$  que é destinada ao investimento, a produção do setor  $i$  que é adquirida pelo governo e a produção do setor  $i$  que é destinada à exportação. O somatório dos setores  $C_i$ ,  $I_i$  e  $G_i$  constitui a demanda final doméstica, que, somada  $E_i$ , forma a demanda final do setor  $i$ ,  $Y_i$ .

A suposição básica é a de que o consumo intermediário é uma proporção fixa da quantidade total de cada produto:

$$X_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + Y_i \quad (2)$$

em que  $a_{ij}$  é o coeficiente técnico e determina a quantidade de produto do setor  $i$  necessária para a produção de uma unidade de produção no setor  $j$ ; e  $Y_i$  é a demanda final por produtos no setor  $i$ .  $Y_i = C_i + I_i + G_i + E_i$ .

A análise do lado das colunas mostra as compras de insumos intermediários produzidos pela indústria  $j$  e por todas as outras indústrias. As partes componentes do setor de pagamentos representam o pagamento pelos  $j$  setores ao trabalho e por todos os outros itens do valor adicionado, como serviços do governo, capital (pagamentos de taxas e juros), pagamentos de rendas, lucros, etc. Em adição, as importações de insumos são gravadas no setor de pagamentos e denotadas por  $M_j$ . Assim, somando a coluna  $j$ , tem-se:

$$X_j = \sum_i^n X_{ij} + L_j + V_j + M_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

em que  $X_j$  é a produção total do setor  $j$ ,  $L_j$  é o valor do trabalho pago pelo setor  $i$  na produção do setor  $j$ ,  $V_j$  são os outros valores adicionados pagos pelo setor  $i$  na produção do setor  $j$ ,  $M_j$  são as importações do setor  $i$  para a produção do setor  $j$ . Somando os totais de cada linha ( $X_i$ ) e os de cada coluna ( $X_j$ ), obtém-se o produto bruto total da economia ( $X$ ), simultaneamente do lado das receitas e dos custos.

Em termos matriciais, tem-se a seguinte expressão geral básica:

$$X = AX + Y \quad (4)$$

em que  $X$  é de dimensão  $(n \times 1)$  com a produção total de cada setor,  $Y$  é de dimensão  $n \times 1$  com a demanda final setorial e  $A$  é de dimensão  $n \times n$  com os coeficientes tecnológicos de produção. Uma vez que a demanda é exógena, a produção total setorial é obtida na solução seguinte:

$$X_i = (I - A_{ij})^{-1} Y_i \quad (5)$$

em que a expressão  $(I - A)^{-1}$  é a matriz  $n \times n$  contendo os coeficientes da relação dos impactos diretos e indiretos entre setores.

Segundo LEONTIEF (1970), a análise descreve e explica o nível de produção setorial da economia em termos de sua relação com o nível de atividade em todos os outros setores. Para fins da verificação dos efeitos diretos e indiretos sobre exportações, importações, nível de emprego e distribuição de renda de qualquer componente de demanda final, a mesma fórmula é ainda válida. Assim, o modelo permite a determinação do nível da atividade econômica em cada setor produtivo como uma função de demanda final exógena de cada setor.

Na sua versão dinâmica e multirregional mais complexa, o modelo explica a distribuição espacial da produção e do consumo de vários bens e serviços e de sua taxa de crescimento. MIYAZAWA (1976) estendeu a análise original de Leontief, de demanda final exógena, para incorporar componente de demanda endógena em função da renda, conforme o espírito do multiplicador de renda keynesiano, de forma a observar a estrutura da distribuição da renda.

O uso de tabelas de insumo-produto para estimar emissões de poluentes e outras formas de descargas residuais tem-se constituído em um importante instrumental para a análise de problemas ambientais em nível macroeconômico. O procedimento mais comum é assumir que as emissões de poluição são linearmente relacionadas à produção bruta de cada setor, de maneira que cada indústria, ou setor, gera externalidade em proporção fixa (YOUNG, 1998). Dessa forma, a estrutura de insumo-produto será ampliada para possibilitar a inclusão de externalidade e geração de poluição de maneira integrada às atividades interindustriais. Basicamente, desenvolveram-se três estruturas: modelos de insumo-produto generalizados, formulados a partir da ampliação da matriz dos coeficientes técnicos para incluir linhas e colunas que reflitam a geração e o combate à poluição; modelos ecológico-econômicos, que resultam da extensão da estrutura interindustrial para incluir ecossistema, em que os fluxos de transação são distribuídos entre setores econômicos e ecossistemas; e modelos *commodity-*



indústria, que também expressam aspectos ambientais sob diversos arranjos matriciais.

Segundo MILLER e BLAIR (1985), na geração de poluição associada às atividades interindustriais, geralmente se assume um conjunto de coeficientes técnicos de impactos ambientais diretos, como de geração de poluição e emissão de dejetos sólidos numa matriz do tipo:  $V = [v_{kj}]$ , em que cada elemento de  $V$  é a quantidade de poluentes  $k$ , gerados por valor da produção no setor  $j$ . Assim, o vetor do nível de poluição total será dado por  $v^* = v \cdot X$ , sendo  $X$  o vetor do nível da produção industrial total. Da relação clássica já descrita, obtém-se o vetor do nível de poluição, como uma função de demanda final:

$$v^* = [v \cdot (I - A)^{-1}] Y \quad (6)$$

$[v \cdot (I - A)^{-1}]$  é a matriz dos coeficientes totais e seus elementos representam os requisitos diretos e indiretos totais da poluição gerada na economia. Essa estrutura pode ser ainda expandida para a análise da renda, ou qualquer outro fator primário. Supondo-se que

$$D = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (7)$$

sejam os coeficientes de impactos diretos relativos às necessidades em energia,  $u$ , geração de poluição,  $v$ , e emprego,  $w$ , para a produção total (MILLER e BLAIR, 1985), define-se o vetor de impacto total como sendo:

$$X^* = \begin{bmatrix} u^* \\ v^* \\ w^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

em que  $u^* = uX$ ,  $v^* = vX$  e  $w^* = wX$ . Assim,  $X^* = D \cdot X$ . O impacto total como uma função de demanda final, nesse caso, é definido pela expressão

$$X^* = [D(I - A)^{-1}] Y \quad (9)$$

e permite observar os impactos totais em termos de energia, geração de poluição e níveis de emprego associados à demanda final. O vetor dos impactos totais,  $X^*$ , pode se relacionar também à demanda final para gerar o vetor expandido de impacto, definido por:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} X^* \\ Y \end{bmatrix} \quad (10)$$

E, da mesma forma, a matriz dos coeficientes de impactos diretos pode ser expandida, relacionando-a com  $(I-A)$ , para gerar a matriz ampliada dos coeficientes de impacto direto:

$$G = \begin{bmatrix} D \\ (I-A) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Logo,

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \\ (I-A) \end{bmatrix} \quad (12)$$

Pode-se incluir também  $X$  no vetor de impacto total para gerar o vetor expandido de impacto,

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X^* \\ X \end{bmatrix} \quad (13)$$

Expandindo a matriz dos coeficientes de impacto total e relacionando-a à inversa de Leontief, obtém-se a matriz expandida dos coeficientes de impacto total, dada pela expressão

$$H = \begin{bmatrix} D^* \\ (I-A)^{-1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

com

$$D^* = [D(I - A)^{-1}], \text{ em que } \bar{X} = \begin{bmatrix} X^* \\ X \end{bmatrix} = HY = \begin{bmatrix} D^* \\ (I-A)^{-1} \end{bmatrix} Y$$

Essas equações foram desenvolvidas por Leontief para caracterizar os impactos diretos e indiretos de consumo de energia, geração de poluição e emprego. Quando se avaliam os problemas ambientais de forma sistêmica, freqüentemente se distinguem aqueles insumos usados no processo de produção (trabalho, terra, ar e energia) dos da poluição. Esses fatores podem ser considerados na forma de fluxos de entrada e saída do ecossistema dentro do sistema econômico. Dessa forma, MILLER e BLAIR (1985) definem o fluxo de insumos ambientais, como água e terra, numa matriz  $M = \{m_{kj}\}$ , sendo cada elemento de  $M$  a quantidade de insumos ecológicos,  $k$ , usada na produção do setor  $j$ . Por outro lado, define-se a matriz  $N = \{n_{jk}\}$ , em que cada elemento de  $N$  é a quantidade de produtos ambientais,  $k$ , associada à produção do setor  $j$ . Esquemáticamente, o fluxo de insumo-produto, nesse caso, pode ser ilustrado no Quadro 8.

Quadro 8 - Fluxo de insumos e produtos econômicos e ambientais

	Transação interindustrial			Demanda final	Produção total	Geração de produtos ecológicos	
	Setores de consumo					SO2	HC
	X1	X2	X3				
Setores de produção	X1 X2 X3		Z <sub>ij</sub>		Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>	N <sub>ij+1</sub>
Entrada de commodity ecológica	Água Terra Ar		M <sub>n+1,j</sub>				

Fonte: Adaptado de MILLER e BLAIR (1985).

No Quadro 8, os coeficientes técnicos são dados por  $A = Z(\hat{X})^{-1}$ , sendo  $(\hat{X})$  a diagonalização do vetor coluna de produção total. Da mesma forma,  $R = M(\hat{X})^{-1}$  são os coeficientes dos insumos ambientais. Os elementos em  $R = (r_{kj})$  representam quantidades de produção  $k$  necessárias por valor da produção no setor  $j$ .  $Q = N'(\hat{X})^{-1}$  são os coeficientes de produção de produtos ecológicos, ou seja,  $Q = (q_{kj})$  especifica quantidades de *commodities*  $k$  gerados por valor de produção da indústria  $j$ , sendo  $N'$  a matriz transposta do fluxo de geração de *commodities* ecológicas. Usando as matrizes  $R$  e  $Q$  como coeficientes de impacto total, isto é, coeficientes de entrada de insumos e de geração de externalidades em função de demanda final, definem-se, respectivamente,  $R^* = R(I - A)^{-1}$  e  $Q^* = Q(I - A)^{-1}$ . Os elementos constantes em  $R = (r^*_{ij})$  representam a quantidade de insumo ecológico  $i$  necessária direta e indiretamente para gerar uma unidade monetária de produção do setor  $j$  para a demanda final. Por outro lado,  $Q^* = (q^*_{ij})$  reflete a quantidade de produtos ecológicos  $i$  associados com a liberação de uma unidade monetária de produção do setor  $j$  para a demanda final.

Outra alternativa, proposta também por LEONTIEF (1970) para a análise dos efeitos ambientais de geração e combate à poluição, seria simplesmente

expandir a matriz dos coeficientes técnicos, com a introdução do coeficiente de geração e eliminação de poluição. No caso de geração da poluição, os coeficientes refletem a quantidade de poluentes por unidade de produção industrial e, de forma semelhante, os coeficientes de redução refletem atividades de eliminação de poluição. O Quadro 9 ilustra o esquema analítico dessa última descrição.

Quadro 9 - Tabela expandida de fluxo de transação de insumo-produto ambiental para análise de geração e controle de poluição

	Indústria	Serviços	Redução poluição	Demanda final	Produção total
Indústria					
Serviços					
Geração de poluição		$Z_{ij}$		$Y_i$	$X_i$

Fonte: Adaptado de MILLER e BLAIR (1985).

A análise do Quadro 9 se desenvolve segundo a estrutura clássica de insumo-produto, através de  $A_p = Z_p (\hat{X})^{-1}$ , em que  $A_p$  é a matriz dos coeficientes técnicos e a última linha de  $A_{p_{ij}}$  representa a geração da poluição por setores econômicos em relação ao valor de produção total. Conseqüentemente,  $X_p = (I - A_p)^{-1} Y_p$  representa a matriz clássica expandida de Leontief com a internalização de externalidades ambientais para as análises de impacto da demanda final e outras variáveis exógenas na economia.

### 2.2.2.1. Modelo de insumo-produto ambiental com multiplicadores de renda e controle de poluição endógenos

A análise da repercussão ambiental do crescimento da renda nacional, da produção e do emprego foi proposta e desenvolvida por RHEE e MIRANOWSKI (1984). Tratou-se de uma versão mais requintada do modelo estático de Leontief e uma variante do modelo de poluição com a renda tratada como variável endógena, que permite a análise em separado do efeito induzido, e o efeito do controle da poluição dado pelos respectivos impactos dos multiplicadores.

Segundo RHEE e MIRANOWSKI (1984), na ausência do problema de controle da poluição, o modelo de Leontief poderia ser descrito por um sistema de equação (15):

$$G_0 \begin{vmatrix} x \\ r \\ \hat{e} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} f \\ f_r \\ -\bar{z} \end{vmatrix} \quad (15)$$

sendo

$$G_0 = \begin{vmatrix} (I-A) & 0 & 0 \\ -R & I_m & 0 \\ -W & 0 & I_s \end{vmatrix} \quad (15a)$$

em que  $x$  = vetor coluna ( $n \times 1$ ) da produção industrial;  $r$  = vetor coluna ( $m \times 1$ ) de intensidade de uso dos recursos primários;  $\bar{z}$  = vetor coluna ( $s \times 1$ ) do  $i$ -ésimo elemento;  $\bar{z}_i$  representa o padrão de poluição do poluente  $i$  como um indicador de seu nível admissível;  $\hat{e}$  = vetor coluna ( $s \times 1$ ) de  $i$ -ésimo elemento;  $\hat{e}_i$  representa o excesso de emissão de poluentes  $i$ , acima do nível definido em  $\bar{z}_i$ ;  $f$  = vetor coluna ( $n \times 1$ ) de demanda final;  $f_r$  = vetor coluna ( $m \times 1$ ) de consumo final dos recursos primários;  $A$  = matriz ( $n \times n$ ) dos coeficientes técnicos;  $R$  = matriz ( $m \times n$ ) dos requerimentos de recursos primários por unidade de produção industrial;  $W$  = matriz dos coeficientes técnicos de poluição ( $s \times n$ ), cujos

elementos  $w_{ij}$  representam a quantidade de poluentes  $i$  gerados por unidade de produção industrial  $j$  ( $w'_i$  é a sua  $i$ -ésima linha).

A solução convencional para o sistema envolve a geração da inversa  $G_0^{-1}$  e a sua multiplicação pelo vetor de variáveis exógenas.

$$(G_0)^{-1} = \begin{bmatrix} (I-A)^{-1} & 0 \\ R(I-A)^{-1} & \\ & I_{m+s} \\ W(I-A)^{-1} & \end{bmatrix} \quad (16)$$

As soluções isoladas do sistema 16 para cada variável exógena são:

$$x = (I-A)^{-1} f \quad (17)$$

$$r = R(I-A)^{-1} f + f_r \quad (18)$$

$$\hat{e} = W(I-A)^{-1} f - \bar{z} \quad (19)$$

O modelo pode ser ampliado para o caso geral de sistema completo com introdução de variáveis de controle ambiental, especialmente poluição industrial. Na equação (19),  $W(I-A)^{-1} f$  representa a quantidade de poluentes gerados por produção industrial para satisfazer a demanda final. Desde que  $\bar{z}$  seja o nível de poluição admissível de cada poluente, a solução para  $\hat{e}$ , determinada na equação (19), representa o excesso da emissão total de poluição na economia, acima do nível tolerável. Pode-se, então, atribuir a  $W(I-A)^{-1} f$  um valor monetário e representar os custos ambientais com a eliminação total de todos os poluentes gerados na economia.

Conforme MIYAZAWA (1976), o modelo pode incorporar a relação renda-consumo, assumindo que parte da demanda final seja endógena e proporcional à renda, distribuída na forma da equação (20).

$$f = f_0 + c_0 y \quad (20)$$

Nesta equação,  $f_0$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de componentes autônomos de demanda final,  $f$ , e  $c_0$  é o vetor da propensão marginal a consumir cada  $n$ -ésimo bem da economia. Os elementos de  $c_0$  representam a propensão a consumir no contexto do modelo keynesiano. Dessa forma, o modelo de Leontief é ampliado para incorporar as atividades ambientais:

$$(I-A) x - C z - c_0 y = f_0 \quad (21)$$

$$-R x + r - D z = f_r \quad (22)$$

$$W x + (\hat{W} - I) z = \bar{z} \quad (23)$$

$$-v'_x x - v'_z z + y = h \quad (24)$$

Em termos matriciais, as equações (21) a (24) são representadas na forma (25):

$$\begin{bmatrix} c_0 \\ G_y \\ -v'_x & 0 & -v'_z & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ r \\ z \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_r \\ -\bar{z} \\ h \end{bmatrix} \quad (25)$$

em que  $z =$  vetor ( $s \times 1$ );  $z_i$  representa a quantidade de poluentes  $i$  a ser eliminada (= vetor do nível de atividade de controle de poluição);  $v'_x =$  vetor ( $n \times 1$ ) do valor adicionado por unidade de produção;  $v'_z =$  vetor ( $1 \times s$ ) de valor adicionado por unidade de poluente tratada;  $h =$  pagamento de fatores realizados pelos setores que compõem a demanda final;  $C =$  matriz ( $n \times s$ );  $c_{ij}$  representa a produção industrial necessária por unidade de poluentes  $j$  eliminada ( $c_i$  é sua  $i$ -ésima coluna);  $D =$  matriz ( $m \times s$ );  $d_{ij}$  representa a quantidade de recursos primários  $i$  necessários por unidade de poluentes  $j$  eliminados;  $\hat{W} =$  matriz ( $s \times s$ ) e  $\hat{W}_{ij}$  representa a quantidade de poluentes  $i$  gerados por unidade de poluentes  $j$  eliminados.

A equação (24) mostra que a renda consiste no pagamento de fatores utilizados pelos setores industriais  $v'_x x$ , pelos setores de controle de poluição  $v'_z z$  e pelos setores exógenos ( $h$ ). As matrizes  $C$  e  $D$  representam os custos de



controle de poluição em termos dos insumos intermediários e primários, respectivamente. Sendo  $f_t$  a soma das despesas autônomas com a produção industrial (a soma de coluna de  $f_0$ ) e dada por  $c'_t = (c_{t1}, c_{t2}, \dots, c_{ts})$ , em que  $c_{ti}$  representa a soma das despesas com controle de poluição no setor industrial necessário para tratar uma unidade de poluente  $i$  (isto é, a soma da  $i$ -ésima coluna de  $C$ ,  $c_i$ ), então a solução simultânea das equações (21) a (24) produz a equação (26):

$$y = k [f_t + (c'_t + v'_z) M \hat{e} + h] \quad (26)$$

em que a constante  $k$ ,  $\hat{e}$  e  $M$  são dados por

$$k = \frac{1}{1 - c^* - (c'_t + v'_z) MW(I-A)^{-1} c_0} \quad (27)$$

$$\hat{e} = W(I-A)^{-1} f_0 - \bar{z} \quad (28)$$

$$M = [I - W(I-A)^{-1} C - \hat{W}]^{-1} \quad (29)$$

O excesso de poluição,  $\hat{e}$ , descreve apenas o excesso induzido pela demanda final autônoma. A matriz  $M$  é o multiplicador de controle e relaciona o excesso de poluição com o nível de controle. Portanto,  $M \cdot \hat{e}$ , na equação (26), representa a quantidade total de poluentes industriais que seria tratada para eliminar o excesso de poluição. O custo de controle do excesso de poluição é dado por  $(c'_t + v'_z) M \cdot \hat{e}$ .

Se  $c_0 = 0$  (isto é,  $f = f_0$ ), então  $c^* = 0$  (a soma dos componentes de  $c_0$ ) e  $k = 1$ . Isso implica que o termo entre parênteses do lado direito da equação (26) equivale à renda determinada no sistema de insumo-produto aberto, com a demanda final exógena, e dada por  $f = f_0$ . A equação (26) mostra que a dimensão da renda determinada no sistema com controle de poluição é proporcional à sua dimensão determinada no sistema aberto. Na equação (27),  $M \cdot W(I-A)^{-1} c_0$  descreve a geração da poluição induzida pela renda. Aumentos na renda geram gastos com consumo em  $c_0$  e, depois, efeito na produção industrial em  $(I-A)^{-1} c_0$  e, finalmente, no primeiro "round", aumento na poluição em  $M \cdot W(I-A)^{-1} c_0$ . O custo

monetário de controle da poluição induzida pela renda é igual a  $(c'_t + v'_z) MW(I-A)^{-1}$ .

As despesas correspondentes a esse valor de custo causarão aumentos na renda, dando origem a outro "round" de encadeamento no sistema. O processo se repete segundo o multiplicador de Cornfield-Leontief (DORFMAN et al., 1964) dado pela expansão em série de potência, como segue:

$$1 + [c^* + (c'_t + v'_z) M \cdot W(I-A)^{-1} c_0] + [c^* + (c'_t + v'_z) M \cdot W(I-A)^{-1} c_0]^2 \quad (30)$$

A série descrita na expressão (30) converge para  $k$ . Se  $c_0 \neq 0$ , e se não existir nenhuma atividade de eliminação e controle de poluição (isto é,  $c'_t = 0$  e  $v'_z = 0$ ), as equações (26) e (27) se reduzem a  $k = 1/(1 - c^*)$  e  $y = k \cdot (f_t + h)$ , que são as expressões usadas para a análise da renda no modelo keynesiano. Confrontando esses resultados com as equações (26) e (27), eles indicam que as atividades de controle de poluição aumentam o valor do multiplicador keynesiano, pelo fator custo de controle de poluição induzido pela renda. Levando em conta a poluição induzida pela renda, o tamanho do excesso de poluição no sistema é determinado pela expressão:

$$\hat{e} = W(I-A)^{-1} (f_0 + c_0 \cdot y) - \bar{z} \quad (31)$$

Para manter o padrão da poluição ambiental predeterminado em nível  $\bar{z}$ , o excesso de poluição deve ser eliminado ou tratado. Porém, um esforço para eliminar o excesso de poluição como determinado na equação (31) desencadeia um processo dinâmico de multiplicador na economia, de forma que, para eliminar o excesso,  $\hat{e}$ , geram-se mais poluentes, resultando em outro esforço de redução. O processo se repete em série convergente, no limite de  $M \cdot \hat{e}$ , dado pela expressão (32):

$$\{I + [W(I-A)^{-1}C + \hat{W}] + [W(I-A)^{-1}C + \hat{W}]^2 + \dots\} \hat{e}. \quad (32)$$

Portanto, as atividades de combate à poluição dentro de determinados limites causam, direta ou indiretamente, mais poluição. Mais poluentes devem ser tratados do que aqueles inicialmente definidos em excesso, de forma que se mantenha o padrão de qualidade ambiental em  $\bar{z}$ . Logo, dado o excesso de poluição, a quantidade total de poluentes a ser tratada é determinada pela expressão

$$z = M \cdot \hat{e} \quad (33)$$

Para RHEE e MIRANOVSKY (1984), algumas vezes, em vez de se definir a quantidade de poluição a ser tolerada, a política de controle ambiental deve fixar a proporção total de poluição gerada que deve ser eliminada. Se  $P_i$  for uma proporção com relação ao poluente  $i$ , isto é,  $p_i = z_i / (z_i + \bar{z})$ , e se  $P$  for uma matriz diagonal ( $s \times s$ ), cujos elementos diagonais são  $p_i$ 's, então o multiplicador de controle de poluição e a equação (33) são modificados para  $M = [p^{-1} - W(I-A)^{-1}C - \hat{W}]^{-1}$  e  $Z = MW(I-A)^{-1}f$ . Uma vez que o nível de renda e o controle de poluição são determinados, o nível de produção industrial e o emprego dos recursos podem ser determinados diretamente da expressão (34):

$$X = (I-A)^{-1} (f_0 + c_0 y + Cz) \quad (34)$$

$$R = Rx + Dz + f_r. \quad (35)$$

A equação (34) mostra que a produção industrial consiste de três partes: produção para demanda final autônoma  $(I-A)^{-1}f_0$ ; produção induzida pela renda,  $(I-A)^{-1}c_0y$ ; e produção para o controle de poluição  $(I-A)^{-1}Cz$ . Quanto à utilização de recursos primários na equação (35), ela consiste também de componentes semelhantes à produção industrial, com a produção destinada à redução da poluição ambiental e a produção destinada ao uso direto na forma de recursos primários.

### 2.2.2.2. Restrições e estabilidade do modelo

A ênfase dos impactos de alterações da demanda agregada sobre os níveis de produção e emprego e, conseqüentemente, do encadeamento desses efeitos sobre o nível de poluição industrial é um pressuposto teórico forte do modelo teórico e analítico, porque se admite que as curvas de oferta sejam perfeitamente elásticas, de forma que a expansão da demanda gere automaticamente acréscimos na oferta sem impactos nos níveis de preços.

De acordo com LEE (1982), MIERNYK (1974) e HAWKINS e SIMON (1949), um aspecto teórico e operacional importante no desenvolvimento da análise proposta nesta pesquisa prende-se às condições de estabilidade do modelo, relativamente à obtenção de soluções consistentes para a análise de resultados. Segundo MIERNYK (1974), a tabela dos coeficientes técnicos que serve de base para a operacionalização dos modelos de insumo-produto, por si só, é de utilidade limitada, já que ela mostra unicamente os efeitos diretos da variação na produção de um setor sobre os setores dos quais os insumos são adquiridos. Entretanto, é importante que os coeficientes técnicos diretos satisfaçam certas condições de estabilidade: (a) que pelo menos uma coluna deva somar menos que a unidade; e (b) que nenhuma coluna deva somar mais que a unidade. Admite-se intuitivamente que as indústrias devem pagar pelos seus insumos menos do que recebem da venda de seus produtos.

Há uma outra condição que deve ser observada na matriz dos requisitos diretos e indiretos. O modelo original de Leontief parte da suposição de um único produto homogêneo por atividade (modelo do tipo *setor-setor*), de forma que a matriz estrutural tenha todas as submatrizes menores principais de  $(I-A)$  não-negativas e que os elementos da diagonal de  $(I-A)$  sejam estritamente positivos. Estes requisitos são essenciais para as propriedades de Hawkins-Simon sobre a existência e unicidade de solução, conforme DORFMAN et al. (1964), SOLOW (1952), HAWKINS e SIMON (1949) e BULMER-THOMAS (1982).

Basicamente, esses autores afirmam que não pode haver lançamentos negativos na matriz dos requisitos diretos e indiretos. Isso significa, em essência,

que cada vez que o setor com uma entrada negativa expandir suas ofertas para o setor de demanda final, seus requisitos diretos e indiretos de insumo decrescem. Em outras palavras, quanto mais o setor expandir a sua produção, menos teria de adquirir de insumos dos outros setores.

A especificação da tecnologia em proporções fixas é um suporte teórico da análise dentro de um horizonte de curto prazo; fundamenta-se na hipótese restritiva de que não deve ocorrer nenhuma substituição entre os fatores de produção e que o nível de poluição gerado seja uma função linear do nível de produção, nível de emprego ou do valor adicionado, de forma que a redução ou emissão de poluentes apenas ocorre com alterações proporcionais nos níveis de produção setorial, dada a tecnologia ambiental e de produção inicial. Muitas relações entre os sistemas econômicos e ecológicos são não-lineares, e essas pressuposições são, dentro de certos limites, pouco consistentes nos casos das relações estruturais de insumo-produto ambiental aqui, de certa forma, relaxadas.

Outro aspecto importante relacionado à consistência do modelo diz respeito ao uso dos coeficientes em termos físicos ou monetários. No caso da internalização dos dados sobre poluição industrial estimada como tendo sido realmente gerada, estes podem ser computados, mesmo em termos físicos, como uma medida de quantidade por unidade de produção. Como argumenta MIERNYK (1974), no caso dos coeficientes de insumo mão-de-obra, estes insumos podem ser dados também em termos físicos. Na utilização da água como recurso, pode-se computar os coeficientes deste insumo em termos de quantidades em metros cúbicos por valor da produção. Assim, o mesmo procedimento pode ser adotado para a computação de informações relativas à poluição industrial.

Dada a maior complexidade na operacionalização da modelagem de insumo-produto ambiental, é de importância fundamental a demonstração da existência de soluções não-negativas como garantia para a consistência dos resultados obtidos. Assim, com base em MILLER e BLAIR (1985), prova-se que o modelo de insumo-produto ampliado com setores de geração e, ou, eliminação de poluição é derivado diretamente das condições originais de estabilidade de

Simon-Hawkins. A estrutura matricial e analítica usada nesta pesquisa que satisfaz a internalização das estimativas de geração de poluentes e dos custos de controle pode ser dada na forma seguinte:

$$\begin{bmatrix} 1-a_{11} & -a_{12} & \vdots & -a_{1p} \\ -a_{21} & 1-a_{22} & \vdots & -a_{2p} \\ \dots & \dots & \vdots & \dots \\ a_{p1} & -a_{p2} & \vdots & 1-a_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ -Y_p \end{bmatrix} \quad (36)$$

Esta relação pode ser escrita em termos de submatrizes componentes, como:

$$\begin{bmatrix} 1-a_{11} & -a_{12} \\ -a_{21} & 1-a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -a_{1p} \\ -a_{2p} \end{bmatrix} \cdot [X_p] = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} \quad (36a)$$

$$\begin{bmatrix} -a_{p1} & -a_{p2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + [1-a_{pp}] \cdot [X_p] = -[Y_p] \quad (36b)$$

Da expressão (35a):

$$\begin{bmatrix} 1-a_{11} & -a_{12} \\ -a_{21} & 1-a_{22} \end{bmatrix}$$

representa  $(I-A)$ , que é a matriz estrutural de Leontief sem a integração de setores de geração e eliminação de poluição. A matriz estrutural, em si mesma, satisfaz as condições de Simon e Hawkins, por causa das propriedades dos coeficientes técnicos interindustriais. A partir da equação (35a) obtém-se a solução de  $X$ , valor da produção bruta total da economia, como segue:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = (I-A)^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1p} \\ a_{2p} \end{bmatrix} \cdot [X_p] \right\} \quad (36c)$$

O argumento até aqui é procurar mostrar que todos os elementos de  $X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$  são positivos. Como os componentes da matriz estrutural satisfazem a condição de Simon-Hawkins, todos os elementos da matriz dos requerimentos diretos e indiretos de Leontief,  $(I-A)^{-1}$ , também serão positivos. Por outro lado,  $Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}$  representa o vetor coluna da demanda final da economia e todos os seus elementos são positivos. Os elementos  $a_{1p}$  e  $a_{2p}$  representam os insumos de outros setores necessários ao controle ou à redução de poluição e foram tratados como custo de controle. Estes elementos também têm valores não-negativos, já que representam valores monetários. Partindo-se da prova de que os elementos de  $X$  são não-negativos, a não-negatividade de  $X_p$ , quantidade total de poluição a ser eliminada, pode ser deduzida da solução da equação (35b), obtendo-se:

$$X_p = (1-a_{pp})^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} a_{p1} & a_{p2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y_p \end{bmatrix} \right\} \quad (36d)$$

em que  $a_{pp}$  descreve a geração de poluição associada às atividades de controle. Isso quer dizer que a quantidade de poluição gerada pelo setor de controle deve ser menor que a quantidade eliminada para que  $a_{pp}$  seja menor que a unidade e exista  $(1-a_{pp})^{-1}$ . Finalmente,  $X_p$  será não-negativo se a expressão

$\begin{bmatrix} a_{p1} & a_{p2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y_p \end{bmatrix}$  também for não-negativa, isto é,  $\begin{bmatrix} a_{p1} & a_{p2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} > \begin{bmatrix} Y_p \end{bmatrix}$ . Nesta expressão,  $Y_p$  representa a quantidade de

poluição não eliminada ou tolerada na coluna de demanda final por setor de geração e tem valor negativo para satisfazer a identidade das contas na tabela de insumo-produto e  $a_{1p}$  e  $a_{2p}$  são as quantidades estimadas de poluentes que foram gerados por valor de produção  $X_1$  e  $X_2$ , respectivamente. Com  $X_p$  não-negativo, a condição de Simon-Hawkins é satisfeita para a versão ambiental do modelo de Leontief usada neste estudo.

O raciocínio implícito nessa demonstração é de que o modelo aplicado é empiricamente consistente e as condições de estabilidade se observam somente se os níveis de poluição industrial emitidos forem maiores que o nível desejado ou tolerado pelos agentes que compõem a demanda final da economia.

### **2.2.3. Fonte e tratamento de dados**

Dados sobre poluição industrial no Brasil são disponíveis ainda de forma muito pouco sistemática, e as informações existentes geralmente são insuficientes.

Neste estudo, as informações econômicas básicas foram obtidas das tabelas de insumo-produto da matriz intersetorial da economia brasileira para o ano de 1995, elaboradas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quanto às variáveis ambientais, especificamente as informações sobre cargas de poluição, como demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sup>3</sup>), emissão de metais pesados e partículas, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO), elas foram estimadas com base nos índices técnicos de intensidade de poluição industrial do sistema IPPS do WORLD BANK e de informações obtidas do Grupo de Pesquisa em Economia do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

#### **2.2.3.1. Método IPPS<sup>4</sup>**

O Projeto de Pesquisa sobre o Controle de Poluição Industrial do Banco Mundial vem desenvolvendo a base de dados e abordagens metodológicas para estimar volume de poluentes industriais e custos de controle baseados nos

---

<sup>3</sup> DBO, ou BOD, é uma medida de quantidade de oxigênio consumido nos processos biológicos que é eliminada na forma de matéria orgânica na água.

<sup>4</sup> A descrição do método IPPS é baseada em "Policy Research Working Paper # 1431 (Part 1) do Banco Mundial, intitulado: The industrial pollution projection system, de autoria de HETTIGE et al. (1994).



indicadores de escala industrial. O sistema é chamado de “Industrial Pollution Projection System” (IPPS = Sistema de Projeção de Poluição Industrial) e vem sendo usado em grande número de projetos do Banco Mundial, assim como em universidades e outras instituições de pesquisa internacional.

O procedimento IPPS se fundamenta na utilização de informações industriais para estimar perfis da poluição por países. Partindo do princípio de que muitos países têm pouca ou nenhuma informação sobre o problema de geração da poluição industrial, nesta fase do projeto IPPS, o progresso na análise dos impactos da poluição industrial é baseado em dados estimados. Assim, o IPPS vem sendo usado para explorar o fato de que a base de variação da poluição é, dentro de certos limites, afetada pela escala da atividade industrial, pela composição setorial e pela tecnologia de produção. Com base em levantamentos sobre três variáveis econômicas comumente disponíveis, como o nível de emprego, valor adicionado e valor da produção, o sistema IPPS permite a conversão destas informações em estimativas sobre a intensidade de poluição industrial, isto é, a poluição por unidade de atividade, tendo em vista o alto grau de correlação entre níveis de poluentes individuais e aquelas variáveis econômicas (HETTIGE et al., 1994).

A base de dados de referência do IPPS compreende os diagnósticos ambiental, econômico e geográfico de aproximadamente 200.000 unidades industriais da economia dos Estados Unidos da América e cerca de 1.500 categorias de produtos, combinando informações do Censo Econômico Industrial com dados da Agência de Proteção Ambiental sobre as emissões de diferentes poluentes industriais do ar e da água.

Segundo HETTIGE et al. (1994), embora se reconheça a necessidade de pesquisas empíricas mais detalhadas sobre as fontes de variação da poluição, já é evidente que as maiores diferenças entre países são atribuíveis a preços relativos, políticas econômicas e setoriais e rigor regulatório. A argumentação em favor da utilização do método de estimar os custos e as quantidades de poluentes por setor da economia com base no IPPS se fundamenta no fato de que o sistema já foi aplicado em várias análises do Banco Mundial, principalmente nas suas duas

recentes publicações: a de Carter Brandon e Ramesh Ramankutty, para a Ásia, intitulada "Environment and Development", em 1993, e a de Richard et al. para a Indonésia, intitulada "Environment and Development", em 1994. Ainda dentro do Banco Mundial, relatórios setoriais sobre o México, a Malásia e vários países do Médio Oriente têm usado estimativas baseadas no IPPS. Recentes trabalhos sobre o comércio e o meio ambiente da OECD foram também baseados no IPPS, principalmente os de David Roland-Holst e Hiro Lee: "International, Trade and the Transfer of Environmental Costs and Benefits (HETTIGE et al., 1994).

Assim, os coeficientes do IPPS serão usados nesta pesquisa para estimar as quantidades de poluição industrial baseados em medidas da atividade industrial brasileira, como o valor total de produção industrial de 1995. De acordo com HETTIGE et al. (1994), a poluição está associada ao volume físico da produção, através da proporção do volume físico dos resíduos. Contudo, a utilização do volume de produção física como referência à estimativa da intensidade de poluição impõe dificuldades práticas, devido à grande diversidade de unidades usadas como medida de produção e, finalmente, ao fato de as informações relativas ao volume da produção física muitas vezes não serem disponíveis. Conseqüentemente, a estimação deve ser baseada no valor da produção como medida adequada da atividade industrial para estimar a intensidade de poluentes. Entretanto, existem problemas relativos aos preços que restringem esse procedimento, podendo, todavia, ser superados com uma unidade monetária básica no processo de conversão. O valor da produção é, assim, avaliado como melhor medida de conversão em relação ao valor adicionado, uma vez que os insumos energia e materiais são fatores críticos na determinação da produção e, conseqüentemente, da poluição industrial. Em relação à utilização do nível de emprego como fator denominador para a estimativa da intensidade de poluição, no caso brasileiro, em que as estimativas de emprego são caracterizadas por classes de empregadores, empregados remunerados e não-remunerados, perfazendo grande contingente de trabalhadores, fica extremamente difícil a adoção de um procedimento metodológico baseado no fator emprego para o cálculo da estimativa da intensidade de poluição.

Os coeficientes IPPS obedecem ao Padrão Internacional de Classificação Industrial (ISIC) e permitiram a estimação da intensidade de poluição para os seguintes componentes do ar: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, compostos orgânicos voláteis (VOC), partículas finas em suspensão (PM) e partículas totais em suspensão (TSP) e poluentes da água: demanda bioquímica de oxigênio (BDO), sólidos totais em suspensão (TSS); substâncias tóxicas do ar, terra e água; e metais tóxicos do ar, terra e água. Os coeficientes para a estimativa do custo de redução da poluição por atividade e por tipo de poluente foram também estimados com base no IPPS (HARTMAN et al., 1994).

### **2.2.3.2. Classificação e agregação setorial da economia**

Segundo YAN (1969) e LEONTIEF (1986), o critério de agregação setorial e a classificação para fins da análise de insumo-produto devem ser dirigidos dentro dos pressupostos de homogeneidade tecnológica e da finalidade de estudo preconizado, uma vez que as propriedades estruturais da matriz dependem do esquema de classificação e agregação das indústrias. MENDES (1994), ao realizar o estudo sobre a estimativa dos custos de controle da poluição hídrica em uma região do Estado do Rio de Janeiro, considerou a agregação composta de 12 setores, geradores potenciais de poluição. PERRONI e WIGLE (1997) adotaram, em estudo da repercussão ambiental num modelo de equilíbrio geral, uma agregação composta de 10 setores econômicos. No Grupo de Pesquisa do Banco Mundial é freqüente considerar 12 setores, distribuídos em: alimentos, papel e celulose, produtos da madeira, têxtil, químico, farmacêutica, cimento, petroquímica, açúcar e álcool, fertilizantes, alimentos processados e metais.

De maneira geral, essas composições são também definidas em estudos e pesquisas sobre gestão ambiental na indústria brasileira, identificando-se agregados de siderurgia, celulose e papel, química, petroquímica e mineração como os setores de maior impacto em termos de geração da poluição e, em menor grau, os setores de construção, transporte e alimentos e bebidas (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES,

1998). A proposta de agregação de TORRES (1992) em análises de impacto ambiental de setores industriais de tecnologia “suja” e intensiva no uso de recursos naturais define três grandes segmentos produtivos: segmento industrial primário, segmento de indústrias de bens intermediários e segmento de indústrias potencializadoras de tecnologia. De acordo com CARDOSO Jr. (2000), os setores difusores de progresso técnico no Brasil estariam conectados aos complexos eletroeletrônico, metal-mecânico e químico-farmacêutico.

Não se leva em conta o conceito de complexos setoriais, segundo o qual se deve basear em agrupamentos com similaridades espaciais e sujeitas a importantes inter-relações produtivas. HADDAD (1989) argumenta que, apesar de os fluxos entre a indústria de calçados e o complexo têxtil e vestuário serem relativamente pequenos, eles podem ser considerados num mesmo agregado a partir do pressuposto de que a sua dinâmica é determinada pelos mesmos fatores.

A estrutura de agregação adotada neste estudo compôs-se de 12 setores, portanto, dentro dos limites de consistência desejados e atendendo ao potencial hipotético de geração de poluição industrial (Quadro 10).

A estrutura do trabalho será distribuída em três partes analíticas. Na primeira parte, faz-se a caracterização da estrutura produtiva da economia brasileira com base no comportamento do valor adicionado setorial, numa estratégia de busca de informações econômicas para o melhor entendimento e caracterização dos agregados definidos e a verificação *a posteriori* das relações e compatibilizações quando se introduzem, na análise, variáveis de geração e custo de poluição. Na segunda parte, desenvolve-se a análise de insumo-produto clássico, a qual serve de base comparativa para os resultados obtidos na terceira parte, em que a abordagem de insumo-produto é ampliada, conforme a proposta de Leontief, para avaliar as repercussões da poluição industrial na estrutura da economia.

Quadro 10 - Classificação e caracterização setorial da demanda intermediária segundo os objetivos de geração da poluição industrial na economia brasileira

Classificação	Níveis de agregação <sup>(a)</sup>
• Setor industrial primário	1. Agropecuária 2. Extrativo mineral 3. Têxteis, couros e outros
• Setor de bens intermediários	4. Alimentos processados 5. Siderurgia e metalurgia 6. Papel e celulose 7. Química e petroquímica 8. Outras indústrias
• Setor de tecnologia	9. Materiais eletroeletrônicos 10. Transportes e máquinas 11. Farmacêutica e veterinários 12. Comércio e serviços

Fonte: Matriz de Insumo-Produto do IBGE.

<sup>(a)</sup> Elaboração própria a partir do conceito de base técnica similar.

## 2.2.4. Caracterização da estrutura produtiva da economia brasileira

### 2.2.4.1. Procedimentos para a análise setorial de componentes do valor adicionado

A caracterização e o conhecimento da especificidade econômica dos complexos agregados podem ajudar na percepção de desempenhos ambientais. Segundo CARDOSO Jr. (2000), pode-se investigar a estrutura de produção e distribuição do valor adicionado<sup>5</sup> a partir de informações extraídas das tabelas de insumo-produto e dos respectivos componentes do valor adicionado. O perfil da

<sup>5</sup> O conceito de valor adicionado expressa o valor que as atividades acrescentam aos bens e serviços consumidos no processo produtivo. O valor adicionado é a contribuição ao produto interno bruto pelas diferentes atividades econômicas, obtida pela diferença entre o valor de produção e o consumo intermediário intersetorial.

distribuição do valor adicionado entre rendimentos de capital, expresso por excedente operacional bruto, EOB, e os rendimentos do fator trabalho que são dados pelo conjunto das remunerações salariais, por hipótese, guardam relação com as especificidades setoriais no tocante ao poder de emissão de poluentes. A geração do valor adicionado pode ser analisada com base na produtividade setorial média do trabalho, calculada como a relação entre o valor adicionado setorial e o respectivo pessoal ocupado na produção. A análise da apropriação do valor adicionado será conduzida com base no *markup* setorial, obtido da relação entre o valor da produção setorial e os respectivos custos diretos, isto é, consumo intermediário mais as remunerações.

Assim, o desempenho dos complexos econômicos definidos será analisado com base no valor que cada segmento adiciona à produção. Através do valor adicionado, é possível dimensionar também a contribuição setorial ao longo da cadeia produtiva, para a análise comparativa do potencial gerador de poluentes e o respectivo impacto ambiental nestes. A produtividade média do fator trabalho é outro componente importante, já que os níveis de poluentes emitidos guardam relação com nível de emprego e do valor adicionado. Segundo CARDOSO Jr. (2000), existe a preferência em calcular a produtividade com base na relação física por horas trabalhadas como forma de evitar a contabilização de horas pagas mas não trabalhadas efetivamente. Como existe relativa mudança na composição da produção física brasileira, com a utilização de uma parcela de componentes importados, a relação de produção física por horas pagas constitui um indicador vulnerável para o cálculo da produtividade real da economia. Desse modo, a utilização da relação valor adicionado por pessoal ocupado (VA/PO) mostra-se adequada, de forma a evitar a situação em que maior produção física nacional resulte em menor valor adicionado interno da economia, o que superestima os índices de produtividade.

#### 2.2.4.2. Markup setorial do valor adicionado

O conceito da produtividade média dado pela relação entre o valor adicionado e o nível de emprego setorial serve para explicar a geração do valor adicionado, pois dele capta-se a contribuição do fator trabalho ao processo produtivo. Já o *markup*<sup>6</sup> está relacionado aos fatores que determinam a distribuição do valor adicionado. O *markup* serve também como boa medida do grau de monopólio, refletindo-se na capacidade que os setores têm para a administração dos preços a partir de uma dada estrutura de custos de produção e de planejar o remanejamento da utilização da capacidade instalada diante das modificações na demanda. A medida de *markup* permite analisar o potencial de geração da poluição a partir de marcos estruturais e da apropriação da renda setorial agregada para diferentes indústrias. O procedimento de cálculo de *markup* baseia-se na formulação de CARDOSO Jr. (2000) e é dado pela expressão (37):

$$K = \frac{VP}{(R_m + CI)} \quad (37)$$

em que VP é o valor total da produção setorial; R<sub>m</sub> é o conjunto das remunerações (salários e contribuições sociais); e CI é o consumo intermediário setorial utilizado como uma medida dos custos diretos de cada setor. As implicações distributivas do comportamento de *markup* dependem da tendência observada na relação entre os custos intermediários e as remunerações. Essa relação será dada pela expressão (38):

$$J = \frac{CI}{R_m} \quad (38)$$

---

<sup>6</sup> *Markup* está relacionado à estrutura de mercado e à lógica adjacente à formação dos preços pelos agentes econômicos, admitindo-se situações de imperfeições de mercado, como se admite nas condições de regulação e controle ambiental da poluição. *Markup* depende da estrutura de mercado prevalecente e de condicionantes das decisões das empresas em ambientes de riscos e incertezas.

A relação em (38) expressa o conflito entre os principais componentes de custo para as empresas e, de maneira agregada, para os setores e complexos da atividade econômica. Finalmente, a relação entre o excedente operacional bruto, EOB, e as remunerações,  $R_m$ , expressa o comportamento conjunto dos lucros sobre capital e das remunerações salariais nos complexos produtivos, através dos quais é possível perceber, em termos gerais, a estrutura de distribuição dos lucros relativamente às remunerações.

#### **2.2.4.3. Ligação interindustrial e setores-chave na abordagem ambiental da economia brasileira**

O referencial teórico de insumo-produto estabelece propriedades de interdependência entre setores e permite a identificação de importantes ligações na economia e setores-chave no processo de desenvolvimento. No presente estudo, essas propriedades serão identificadas em duas fases, quando, então, serão avaliados os impactos exógenos da demanda final com e sem a internalização de variáveis ambientais.

##### **2.2.4.3.1. Índices de Rasmussen-Hirschman**

O conceito de índices de ligação proposto por Rasmussen e Hirschman consiste na identificação de setores mais dinâmicos no processo de desenvolvimento econômico. Este conceito é de extrema utilidade caso se pretenda analisar as repercussões e os encadeamentos ambientais decorrentes da dinâmica econômica. No caso da estrutura setorial proposta neste trabalho, os índices de ligação permitem a implementação de políticas ambientais apropriadas que atendam aos objetivos de crescimento econômico dentro dos delineamentos e identificação dos setores mais agressivos do ponto de vista de emissão de poluentes.

Os índices de ligação para trás permitem a quantificação de quanto determinado setor demanda dos outros setores para atender às suas necessidades



de consumo, e os índices de ligação para frente quantificam o quanto determinados setores são demandados pelos outros (SOUZA, 1999; SILVEIRA e GUILHOTO, 2000). Dada a estrutura da relação oferta-demanda inerente à tabela de insumo-produto e atendendo à definição adjacente aos elementos da matriz inversa de Leontief  $B$ , define-se  $b_{ij}$  como multiplicadores de impactos diretos e indiretos de  $B$ . Assim,  $B_{i*}$  e  $B_{*j}$  representam, respectivamente, a soma de uma linha e de uma coluna de  $B$ . Os índices de ligação para trás, como uma medida de dispersão, são dados por:

$$I_j = \frac{\left[ \frac{B_{*j}}{n} \right]}{B^*} \quad (39)$$

sendo  $B^*$  a média de todos os elementos de  $B$ . Os índices de ligação para frente ou a sensibilidade da dispersão são dados por:

$$I_i = \frac{\left[ \frac{B_{i*}}{n} \right]}{B^*} \quad (40)$$

em que  $n$  é o número de setores da economia. Valores dos índices de ligação para frente e para trás maiores do que 1 indicam setores com desempenho acima da média e, portanto, de maior dinamismo para o crescimento econômico.

#### **2.2.4.3.2. Campo de influência**

Segundo SONIS et al. (1996), o conceito de campo de influência foi desenvolvido por Sonis e Hewings para fornecer um instrumento formal geral da medida de impacto da mudança nos coeficientes diretos da matriz de insumo-produto ou de contabilidade social associados à inversa de Leontief. O campo de influência é um complemento dos índices de ligações de Rasmussen-Hirschman e descreve como se distribuem as mudanças dos coeficientes diretos no sistema

econômico como um todo. Apesar de os índices adotados pela metodologia Rasmussen-Hirschman avaliarem a importância de determinado setor em termos dos seus impactos sobre a oferta e a demanda de insumos, eles não permitem a identificação das principais cadeias do sistema (GUILHOTO et al., 1994). O conceito de campo de influência é uma medida de impacto de uma variação tecnológica infinitesimal mais adequada, embora da mesma estrutura básica das ligações para frente e para trás, isto é, consideram somente a estrutura interna da economia. O conceito descreve como se distribuem as mudanças dos coeficientes diretos no sistema econômico como um todo, permitindo, dessa forma, que se determinem quais são as relações entre os setores que seriam mais importantes dentro do processo produtivo, já que mudanças infinitesimais em alguns coeficientes tecnológicos tendem a causar maior ou menor impacto na economia em relação aos outros coeficientes.

O procedimento para o cálculo do campo de influência requer a matriz dos coeficientes diretos  $A = [a_{ij}]$ , sendo necessário definir a matriz de variações infinitesimais nos coeficientes diretos de insumo  $E = [\epsilon_{ij}]$ . As inversas de Leontief, dos coeficientes diretos e indiretos e das variações incrementais são então dadas, respectivamente, por  $B = [I-A]^{-1} = [b_{ij}]$  e por  $B(\epsilon) = [I - A - \epsilon]^{-1} = [b_{ij}(\epsilon)]$  (GUILHOTO, 1992). Segundo SONIS e HEWINGS (1996), no caso de a variação ser pequena e só ocorrer em um coeficiente direto, ou seja,

$$e_{ij} = \begin{cases} e & i=i_1, j=j_1 \\ 0 & i \neq i_1, \text{ ou } j \neq j_1 \end{cases}$$

o campo de influência dessa variação é dado aproximadamente pela expressão

$$F(\epsilon_{ij}) = \frac{[B(e_{ij})-B]}{e_{ij}} \quad (41)$$

em que  $F(\epsilon_{ij})$  é de dimensão  $(n \times n)$  do campo de influência da mudança no coeficiente direto,  $a_{ij}$ . Para determinar os coeficientes que possuem maior campo

de influência, é necessário associar-se a cada matriz  $F(\epsilon_{ij})$  um valor, dado pela expressão

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n [f_{kl}(\epsilon_{ij})]^2 \quad (42)$$

em que  $S_{ij}$  é o valor associado à matriz  $F(\epsilon_{ij})$ . Os coeficientes diretos que possuírem os maiores valores de  $S_{ij}$  serão aqueles com o maior campo de influência dentro da economia.

### 2.2.4.3.3. Multiplicadores de renda, emprego e produção

O multiplicador de produto do setor  $j$ ,  $Q_j$ , é definido como a produção, em todos os setores da economia, para se fornecer uma unidade monetária adicional do produto  $j$  à demanda final. Apesar de o multiplicador do produto representar as necessidades totais por unidade de produto final, não se trata de um conceito particularmente útil, exceto como indicador do grau de interdependência estrutural entre cada setor e o resto da economia. É obtido somando-se todos os elementos da coluna  $j$  na inversa de Leontief  $(I-A)^{-1}$ , ou seja,

$$Q_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (43)$$

em que  $n$  = número de setores do modelo; e  $b_{ij}$  = elemento da matriz  $(I-A)^{-1}$ , que expressa o efeito do produto do setor  $i$ , dada uma variação unitária na demanda final por produto do setor  $j$ . Quanto mais alto for o valor do multiplicador, maior a interdependência do setor na economia. Os efeitos geradores de renda ou emprego também podem ser analisados por meio dos multiplicadores. Os multiplicadores de renda são classificados em dois tipos: tipo I e tipo II.

O multiplicador de renda do tipo I é dado pela razão entre as variações diretas e indiretas na renda e a variação direta na renda resultante de um aumento

unitário da demanda final de qualquer setor. A variação direta na renda de cada setor é dada pelo lançamento da linha das famílias quando expressa sob a forma de coeficientes diretos de insumo. Obtêm-se as variações diretas e indiretas na renda multiplicando-se cada lançamento de colunas na matriz inversa padrão (excluindo-se as famílias) pelo correspondente coeficiente da linha da indústria fornecedora na tabela de coeficientes diretos e somando-se as multiplicações das linhas. Assim, a variação direta e indireta da renda no setor  $j$  é dada por

$$\sum_{i=1}^n b_{ij} h_{ri} \quad (44)$$

em que  $b_{ij}$  = elementos da matriz inversa dos coeficientes, e  $h_{ri}$  = elementos do vetor linha dos coeficientes das famílias.

O multiplicador de renda tipo II é a razão entre a variação direta, indireta e induzida da renda e a variação direta da renda provocada por aumento unitário na demanda final. O multiplicador de tipo II leva em consideração as repercussões de rodadas secundárias do dispêndio dos consumidores, além dos efeitos diretos e indiretos interindustriais. Obtêm-se expansão de renda devido a “rodadas” sucessivas, expandindo-se a matriz interindustrial para incluir a linha e coluna correspondentes às famílias e tornando endógeno o setor de famílias no modelo. A variação direta, indireta e induzida da renda por unidade de demanda final é dada pelo coeficiente familiar das necessidades diretas e indiretas derivadas da matriz expandida com as famílias endógenas. A linha das famílias nessa matriz invertida mostra os coeficientes diretos, indiretos e induzidos para cada setor.

Os multiplicadores de emprego medem o impacto da expansão da produção industrial sobre os níveis de emprego. A variação direta e indireta de emprego para  $j$  consiste na relação emprego/valor da produção para cada setor  $i$ , multiplicado pelas necessidades totais, diretas e indiretas de cada  $i$  para uma unidade de demanda final:

$$\sum_{i=1}^n b_{ij} b_i \quad (45)$$

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Perfil da estrutura produtiva dos complexos setoriais agregados**

O Quadro 11 reporta os resultados para os principais componentes do valor adicionado considerados por setor, bem como os três segmentos econômicos. Conforme o procedimento analítico adotado na metodologia, os três segmentos econômicos referem-se às atividades primárias, intermediárias e tecnológicas, agregadas desse modo, de forma que se possa verificar o comportamento da economia em termos da intensidade de uso de recursos naturais e a importância relativa destes segmentos para a economia.

Quadro 11 - Resultados da análise dos componentes do valor adicionado por grandes segmentos econômicos da economia brasileira

	Primário	Intermediário	Tecnológico
% Valor adicionado (VA)	0,12	0,23	0,65
Prod. média (VA/PO)	4,11	18,98	11,80
Markup	1,78	1,68	1,44
Relação J = (CI/Rm)	4,69	6,12	1,14
Relação (EOB/Rm)	4,0	2,86	0,78
% Relação (Im/VA)	0,5	0,11	0,40

Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Matriz de Insumo-Produto do IBGE de 1995.

VA = valor adicionado, PO = pessoal ocupado, CI = consumo intermediário, Rm = remuneração salarial e contribuições sociais, EOB = excedente operacional bruto, Im = importações.

O comportamento dos dados agregados demonstra pronunciado índice de participação do segmento tecnológico na composição do valor adicionado total da economia brasileira, com 65%. De acordo com CARDOSO Jr. (2000), os setores agregados e considerados difusores de progresso técnico no Brasil estariam conectados simplesmente aos complexos eletroeletrônico (informática, telecomunicações, automação industrial e software), metal-mecânico (máquinas-ferramenta, equipamentos elétricos e máquinas agrícolas) e farmacêutico (defensivos, fármacos e biotecnologia). O segmento primário, agregado pelos setores agropecuária, extrativo mineral, têxteis, couros, vestuários e calçados, participa com 12% do valor adicionado, e o segmento formado pelo setor intermediário atende a 23% do valor adicionado total da economia. A elevada contribuição do segmento tecnológico se deve à participação dos setores de comércio e de serviços, com 54,27%. Portanto, em termos da remuneração dos fatores primários de produção, o complexo de tecnologia se mostra economicamente mais dinâmico.

Em termos da produtividade, o segmento que apresentou maior produtividade média é o formado pelo complexo de atividades intermediárias, com índice de produtividade estimado em 18,98, seguido pelo complexo tecnológico com 11,80. O complexo de atividades primárias, cuja intensidade de uso de recursos ambientais é fundamental, apresentou o menor índice de produtividade média (4,11) em termos da distribuição do valor adicionado por níveis de emprego setorial. Isso se deve também à maior capacidade relativa de geração de emprego do componente setorial da agropecuária, com 24,77% do pessoal total ocupado na economia. Considerando que o segmento de tecnologia detém 51,96% do pessoal ocupado total e dado o nível de produtividade auferido por este setor, pode-se inferir, em conclusão, que existe alta capacidade de geração de valor adicionado deste segmento da economia.

Como se definiu anteriormente, o *markup* seria uma *proxy* do diferencial entre os preços e os custos de produção das firmas, e ele é aqui utilizado para observar potencial estratégico de mercado para os grandes segmentos e complexos econômicos considerados. Em análise ulterior, pode-se observar o desempenho relativo desses setores em relação aos componentes de custo e de geração física de poluentes; por isso se justifica esta caracterização.

O *markup* também serve como uma medida de concentração ou de pulverização de determinadas atividades produtivas. Assim, o segmento de indústrias de tecnologia apresentou o menor *markup*, 1,44, o que significa maiores perdas em termos da participação relativa na massa dos lucros da economia, resultado que se mostra inconsistente, já que o complexo tecnológico apresentou bom índice de produtividade. Os setores de transportes e máquinas, com 4,63, e outras indústrias, com 4,44, cuja participação do setor de construção civil foi relevante, apresentaram os maiores valores para *markups* setoriais, indicando elevada concentração das atividades produtivas nesses setores. Por outro lado, o segmento formado de atividades primárias, com níveis de *markup* de 1,78, apresenta-se com ganhos maiores no período. O poder de mercado do setor agropecuário, de 2,22, provavelmente se explica pelo cenário de importação que caracterizou a abertura comercial no ano de 1995, principalmente no

contexto de produtos alimentares como instrumento de estabilização verde dos preços agrícolas. Os complexos de material eletroeletrônico e farmacêutica e veterinária apresentaram suas margens de lucros bastante comprimidas, provavelmente devido ao impacto da concorrência externa, que se mostrou desfavorável ao setor no período em análise.

A relação entre os custos de consumo intermediário e os custos salariais do pessoal ocupado é uma outra medida que tem implicações distributivas na apropriação do valor adicionado. Os valores relativos ao componente J (relação entre o consumo intermediário e as remunerações e contribuições sociais) mostram que o segmento tecnológico apresentou a menor relação entre o consumo intermediário e as remunerações, com 1,14, devido à proporção dos custos salariais no setor de comércio e serviço e de transportes, máquinas e equipamentos, que se mostraram insuficientes para contrabalançar os custos diretos de consumo intermediário observados nos setores eletroeletrônico e farmacêutica e veterinária, com, respectivamente, 18,68 e 26,30% da relação J (Quadro 12).

Os complexos de alimentos processados, com 11,05; de química e petroquímica, com 7,92; de siderurgia e metalurgia, com 6,99; de extrativo mineral, com 5,3; e de agropecuária, com 4,29, apresentaram os maiores coeficientes J, demonstrando que não existe um padrão definido na estrutura de distribuição dos custos dos insumos intermediários e das remunerações salariais totais.

O Quadro 12 mostra que, em geral, todos os setores apresentaram potencial de apropriação de lucros sobre os rendimentos do trabalho, à exceção dos setores de comércio e serviços, agregados no segmento de tecnologia, que apresentaram relação inferior à unidade e de dimensão igual a 0,78. Agropecuária e outras indústrias apresentaram os maiores ganhos de capital em relação ao fator trabalho, caracterizando também um sistema de produção de trabalho intensivo, dada a massa de emprego associada nesses dois setores da economia.



Quadro 12 - Resultados da análise dos componentes do valor adicionado por setores econômicos

	Agropecuária	Extrativo mineral	Têxteis, couros outros	Alimentos processados	Sider. metal.	Madeira, mobília, papel	Química petroquímica	Outras indústrias	Materiais eletrolet.	Transporte máquinas	Farmacêutica veterinária	Comércio serviços
% VA	8,28	1,58	1,84	3,23	2,56	1,86	5,67	9,89	20	7,95	0,87	54,27
% PO	24,77	1,15	3,78	2,51	1,25	2,9	0,88	6,5	0,45	4,92	0,21	51,96
Prod. méd.	3,49	14,30	5,9	13,43	21,42	9,33	67,66	17,7	46,31	16,87	438	10,90
Markups	2,22	1,40	1,35	1,20	1,29	1,31	1,63	4,44	0,53	4,63	0,27	1,49
Rel. CI/Rm	4,29	5,30	5,20	11,5	6,99	4,11	7,92	1,80	18,68	0,25	26,30	0,79
EOB/Rm	6,31	1,88	1,28	1,51	1,36	13	3,50	5,46	2,5	1,22	2,8	0,72
% EOB/VA	0,85	0,55	0,40	0,44	0,41	0,40	0,53	0,68	0,41	0,41	0,50	0,38

Fonte: Cálculos da pesquisa com base em dados das Tabelas de Insumo-Produto do IBGE referentes ao ano de 1995.

Em relação às importações, o valor total de aproximadamente 37,6 bilhões de reais, em 1995, foi distribuído setorialmente entre 9% para o segmento primário tradicional, 42% para o segmento de indústrias intermediárias e 48% para o agregado de tecnologia. Desse modo, os setores de comércio e serviços e das indústrias intermediárias perfizeram aproximadamente 90% dos insumos importados. Agropecuária, extrativo mineral e têxteis, couros, vestuários e calçados participaram, respectivamente, com 3, 1 e 6% das importações totais realizadas no período. Considerando que os setores de extrativo mineral e da agropecuária caracterizam-se, em maior grau, por maior intensidade de uso de recursos naturais e ambientais, como representaram apenas 4% da pauta das importações intermediárias, pode-se concluir que as importações brasileiras, em geral, são fracas em termos da participação de recursos naturais.

Quanto ao segmento intermediário, os setores formados por indústrias químicas e petroquímicas representaram 21% da demanda de consumo intermediário importado, seguidos pelos setores agroindustrial (indústrias de processamento de alimentos) e siderurgia e metalurgia, com 7 e 6%, respectivamente. Na perspectiva ambiental, esses agregados são caracterizados potencialmente por uma base tecnológica intensiva na geração de poluentes do ar e da água, dada a natureza de seus insumos, aspecto que será posteriormente enfatizado e analisado quando da análise das repercussões ambientais de poluição na estrutura da economia, no item 3.4.3.1.

No segmento tecnológico, os setores de transportes e máquinas e de comércio e serviços representaram 20 e 16% das importações de insumos intermediários.

No que se refere às exportações, a seguinte distribuição, segundo os grandes segmentos observados, foi obtida: segmento primário, com 15%; segmento intermediário, com 49%; e segmento tecnológico, com 36%, representam o perfil das exportações brasileiras. No segmento primário, a capacidade de exportação foi inferior para a agropecuária, com 3%, enquanto os complexos de extrativo mineral, com 6%; e de têxteis e couros, com 6%, perfizeram o total das exportações primárias. Relativamente ao segmento

intermediário, deve-se destacar o complexo de alimentos processados, com 20%, e de siderurgia e metalurgia, com 14% das exportações totais no período e perfazendo 70% do valor total das exportações desse segmento. Os complexos formados pelo setor outras indústrias, no qual predomina o complexo de indústrias de construção civil, detêm apenas 1% das exportações totais, enquanto os setores de madeira e papel e química e petroquímica detêm 7 e 8%, respectivamente.

Por outro lado, o segmento de tecnologia detém uma capacidade total de 36% das exportações, entre os quais os complexos de transporte, máquinas e equipamentos, com 22%, e de comércio e serviços, com 9%, perfizeram 86% das exportações totais. Assim, em termos do desempenho das exportações, identificaram-se basicamente três complexos fundamentais na dinâmica de exportação: o de transportes, máquinas e equipamentos, o de alimentos processados e aquele formado pelos setores de siderurgia e metalurgia.

Se a dinâmica da economia brasileira for orientada para as exportações, tendo em conta a elevada escassez de capital e de poupança interna e a necessidade de equilíbrio permanente nas contas externas, a dinâmica exportadora desses três setores identificados e o próprio processo de crescimento econômico que está inerente a eles fazem pressupor, conforme a hipótese estabelecida neste estudo, uma capacidade potencial de poluição industrial, ou seja, que os benefícios advindos das remunerações devidas às exportações podem estar sendo descompensados pelos custos ambientais internos dessas atividades.

A remuneração setorial dos salários foi relevante nos agregados da tecnologia, principalmente nos complexos de comércio e serviços, que absorveram 81% das remunerações salariais totais. Os segmentos intermediário e primário contribuíram com 13 e 6% das remunerações totais, respectivamente, o que demonstra o grande poder de geração da renda fora dos setores intensivos no uso de recursos naturais. Os setores da agropecuária, de extrativo mineral e de têxteis e couros apresentaram fraco desempenho em termos da distribuição de renda proveniente da remuneração dos fatores de produção, contribuindo, respectivamente, com 3,4, 1,2 e 1,7% do valor total das remunerações salariais.

### 3.2. Análise dos multiplicadores setoriais de produção e renda

Nesta seção, a análise a ser desenvolvida diz respeito à utilização das informações contidas originalmente na matriz inversa de Leontief, sem considerar os parâmetros relativos à poluição. Os multiplicadores de produção setorial constituem a base principal da análise conduzida nesta seção. O Quadro 13 descreve os multiplicadores estruturais da economia brasileira.

Quadro 13 - Multiplicadores setoriais de produção, salários, importações e excedente operacional bruto

Agregados	Multiplicadores			
	Produto	Renda Tipo I	Importação	EOB
Agropecuária	1,6738	2,2980	3,4853	1,3993
Extrativo mineral	2,1294	2,8795	3,4729	2,2033
Têxteis, couros e vestuários	2,2910	2,6535	2,5590	2,8551
Alimentos processados	2,4358	3,8895	2,5741	5,4974
Siderurgia e metalurgia	2,4701	3,3898	2,2800	3,2691
Madeira, papel e celulose	2,1662	2,3658	2,1782	2,9068
Química e petroquímica	2,5688	3,3951	1,6012	2,1113
Outras indústrias	1,6984	2,3974	3,2861	1,3755
Materiais eletroeletrônicos	2,4835	2,8587	1,4466	2,1557
Transporte, máq. e equipamentos	1,9576	1,9590	1,6925	2,0710
Farmacêutica e perfumaria	1,8580	2,3800	1,4131	1,7367
Comércio e serviços	1,5012	1,3435	2,3672	1,4860

Fonte: Cálculos da pesquisa elaborados com base nos quadros de Insumo-Produto do IBGE.

EOB = Excedente operacional bruto.

Com relação aos multiplicadores de produção, os setores de química e petroquímica, com 2,57, materiais eletroeletrônicos, com 2,48, siderurgia e metalurgia, com 2,47, alimentos processados, com 2,44, e têxteis, couros, calçados e vestuários, com 2,29, foram os cinco complexos econômicos, em ordem decrescente, com os maiores efeitos de interdependência na economia, dados pelos respectivos valores dos multiplicadores. Políticas estimuladoras de componentes de demanda final nesses setores implicam maiores impactos em termos de encadeamento da produção à economia. No entanto, os três setores que apresentaram os menores índices multiplicadores no sistema foram os setores de comércio e serviços, com 1,50, a agropecuária, com 1,67, e o complexo de outras indústrias, com 1,70.

O multiplicador de renda do tipo I, considerado no Quadro 13, refere-se ao impacto unitário da demanda sobre as remunerações salariais, e, neste caso, considerou-se uma estrutura insumo-produto aberta para a componente de consumo das famílias em nível de demanda final, ou seja, o consumo das famílias foi tratado de forma exógena. Pode ser observado que os setores alimentos processados, com 3,89, química e petroquímica, com 3,40, e siderurgia e metalurgia, com 3,39, apresentaram os maiores multiplicadores de renda, em contraposição aos setores de transportes, máquinas e equipamentos e de comércio e serviços, apresentando ambos valores de multiplicadores inferiores a dois, revelando, portanto, uma capacidade menor de interdependência na economia.

Os complexos da agropecuária, de extrativo mineral e de outras indústrias apresentaram valores de multiplicadores acima de três unidades para a componente das importações, ao contrário do que ocorreu com o segmento de tecnologia (material eletroeletrônico, com 1,45, farmacêutica e veterinário, com 1,41, e transportes, máquinas e equipamentos, com 1,69). Quer dizer, embora tenha sido constatado que basicamente os segmentos econômicos da tecnologia e os formados pelos setores intermediários representem as maiores proporções das importações, o efeito multiplicador das importações mostra-se mais vantajoso nos setores anteriormente descritos.

Por outro lado, a remuneração de capital, dada pelo excedente operacional bruto, obteve os maiores índices de multiplicador nos complexos de processamento de alimentos, com 5,49, siderurgia e metalurgia, com 3,27, madeira, papel e celulose, com 2,90, têxteis, couros e vestuários, com 2,86, e extrativo mineral, com 2,20. Os menores efeitos multiplicadores foram registrados nos setores da agropecuária, de outras indústrias e de comércio e serviços, respectivamente, com multiplicadores de 1,40; 1,38; e 1,49.

### 3.3. Índices de ligações e campo de influência

Conforme a descrição anterior, os índices de ligações tentam avaliar a importância de determinados setores como demandantes e ofertantes de insumos aos demais setores, em termos relativos à situação média da economia. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 14 e ilustrados nas Figuras 10 e 11.

Quadro 14 - Índices de ligações para frente e para trás e setores-chave

Ordem	Complexos econômicos	Índices ligações para trás	Índices ligações para frente
1	Agropecuária	0,8270	1,1024
2	Extrativo mineral	1,5210	0,8625
3	Têxteis, couros e vestuários	1,1320	0,8029
4	Alimentos processados	1,2035	0,7761
5	Siderurgia e metalurgia	1,2204	1,2685
6	Madeira, papel e celulose	1,7030	0,7915
7	Química e petroquímica	1,1630	1,5363
8	Outras indústrias	0,8392	0,5916
9	Materiais eletroeletrônicos	1,1210	0,5998
10	Transporte, máquinas e equipamentos	0,9673	1,5730
11	Farmacêutica e perfumaria	0,9180	0,5048
12	Comércio e serviços	0,7417	2,1063

Fonte: Elaboração da pesquisa.

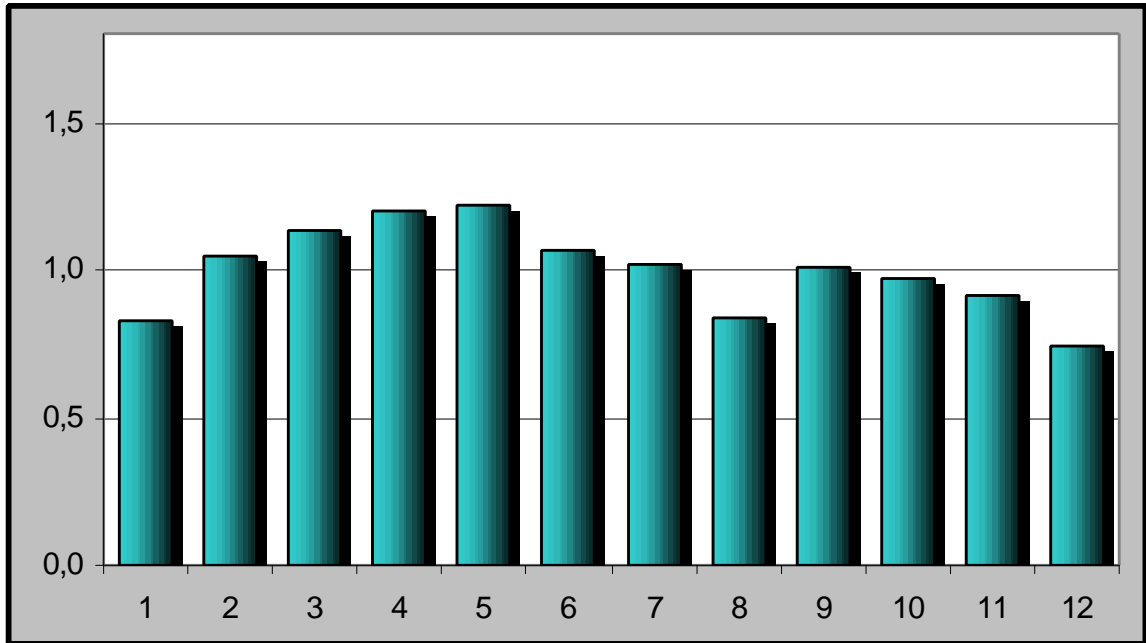


Figura 10 - Índice de ligações para trás. Brasil - 1995.

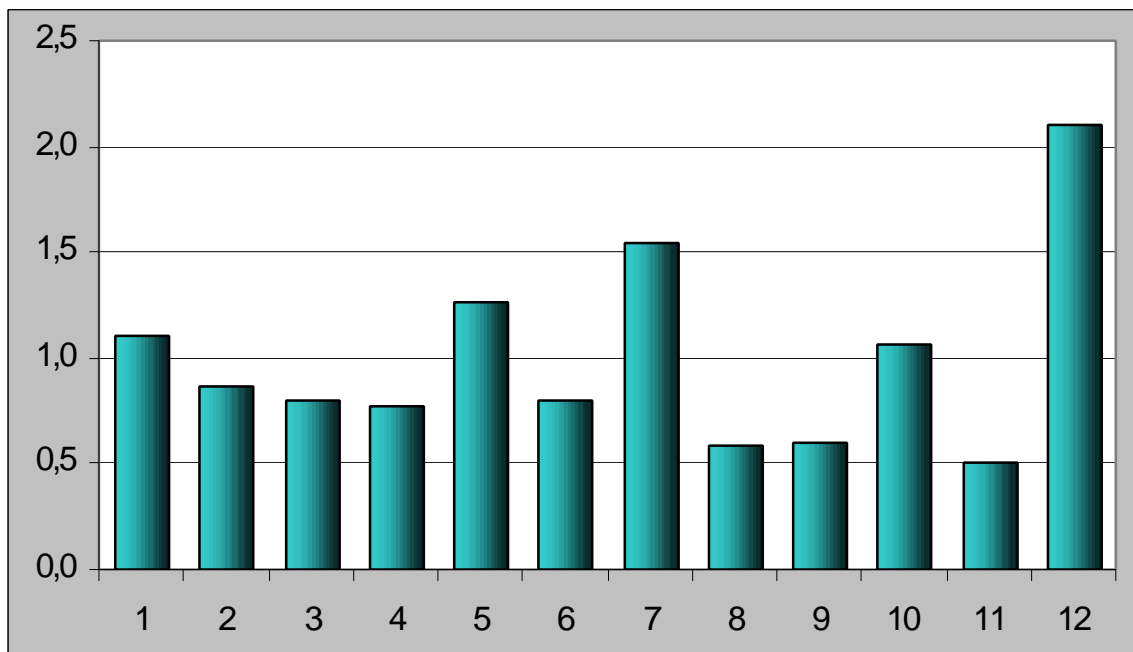


Figura 11 - Índice de ligações para frente. Brasil - 1995.

Dos 12 complexos setoriais considerados, sete deles apresentaram índice de ligações para trás superiores à unidade. Destes, os cinco que apresentaram maiores índices de ligações para trás foram os setores da siderurgia e metalurgia (setor 5), alimentos processados (setor 4), têxteis couros e vestuários (setor 3), madeira, papel e celulose (setor 6) e extrativo mineral (setor 2), respectivamente com 1,22; 1,20; 1,13; 1,7; e 1,5. Assim, estes cinco setores discriminados constituem o grupo dos maiores consumidores de insumos intermediários e determinam a dinâmica produtiva da atividade econômica a montante. Embora de natureza puramente econômica, e partindo da pressuposição inicial da existência de relação estreita entre a dinâmica econômica e o meio ambiente, em termos do potencial de geração de poluição e, conseqüentemente, com relação aos custos de controle e ao processo de regulação ambiental, a identificação e a caracterização destes setores vão permitir o estudo comparativo do desempenho setorial em termos da repercussão ambiental da estrutura da economia brasileira.

Olhando pelo lado dos setores que apresentaram os menores índices de ligações para trás, ou seja, aqueles de menor capacidade de demanda de bens e serviços dos outros agregados da economia, observa-se, na Figura 10, que os setores de comércio e serviços (setor 12), o de outras indústrias (setor 8) e o da agropecuária (setor 1) apresentaram, respectivamente, 0,74; 0,83; e 0,83 de índices de ligações para trás.

Os índices de ligações para frente tentam medir a importância de um dado setor em termos de fornecimento de insumos aos outros da economia. Os resultados obtidos são também apresentados no Quadro 14. Considerando apenas os cinco setores de maiores índices de ligações para frente, observa-se que exatamente cinco complexos setoriais - de comércio e serviços (setor 12), com 2,11; química e petroquímica (setor 7), com 1,54; siderurgia e metalurgia (setor 5), com 1,27; agropecuária (setor 1), com 1,10; e transportes, máquinas e equipamentos (setor 10), com 1,57 - foram aqueles mais dinâmicos em termos da capacidade de oferta de insumos. Nesse sentido, uma vez que os complexos foram agregados de forma a atender aos objetivos da dinâmica de geração de poluentes industriais, a identificação e a caracterização destes mesmos como de



maior encadeamento para frente confirma, dessa forma, a identificação do potencial de geração de poluentes e dá maior consistência à proposta de agregação idealizada neste estudo.

Analisando do outro extremo, isto é, os cinco setores de menor índice de ligação para frente, observa-se também, no Quadro 14, que os setores de farmacêutica e veterinária (setor 11), materiais eletroeletrônicos (setor 9), outras indústrias (setor 8), madeira, papel e celulose (setor 6) e alimentos processados (setor 4) apresentaram o menor poder de encadeamento para frente.

Utilizando-se dos índices de ligação para frente e para trás para definir os setores-chave dentro da economia, tem-se que, dentro de um conceito mais restrito, os setores-chave seriam aqueles que apresentassem valores dos índices de ligações para frente e para trás maiores que a unidade. Na Figura 12, pode-se observar que apenas os complexos setoriais de siderurgia e metalurgia (setor 5) e química e petroquímica (setor 7) caracterizaram-se de setores-chave na economia brasileira. GUILHOTO e PICERNO (1995), ao usarem dados da estrutura da economia brasileira a preço de consumidor, identificaram como único setor-chave o complexo da metalurgia. Entretanto, utilizando a matriz a preço básico, identificaram quatro setores-chave para a economia brasileira, formados pelos complexos da metalurgia, papel e celulose, têxtil e alimentos processados.

Apesar de os índices de ligações avaliarem a importância de um dado setor em termos dos seus impactos no sistema como um todo, é difícil visualizar os principais elos dentro da economia, ou seja, quais os coeficientes tecnológicos que, alterados, teriam maior impacto no sistema (GUILHOTO et al., 1994).

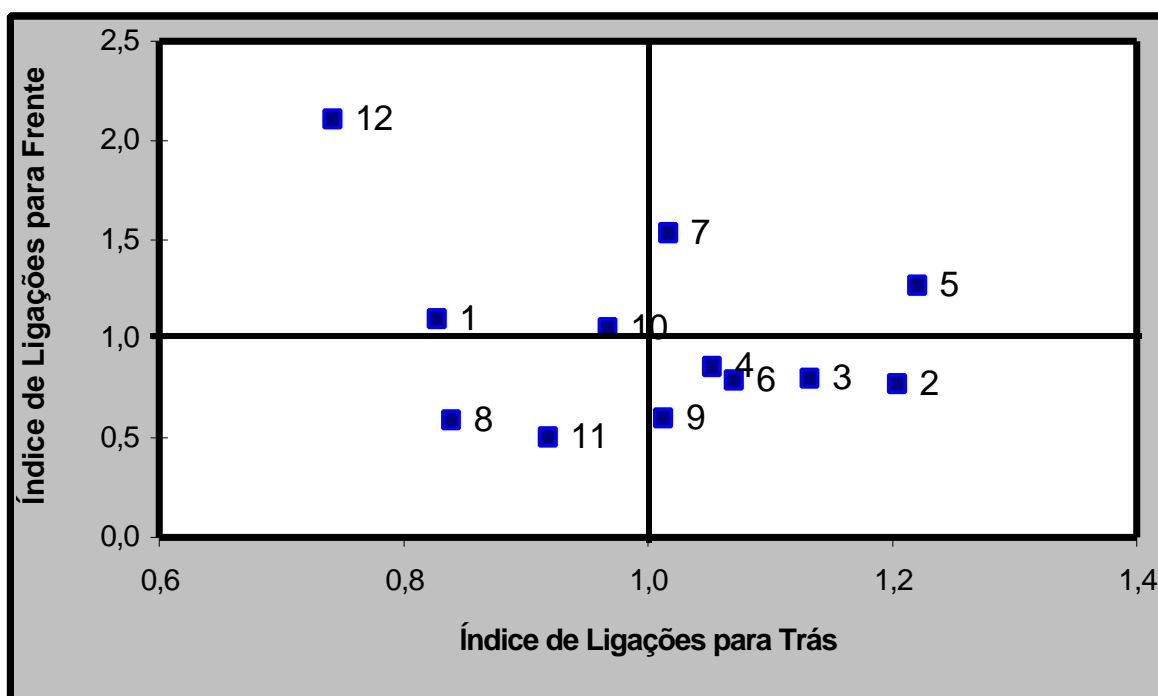


Figura 12 - Identificação de setores-chave na economia brasileira - 1995.

Em relação aos resultados obtidos para o campo de influência, como pode ser observado na Figura 13, os setores de siderurgia e metalurgia (setor 5), têxteis, couros e vestuários e calçados (setor 3), química e petroquímica (setor 7) e comércio e serviços (setor 12) apresentaram os maiores valores absolutos associados ao campo de influência, e esse perfil reflete as medidas dos principais elos da economia em termos de mudança tecnológica. Os setores que apresentaram simultaneamente os valores dos índices de ligações para trás e para frente maiores do que a unidade foram também aqueles que apresentaram coeficientes com maiores valores de campo de influência.

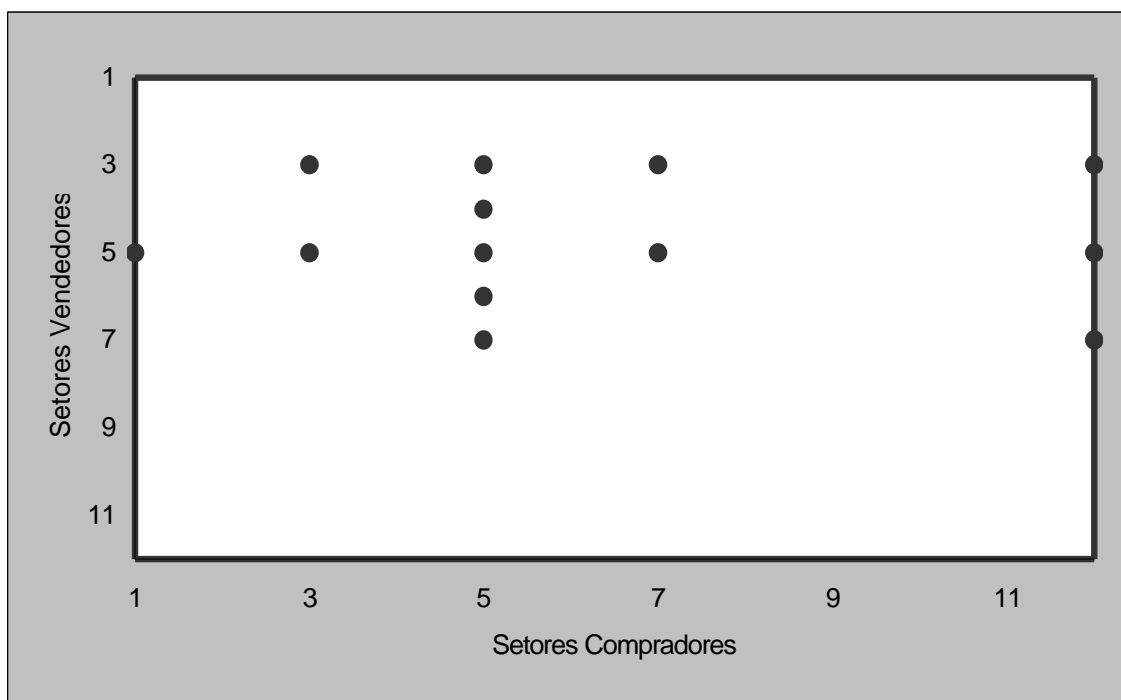


Figura 13 - Coeficientes setoriais com maior campo de influência na economia brasileira.

### 3.4. Impactos ambientais da poluição industrial na estrutura da economia brasileira

Como foi já referido, embora o modelo analítico sugerido por Leontief e adotado neste estudo para analisar as repercussões ambientais de componentes da poluição industrial na economia brasileira apresente limitações e seja passível de críticas, ele permite aproximações importantes no que se refere aos problemas reais da análise de poluição.

Contudo, para a implementação do modelo, tornou-se necessário proceder-se à estimativa quantitativa dos diferentes componentes da poluição industrial do ar, da água e de outras substâncias tóxicas importantes, conforme a descrição metodológica baseada nos procedimentos propostos pelo “Working Team of World Bank”, sobre como estimar a quantidade de poluição e os custos com base nos coeficientes do IPPS.

### **3.4.1. Estimativa quantitativa de geração da poluição industrial no Brasil**

Levantamentos sistemáticos das emissões de diferentes tipos de poluentes industriais mostram-se ainda precários no Brasil, embora algumas agências ambientais em níveis estadual e nacional venham desenvolvendo esforços no sentido da construção de uma base de dados operacional para a análise das repercussões ambientais no âmbito de políticas públicas específicas. Desse modo, estimativas do nível das emissões brasileiras foram realizadas com base em dados secundários indiretos do sistema IPPS do Banco Mundial, que associa a emissão de poluentes ao valor da produção, ao valor adicionado e ao nível de emprego de cada atividade industrial, o que caracteriza a intensidade de poluição.

No Quadro 15 são apresentadas estimativas das emissões de poluição causadas por tipos de poluentes, considerando dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), componentes orgânicos voláteis (VOC), partículas finas (PF), partículas totais em suspensão (PTS), demanda bioquímica de oxigênio (BDO), sólidos totais em suspensão (TSS), substâncias tóxicas e metais tóxicos totais. Essas estimativas foram realizadas tendo-se como base dados de Contas Nacionais do IBGE sobre o valor da produção industrial brasileira referente ao período de 1995. Para isso, como a intensidade<sup>7</sup> de poluição que constitui a base do sistema IPPS refere-se ao ano de 1987, para a economia dos Estados Unidos da América, os valores relativos à produção bruta brasileira foram convertidos para aquele ano-base, utilizando-se do deflator implícito do PIB brasileiro e da taxa média cambial no período. Embora as estruturas de preço e de quantidades produzidas fossem diferentes, o que mascararia os resultados estimados, a recomendação técnica prevaiente sobre o uso de dados de intensidade de poluição do IPPS é de que estes indicadores podem ser aplicados em outras economias, uma vez que se considera pouco relevante as diferenças na tecnologia de produção e da composição de

---

<sup>7</sup> A intensidade de poluição consiste da estimativa setorial de poluição por unidade de produção, ou a poluição por unidade de atividade industrial.

produto dentro do período e que vieses que possam ocorrer no processo de conversão não alterariam significativamente os resultados esperados.

Os índices do sistema IPPS são apresentados em três classes de intensidade, designadas "Upper Bound", "Lower Bound" e "Interquartile Mean"; destas, "Upper Bound" são superestimativas e "Lower Bound" são medidas subestimadas e mostram-se mais conservadoras. Entretanto, em ambas, admite-se a existência de "Outliers", o que, como alternativa, considera-se também a média "Interquartile", que elimina a influência do viés e fornece médias menos tendenciosas. Neste estudo foram consideradas aquelas estatísticas relativas à "upper bound data", na hipótese de que nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a economia tenda a ser mais intensiva nas emissões. A lógica de suporte para esta hipótese parte das pressuposições inerentes ao próprio IPPS, de que a regulação ambiental efetiva é aparentemente renda-elástica, de que a poluição setorial reage bem a programas de controle e de que os estudos demonstram que a demanda setorial de trabalho é relativamente salário-elástico. Assim, a poluição setorial e a demanda setorial de trabalho irão variar positivamente no sentido das economias mais ricas, de maiores salários e maior rigor ambiental, para economias mais pobres, de baixos salários e menor rigor no controle ambiental.

Antes de se proceder à discussão dos resultados obtidos, cabem ainda algumas considerações finais. Pode ser observado que, da estrutura de agregação setorial adotada, os setores da agropecuária, de extrativos minerais e de comércio e serviços não apresentam informações sobre os níveis de lançamentos de poluentes industriais. Isso se deve ao fato de os coeficientes técnicos sobre a intensidade das emissões do sistema IPPS disporem apenas de indicadores baseados no International Standard Industrial Classification, ISIC, faltando, portanto, informações relativas a esses três complexos da economia. De qualquer maneira, dadas as peculiaridades de cada um destes setores, eles não se revelam importantes em termos das repercussões ambientais resultantes de emissões industriais, embora se reconheça a importância deles em termos de impacto ambiental.

Quadro 15 - Emissões setoriais totais estimadas para diferentes componentes de poluição industrial, em toneladas

Setores	SO2	NO2	CO	VOC	PF	PTS	BDO	TSS	Poluente tóxico	Metais tóxicos
Agropecuária	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Extrativo mineral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Têxteis, couros, vestuários e calçados	7.176,0	4.575,0	1.445,0	11.450,0	11,0	2.625,0	896,0	1.801,0	26.467,0	1.293,0
Alimentos processados	39.459,0	25.472,0	8.214,0	28.166,0	11.10,0	27.865,0	26.159,0	24.735,0	4.315,0	82,0
Siderurgia e metalurgia	167.139,0	31.911,0	135.370,0	17.988,0	20.22,0	36.010,0	8.431,0	663.760,0	62.853,0	32.322,0
Madeira, papel, celulose e gráfica	28.494,0	18.158,0	37.487,0	18.632,0	3.259,0	12.663,0	13.259,0	44.470,0	12.106,0	81,0
Química e petroquímica	133.016,0	101.542,0	169.935,0	82.792,0	5.838,0	31.147,0	10.618,0	42.224,0	136.741,0	4.889,0
Outras indústrias	389.650,0	278.430,0	46.637,0	24.250,0	321.033,0	249.947,0	138,0	144.924,0	16.715,0	2.740,0
Materiais eletroeletrônicos	1.362,0	2.520,0	2.767,0	6.799,0	572,0	824,0	59,0	84,0	12.260,0	1.040,0
Transportes, máquinas e equipamentos	33.962,0	13.202,0	12.090,0	37.398,0	822,0	6.922,0	38,0	563,0	19.832,0	1.955,0
Farmacêutica e veterinário	3.021,0	1.762,0	377,0	1.434,0	270,0	788,0	225,0	20.310,0	6.125,0	72,0
Total por componente	803.280,0	477.572,0	414.323,0	228.910,0	363.238,0	368.791,0	59.821,0	942.872,0	297.413,0	44.474,0

Fonte: Dados da pesquisa, elaborados a partir dos índices de intensidade de poluição do IPPS obtidos da base de dados do Banco Mundial (HETTIGE et al., 1994).

No caso da agropecuária, os efeitos em termos de poluentes tóxicos e de lançamento de resíduos sobre os rios, sobre o ar e sobre a terra, resultantes da utilização intensiva da tecnologia mecânica e bioquímica em geral, têm as suas origens principalmente entre os componentes do complexo agroindustrial a montante, que são tradicionais fornecedores de insumos à agropecuária. Neste caso específico, a contabilização dos componentes da poluição decorre das atividades produtivas originariamente dos setores de defensivos, fármaco-veterinária e de adubos e fertilizantes. Por outro lado, a pecuária moderna e a avicultura tornaram-se também importantes fontes de poluição. Dejetos e substâncias químicas componentes de rações e resíduos orgânicos são lançados nos efluentes sem qualquer tratamento, gerando importantes fontes de metano e CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Entretanto, assume-se uma relativa subestimação de quantidades poluentes emitidas pelo setor agropecuário, já que, em termos de valor da produção, o complexo agropecuário detém percentual significativo de uso de componentes de poluição de origem industrial.

Quanto ao agregado extrativo mineral, o processo de contabilização mostra-se mais complexo, tendo em conta a elevada capacidade de autoconsumo e de produção de insumos intermediários aos outros setores, cuja utilização de processos tecnológicos "sujos" é variável. Em todo caso, tal como a agropecuária manifesta seus impactos ambientais mais em termos físicos, com a expansão da fronteira e a intensidade de uso dos solos e da água, temáticas que se situam relativamente distantes da concepção desta análise, o complexo de extrativo mineral demonstra também grande impacto ambiental em termos físicos, pela utilização intensiva no uso dos recursos naturais e degradação do meio ambiente. Por falta de dados, não se considerou também a relação entre o valor da produção do setor extrativo mineral e a intensidade setorial de poluição industrial, o que, uma vez mais, subestima a importância deste setor em termos da emissão de poluentes industriais considerados. Entretanto, os resultados da análise da estrutura produtiva desenvolvida na primeira parte demonstraram que o segmento primário, caracterizado pelos complexos agropecuário, extrativo mineral e

têxteis, couros, vestuários e calçados, apresentou indicadores de desempenho inferiores aos segmentos intermediário e tecnológico, o que caracterizou, em parte, a economia brasileira como de relativamente baixa intensidade de utilização dos recursos naturais, já que a composição do segmento primário é formada por setores demandantes de recursos naturais. Finalmente, os setores de comércio e serviços, embora apresentassem componentes subsetoriais importantes no que se refere aos dejetos tóxicos, não se mostram importantes dentro do padrão de classificação industrial utilizado na análise.

Desse modo, os resultados referentes às emissões por categoria de poluentes distribuem-se em somente nove complexos setoriais e se referem basicamente aos poluentes do ar e da água, além de resíduos e metais tóxicos emitidos. Assim, as emissões de poluentes ao ar, destacadamente aquelas à base de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), foram maiores nos seguintes agregados: outras indústrias, com 389.650 toneladas; siderurgia e metalurgia, com 167.139 toneladas; e química e petroquímica, com 133.016 toneladas. Dentre os nove setores agregados, o setor de material eletroeletrônico foi o que apresentou a menor quantidade de emissões de  $\text{SO}_2$ , com 1.362 toneladas. Deve ser notado, da análise anterior sobre a estrutura produtiva, que foram justamente os setores de siderurgia e metalurgia (setor 5) e química e metalurgia (setor 7) aqueles identificados como os setores-chave da economia brasileira. Isso quer dizer que, não obstante o complexo de outras indústrias, formado de indústrias diversas, e o setor de construção civil não apresentassem grande dinamismo dentro da estrutura de agregação idealizada, a economia brasileira demonstra maior dinâmica nos setores caracterizados por emissores potenciais de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ).

Estudos conduzidos por SEROA DA MOTTA et al. (1993) sobre a poluição industrial do ar, envolvendo 13 estados brasileiros, indicam os complexos de produtos alimentares, química, metalurgia e minerais não-metálicos como aqueles responsáveis por 91,4% das emissões potenciais de  $\text{SO}_2$  e sem qualquer programa de redução.

Outro importante poluente do ar são os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), cujos maiores níveis de emissões estimados foram localizados nos complexos de outras



indústrias (setor 8), química e petroquímica (setor 7) e siderurgia e metalurgia (setor 5), com, respectivamente, 278.430, 101.542 e 31.911 toneladas de poluentes, ou seja, em conjunto, representaram 86,25% dos lançamentos de NO<sub>2</sub> para o ar. Em relação aos compostos orgânicos voláteis, os setores de química e petroquímica, transportes e máquinas e de alimentos processados apresentaram as maiores concentrações deste poluente, com aproximadamente 36, 16 e 12%, respectivamente. No que se refere às emissões dos óxidos de carbono, os setores de química e petroquímica e de siderurgia e metalurgia são os maiores poluidores deste componente de poluição, detendo, respectivamente, 41 e 32,7% dos lançamentos totais, tendo sido observado ainda o mesmo comportamento em relação às emissões de partículas finas. Pesquisas desenvolvidas por SEROA DA MOTTA et al. (1993) demonstram também que as emissões de monóxido de carbono (CO) são mais concentradas no setor de metalurgia, com aproximadamente 95% deste poluente. Em relação à emissão de poluentes tóxicos, como metais e outras partículas, os mesmos setores se mostraram relevantes.

Estes resultados constituem indicadores importantes em termos da adoção e do desenvolvimento de políticas regulatórias e de controle de poluentes do ar no âmbito dos programas de desenvolvimento industrial brasileiro.

Quanto aos poluentes da água, a predominância que se registrou em torno dos setores de química e petroquímica e siderurgia e metalurgia quanto à concentração de poluentes do ar é alterada para um novo perfil de distribuição. A estimativa de cargas orgânicas, dada pela demanda bioquímica de oxigênio (BDO), mostra que os setores de alimentos processados, com 43%, madeira, mobiliário, papel e celulose, com 22%, e química e petroquímica, com 17,7%, foram as maiores fontes de emissões para a água. Em relação aos sólidos totais em suspensão na água (TSS), os setores de siderurgia, com 70,4%, outras indústrias, com 15,4%, e madeira, mobiliário, papel e celulose, com 4,7%, constituíram as maiores fontes de lançamento, absorvendo 90,5% das emissões totais deste componente de poluição da água. As Figuras 14 a 23 ilustram os

diferentes perfis para as emissões estimadas nos diferentes tipos de poluentes, no processo de produção industrial no Brasil.

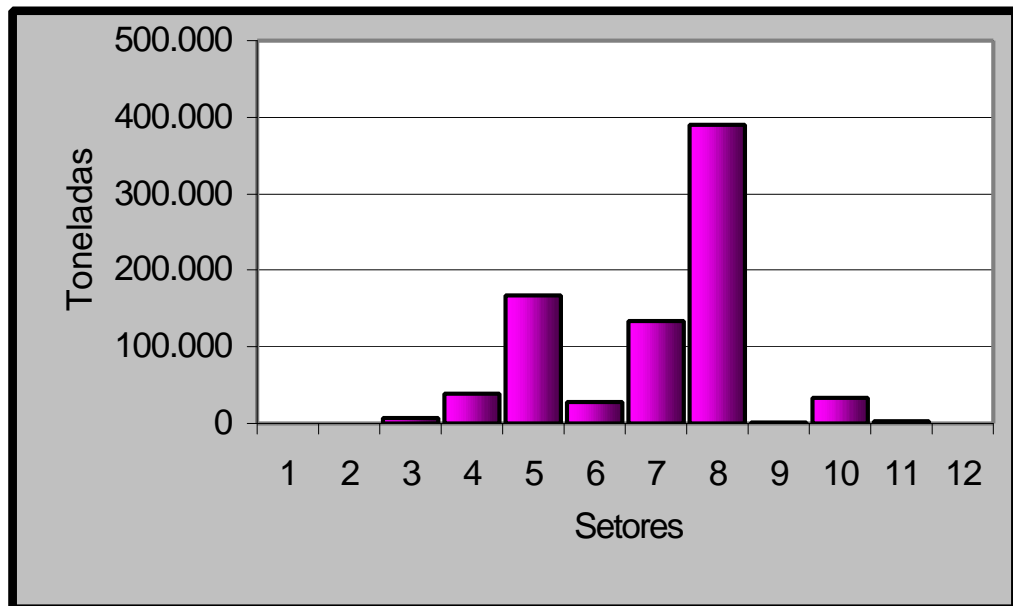


Figura 14 - Perfil da emissão setorial de SO<sub>2</sub> na indústria brasileira.

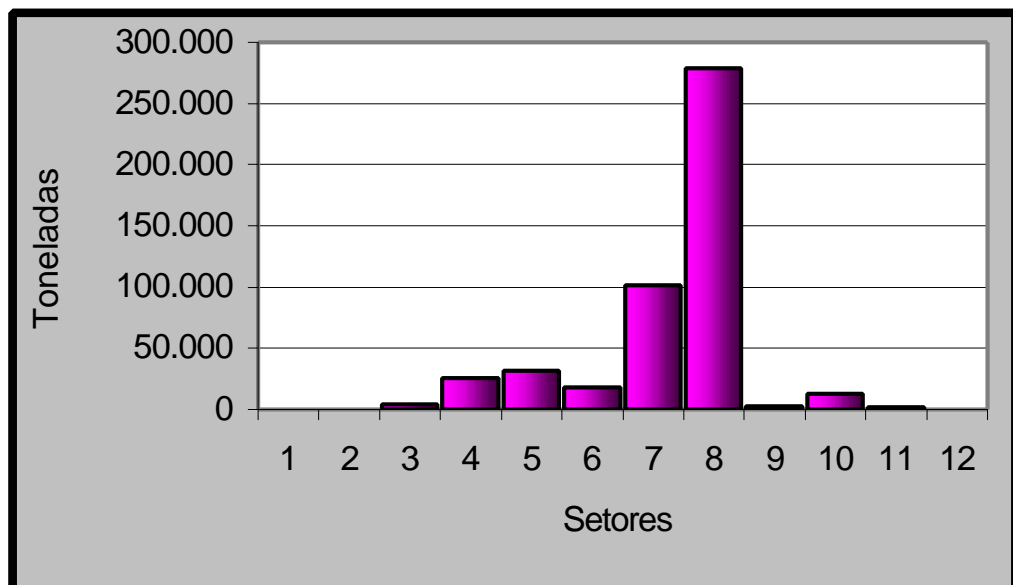


Figura 15 - Perfil de emissão setorial de NO<sub>2</sub> na indústria brasileira.



Figura 16 - Perfil da emissão setorial de poluente CO na indústria brasileira.

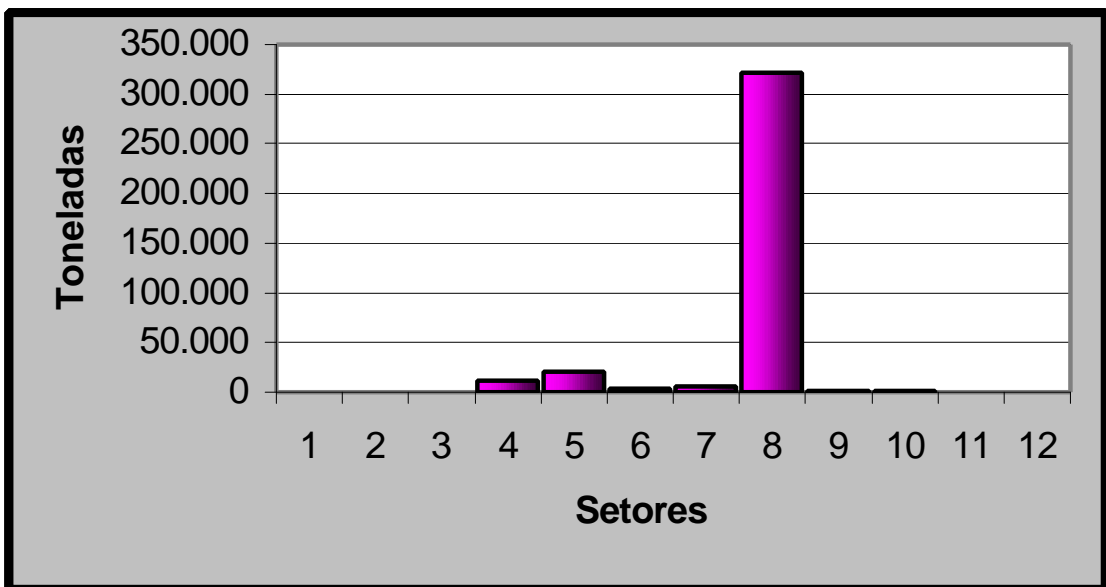


Figura 17 - Perfil da emissão setorial de poluente COV na indústria brasileira.

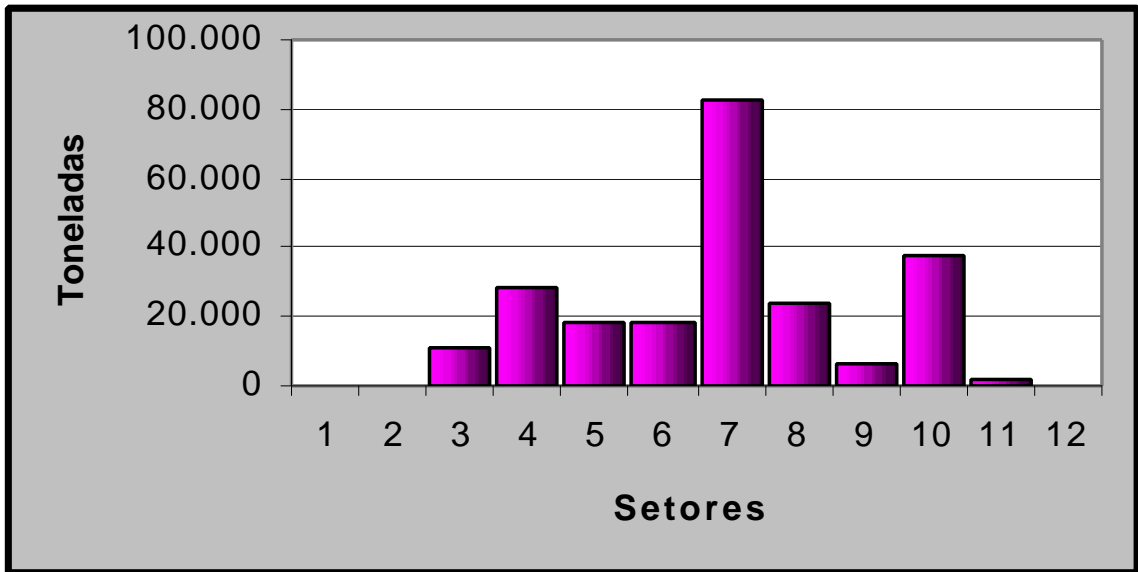


Figura 18 - Perfil da emissão setorial de poluente PF na indústria brasileira.

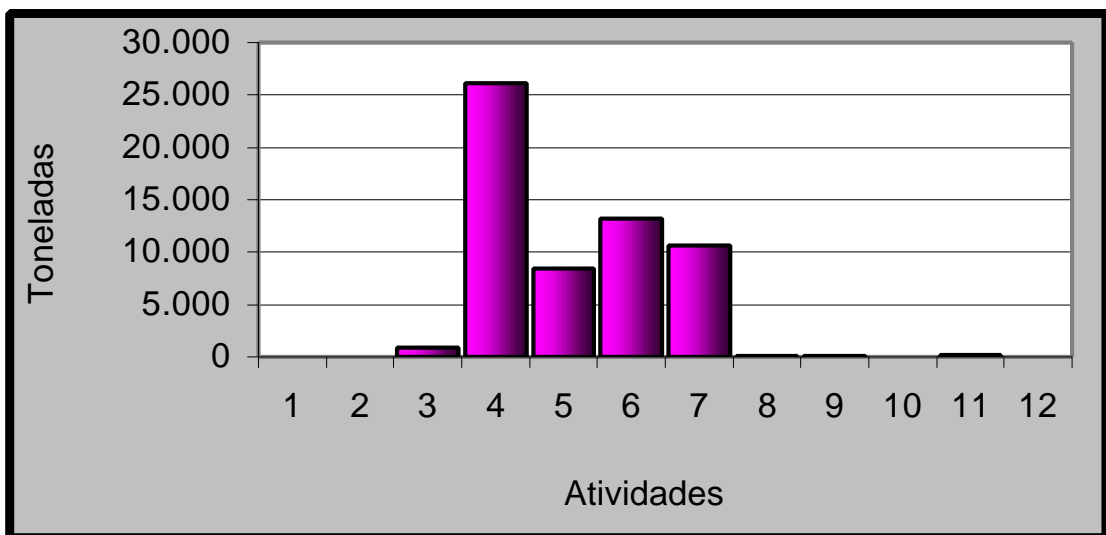


Figura 19 - Perfil da emissão setorial de poluente BOD na indústria brasileira.

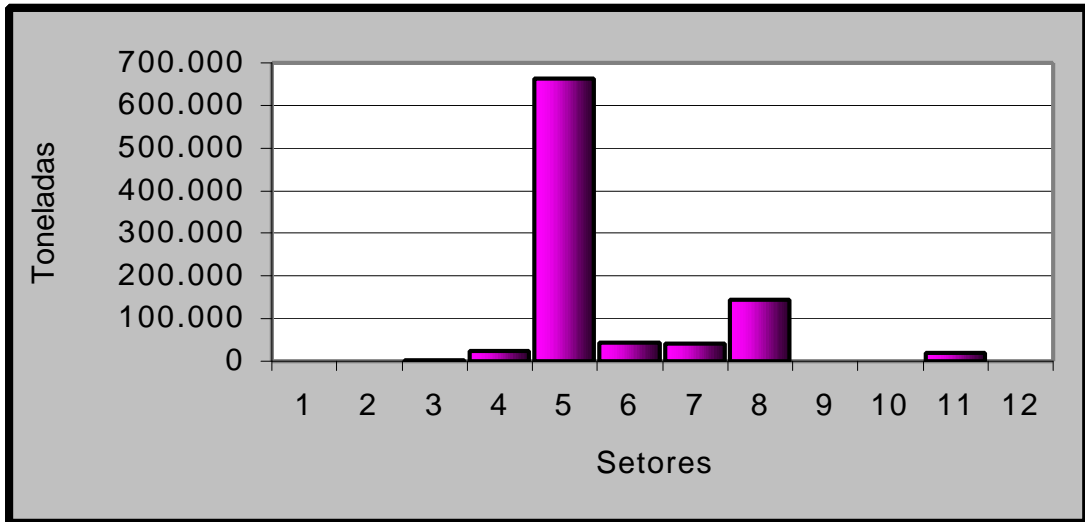


Figura 20 - Perfil da emissão setorial de poluente TSS na indústria brasileira.

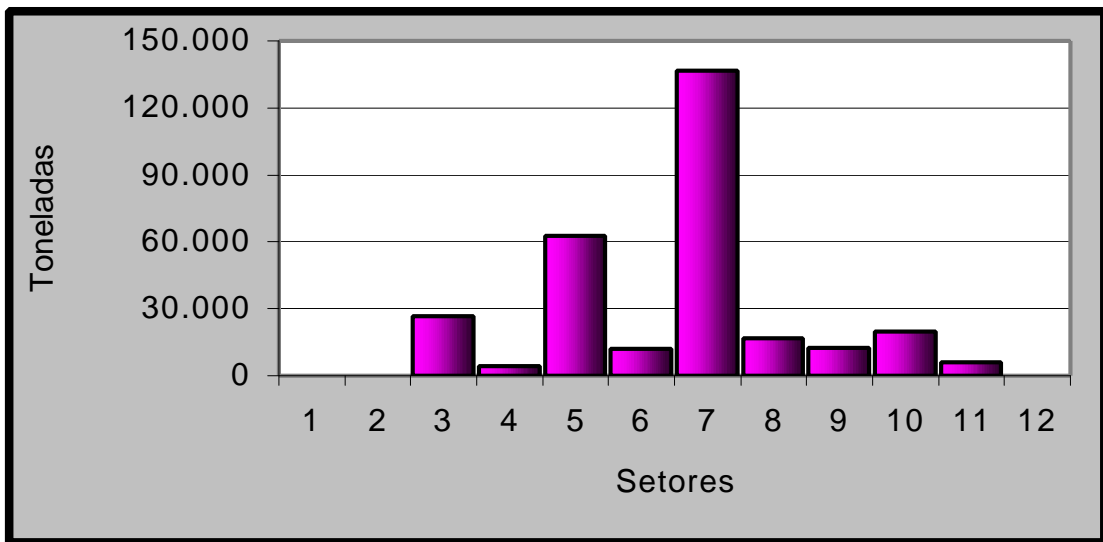


Figura 21 - Perfil da emissão setorial de poluentes tóxicos na indústria brasileira.

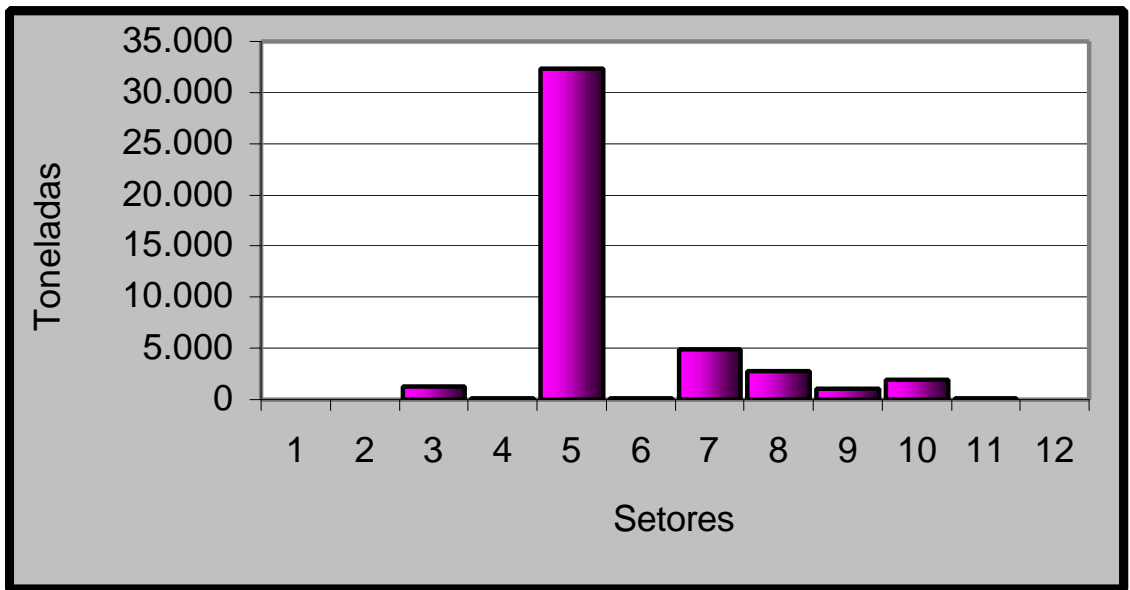


Figura 22 - Perfil da emissão setorial de metais tóxicos na indústria brasileira.

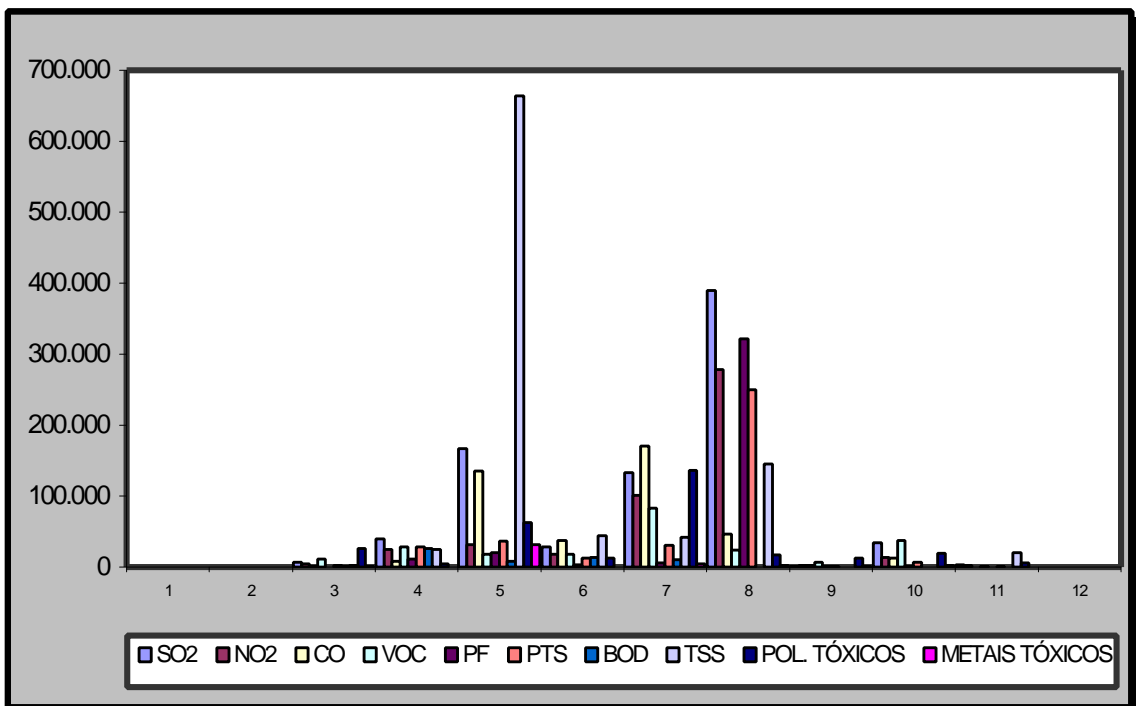


Figura 23 - Perfil da emissão total de poluentes industriais no Brasil em 1995.

A Figura 23 ilustra um quadro-resumo do perfil das emissões totais estimadas para a indústria brasileira. Deve ser observado, porém, que nesta figura, a distribuição total das concentrações de poluição localiza-se basicamente nos setores 5, 7 e 8, respectivamente a siderurgia e metalurgia, a química e petroquímica e outras indústrias.

### **3.4.2. Estimativa dos custos de controle da poluição de origem industrial no Brasil**

As estimativas dos custos de controle da poluição industrial é um outro importante indicador para a análise da repercussão ambiental da estrutura produtiva relativamente à identificação de setores intensivos na poluição e que orientem na adoção de estratégias que permitam a formalização das bases para a concepção e o planejamento de medidas de políticas de regulação e controle do setor público. O procedimento de cálculo baseado também nos índices de custo médio de controle do sistema IPPS desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa do Banco Mundial permitiu as estimativas de custo total por setor da atividade econômica e por tipo de poluente, conforme se apresenta no Quadro 16.

Em termos de partículas totais emitidas, o aglomerado de outras indústrias, cujos setores de construção civil e de cimento são partes integrantes, detém aproximadamente 87% dos custos totais, enquanto os setores de siderurgia e metalurgia, com 7,7%, e de alimentos processados, com 2,4%, formam a maior parte dos custos estimados, ressaltando-se que os custos de controle referem-se às atividades de eliminação ou de redução de poluentes dentro dos limites de tolerabilidade ambiental. Quanto ao dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), de um total de 1,1 bilhão de dólares para a sua eliminação total, o setor de outras indústrias detém 69,6% dos custos de controle estimados, seguidos dos setores de siderurgia e metalurgia, com 18,5%, e química e petroquímica, com 5,2%. O custo total de controle das emissões de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) se distribuiu na proporção seguinte: 79% para outras indústrias, 8,2% para alimentos processados e 3,5% para o setor de material eletrônico. Os índices de custo médio por tonelada

para o tratamento das emissões de NO<sub>2</sub> na indústria de processamento de alimentos revelam-se superiores aos observados no setor de siderurgia e metalurgia, tendo em conta os níveis das emissões deste poluente que foram registrados, em relação ao setor de processamento de alimentos.

No que se refere aos compostos orgânicos voláteis (COV), de um total de 452,3 milhões de dólares estimados, o setor de alimentos processados absorveu 180,5 milhões de dólares, o equivalente a 40% dessa parcela de custo total. Em seguida, os setores de química e petroquímica, com 178,5 milhões, o equivalente a 39,5%, e transportes, máquinas e equipamentos, com 38,02 milhões (8,4%), representaram a maior proporção do custo de controle dessas emissões. O setor de farmacêutica e veterinária participa com a menor parcela de custo para a eliminação dos compostos orgânicos voláteis. A Figura 24 ilustra a estrutura de custo total de controle da poluição industrial estimado por tipos de poluentes para o setor industrial brasileiro.

Para a eliminação total dos elementos tóxicos emitidos, foi estimado o custo de aproximadamente 1,0 bilhão de dólares, distribuídos basicamente entre a siderurgia e metalurgia, com 538,08 milhões, os têxteis, couros, vestuários e calçados, com 236,7 milhões, transportes, máquinas e equipamentos, com 78,2 milhões, e madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfica, com 53,0 milhões de dólares. Finalmente, no controle total de poluentes da água, que é dado basicamente pela demanda bioquímica de oxigênio e pelos sólidos totais em suspensão, foi estimado o valor total de aproximadamente 142,9 milhões. Os setores de siderurgia e metalurgia, outras indústrias, química e petroquímica, alimentos processados, madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfica e farmacêutica e veterinária absorvem a maior parcela de custo estimado para a eliminação completa de poluentes da água. As ilustrações das estruturas dos custos estimados e a sua distribuição setorial são apresentadas nas Figuras 25 a 30.



Quadro 16 - Custos setoriais estimados em dólares por tonelada, para diferentes componentes de poluição industrial da água e do ar

Setores	Partículas totais	SO2	NO2	COV	Poluentes tóxicos	DBO+TSS (água)
Têxteis, couros, vestuários e calçados	37.100,3	2.263.191,2	11.446.227,0	8.602.123,3	236.670.578,8	607.785,3
Alimentos processados	1.434.693,4	18.680.810,3	42.212.651,5	180.494.513,0	37.016.455,0	5.675.857,4
Siderurgia e metalurgia	4.561.868,9	200.155.485,7	4.416.818,4	17.324.150,6	538.082.660,6	77.783.015,2
Madeira, papel, celulose e gráfica	163.716,1	14.845.866,2	2.042.790,0	6.209.089,9	53.005.736,6	5.655.148,1
Química e petroquímica	747.550,6	56.677.846,9	17.450.140,5	178.504.811,7	34.672.096,3	21.431.612,0
Outras indústrias	51.647.010,7	752.036.177,1	406.516.129,5	16.632.186,6	5.561.611,6	25.860.867,5
Materiais eletroeletrônicos	355.779,0	8.701.061,4	17.984.171,4	6.267.337,0	19.695.272,1	298.790,2
Transportes, máquinas e equipamentos	296.572,8	26.274.675,6	9.667.912,7	38.016.986,4	78.235.333,5	217.044,1
Farmacêutica e veterinária	34.200,8	1.436.483,7	482.292,6	216.598,6	406.119,5	5.325.344,7
<b>Total</b>	<b>59.278.492,6</b>	<b>1.081.071.598</b>	<b>512.219.133,6</b>	<b>452.267.797,0</b>	<b>1.003.345.864,0</b>	<b>142.855.464,6</b>

Fonte: Cálculos da pesquisa elaborados a partir da base de dados do Banco Mundial (HETTIGE et al., 1994).

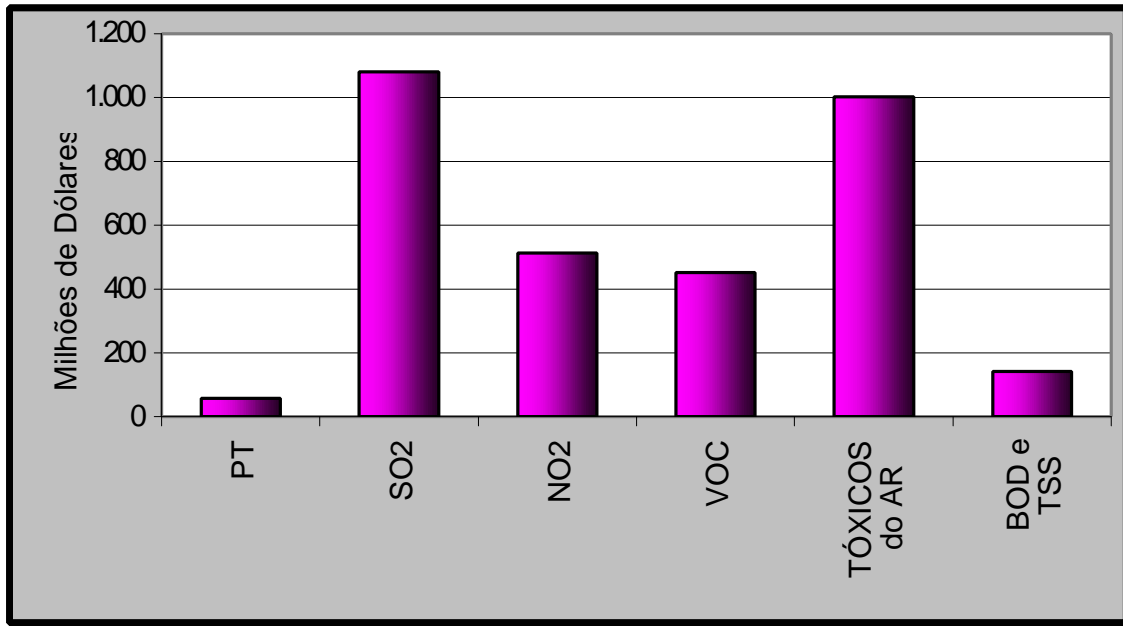


Figura 24 - Estrutura de custo total de controle da poluição industrial, por tipo de poluentes, no Brasil, em 1995.

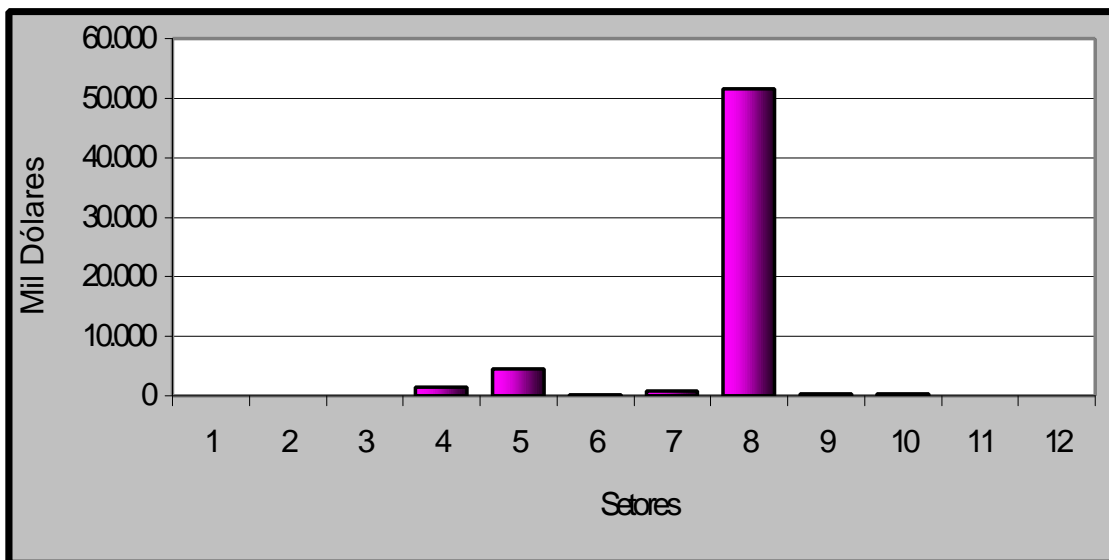


Figura 25 - Perfil do custo total de controle de emissões de partículas (PT) na estrutura da economia brasileira.

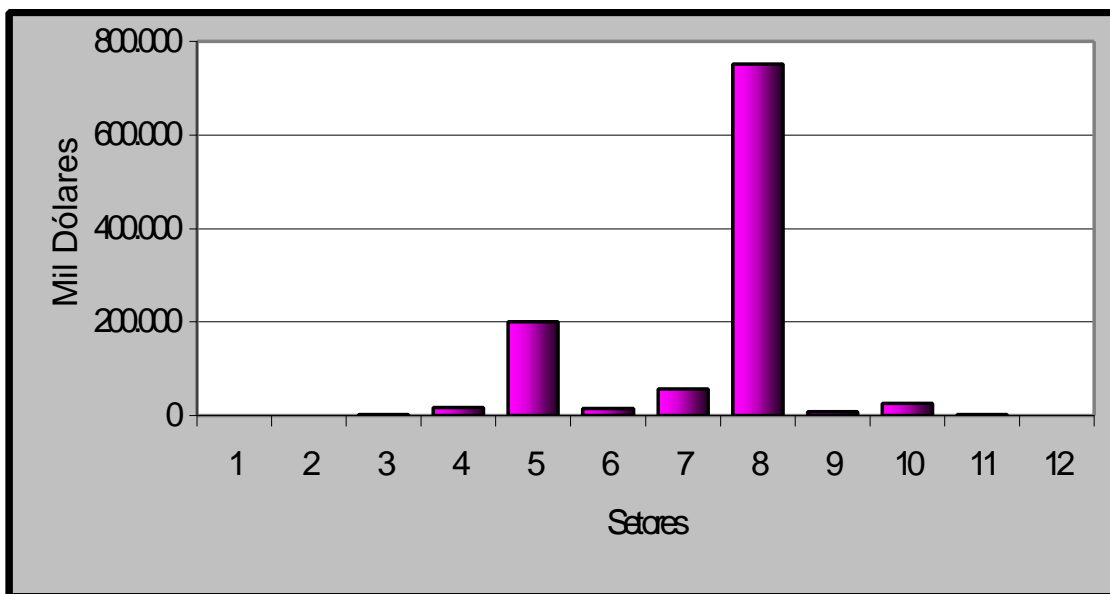


Figura 26 - Perfil do custo total de controle de SO<sub>2</sub> na estrutura da economia brasileira.

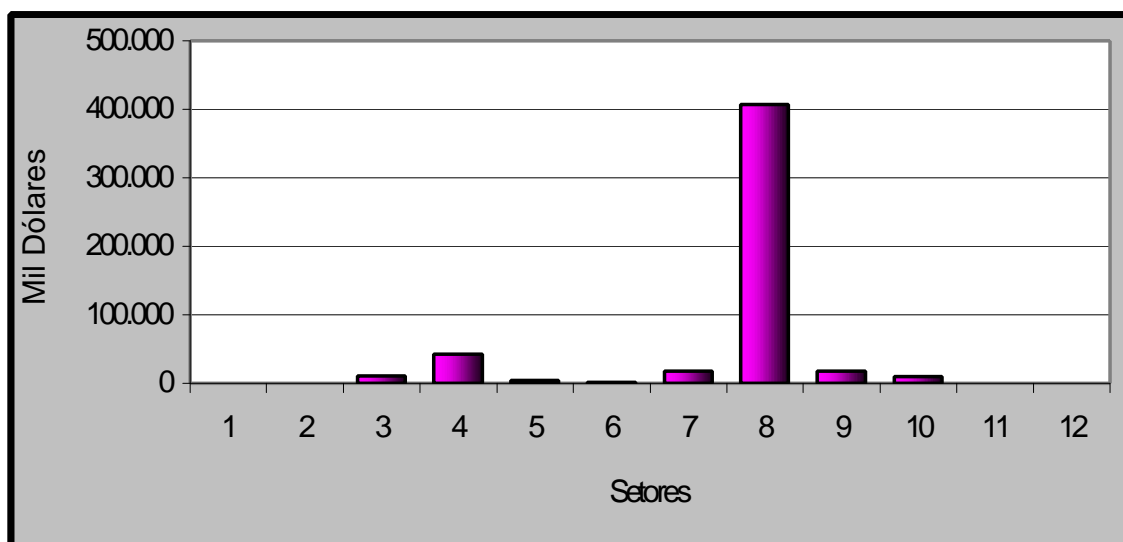


Figura 27 - Perfil do custo total de controle de NO<sub>2</sub> na estrutura da economia brasileira.

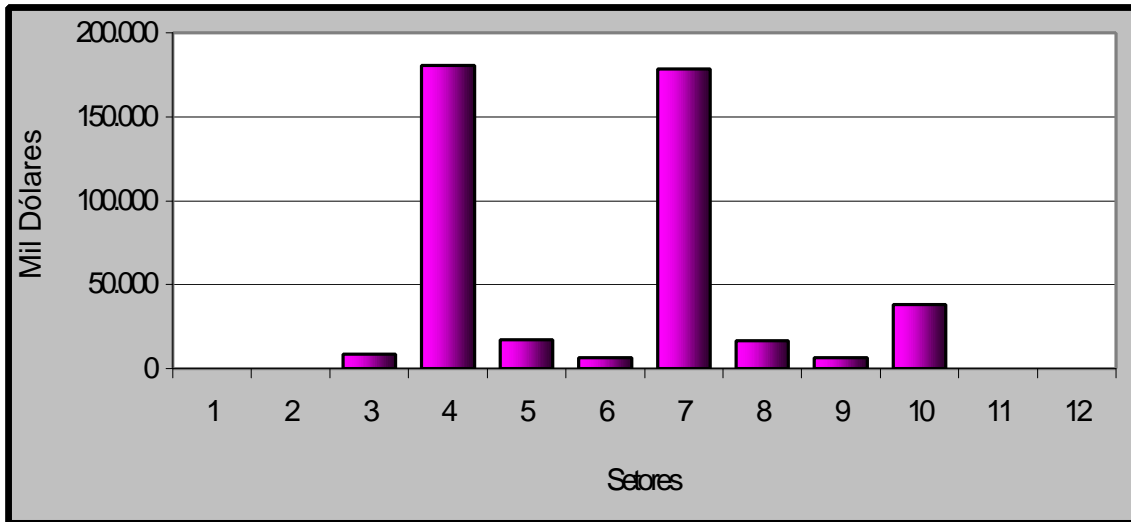


Figura 28 - Perfil do custo total de controle de compostos orgânicos voláteis (COV) na estrutura da economia brasileira.

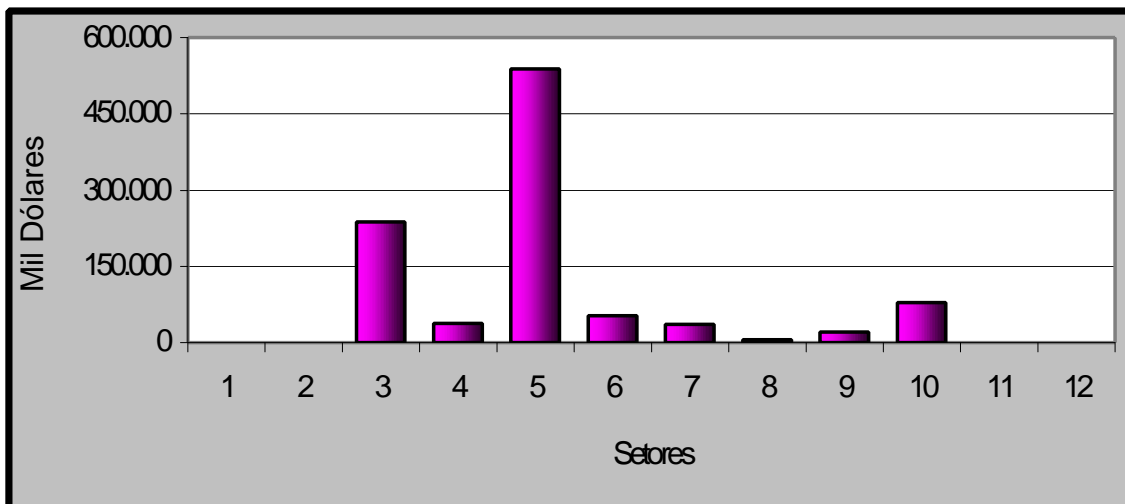


Figura 29 - Perfil do custo total de controle de poluentes tóxicos na estrutura da economia brasileira.

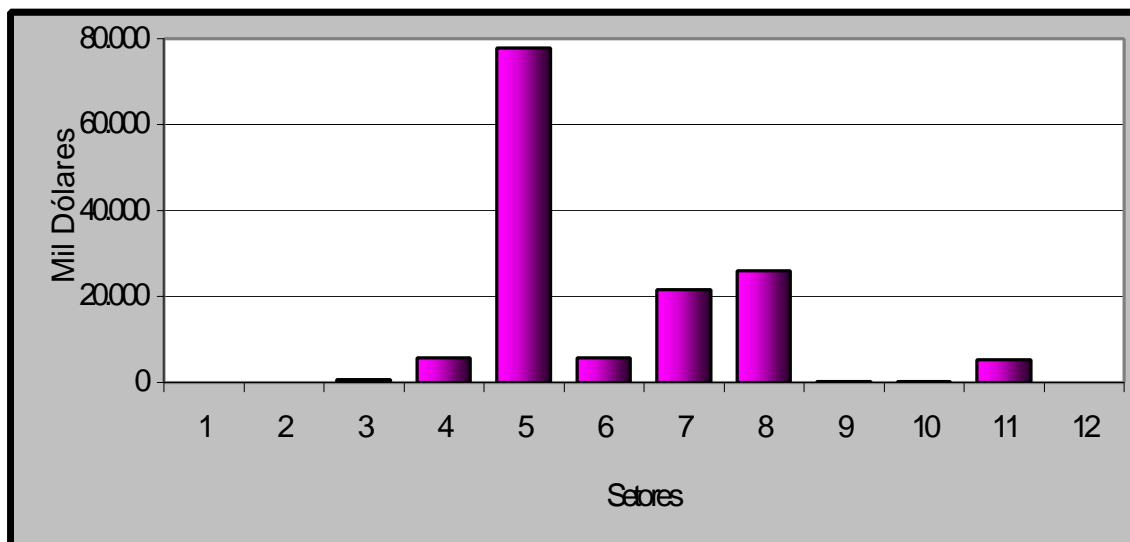


Figura 30 - Perfil do custo total de controle de poluentes da água (BOD e TSS) na estrutura da economia brasileira.

O custo total, tido como a soma total dos custos por componentes da poluição industrial considerados, foi estimado em 3,25 bilhões de dólares, porém deve ser ressaltado que estes custos consideram somente estimativas relativas às atividades de controle de poluição. Portanto, não se levam em conta as estimativas dos custos de danos causados como resultados dos impactos da poluição industrial na economia. YOUNG et al. (2000) estimaram o custo de controle das emissões de poluentes industriais para o Brasil em 554,7 milhões de reais para o mesmo período de análise, valor equivalente a aproximadamente 9% das estimativas obtidas neste estudo, embora seus resultados não se refiram aos mesmos componentes de poluição considerados neste estudo. Por outro lado, MENDES (1994) obteve as seguintes estimativas para o ano de 1994, considerando três cenários de redução nos custos de controle de poluição hídrica de origem industrial no Brasil: cenário de redução de 50% da poluição hídrica industrial, 815,0 milhões de dólares; cenário de redução de 75% da poluição, 1,01 bilhão de dólares; e, finalmente, para o cenário de eliminação total, uma estimativa de custo de 1,7 bilhão de dólares. Estes valores parecem mais próximos dos valores obtidos neste estudo, se se considerar que na

estimativa de Mendes não se levaram em consideração os componentes da poluição do ar e outros elementos tóxicos de origem industrial.

O setor de metalurgia mostrou-se de grande relevância na absorção de grande parte dos custos de controle estimados por Mendes, para o período de 1994, captando em média 68% da estimativa total do custo estimado.

Para atender aos objetivos finais da análise, os custos de controle e as quantidades de poluentes estimados para os diferentes agregados econômicos passaram a constituir variáveis endógenas ao modelo analítico, na perspectiva de se verificar a interdependência setorial decorrente da repercussão da geração e do controle de poluição na estrutura da economia brasileira.

### **3.4.3. Impactos na geração e nos custos de controle da poluição industrial na estrutura da economia brasileira**

A abordagem que permite contabilizar a geração e o controle da poluição no modelo tradicional de Leontief consiste na ampliação dos coeficientes técnicos para a incorporação de linhas para a geração de poluentes e de colunas de coeficientes de redução ou controle. No caso de geração da poluição, os coeficientes refletiram a quantidade de determinado componente estimado por valor da produção industrial deste setor. Da mesma forma, os coeficientes de redução refletiram os custos médios por unidade de produção destinados às atividades de redução, como proposto por Leontief.

#### **3.4.3.1. Análise de poluentes emitidos**

Para verificar a dependência quantitativa de cada tipo de poluente sobre o nível da atividade econômica ou do nível da atividade econômica sobre a capacidade de geração de poluição, os coeficientes de poluição estimados que relacionam o volume de poluição ao valor total da produção foram combinados de forma endógena no modelo de insumo-produto e analisadas as dimensões econômicas e ambientais de impacto da demanda final na economia.

O Quadro 17 apresenta os resultados obtidos dos impactos direto e indireto de cada unidade monetária de demanda final sobre os níveis das emissões de diferentes componentes de poluição industrial, principalmente os da água e do ar. Deve ser observado que, embora os complexos da agropecuária, extrativo mineral e comércio e serviços não tivessem sido considerados ao longo da análise no que se refere a lançamentos de poluentes industriais, a dependência estrutural da economia demonstrou a necessidade da adoção de processos tecnológicos com potencial de emitir volumes significativos de poluição nesses três setores. O efeito marginal de um real a mais na demanda final no setor agropecuário tem impactos indiretos na geração de 410 gramas de óxido de carbono (CO), 390 gramas de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), 350 gramas de sólidos totais em suspensão (TSS) e 320 gramas de poluentes tóxicos. Embora não tenham sido considerados os impactos diretos na estrutura inicial da agropecuária, este setor reagiu com a emissão de algum volume de metais tóxicos. O grande impacto de CO que foi registrado conjeturalmente se deve à intensidade das queimadas como forma de manejo de que é alvo o setor agropecuário no processo de expansão da fronteira. De forma geral, como mostra o Quadro 17, o impacto total de consumo final de uma unidade monetária resultou na emissão total de 2,15 quilogramas de diferentes poluentes industriais no setor da agropecuária. Naturalmente, estes valores são essencialmente indicadores e refletem o processo de causalidade implícito no modelo.

Tal como o setor agropecuário, no setor extrativo mineral (setor 2), os requisitos indiretos mostram que cada unidade monetária de demanda final por produtos do setor extrativo mineral resulta na geração de 1.430 gramas de TSS, 760 gramas de SO<sub>2</sub>, 700 gramas de CO, 470 gramas de poluentes tóxicos e 370 gramas de NO<sub>2</sub>, os cinco componentes da poluição considerados por apresentarem os valores mais expressivos. O impacto indireto total foi estimado em 4.480 gramas de poluentes. Dada a repercussão do processo de encadeamento estrutural da economia, foram registrados impactos relevantes nos setores de comércio e serviços (setor 12), com lançamentos poluentes de 290 gramas de TSS e 270 gramas de SO<sub>2</sub>, num total de 1.430 gramas distribuídos entre os diversos tipos de poluentes.

Quadro 17 - Requisitos diretos e indiretos em quilogramas de poluentes resultantes de choques unitários na demanda final da economia brasileira

Tipo de poluente	Setores econômicos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SO2	0,39	0,76	0,93	1,07	5,88	1,80	2,65	4,75	1,22	1,43	0,98	0,27
NO2	0,26	0,37	0,59	0,64	1,33	1,11	1,91	3,20	0,51	0,56	0,60	0,17
CO	0,41	0,70	0,66	0,60	4,80	2,12	3,21	1,05	1,12	1,07	0,72	0,21
VOC	0,22	0,30	0,85	0,63	0,81	1,04	1,56	0,45	0,58	0,73	0,50	0,11
PF	0,04	0,11	0,08	0,23	0,75	0,24	0,17	3,50	0,18	0,15	0,11	0,08
TSP	0,11	0,21	0,29	0,54	1,32	0,70	0,64	2,81	0,32	0,34	0,28	0,10
BOD	0,05	0,06	0,10	0,42	0,31	0,58	0,22	0,05	0,08	0,07	0,11	0,03
TSS	0,35	1,43	0,69	1,13	21,90	2,71	1,47	3,12	3,36	2,74	2,83	0,29
Poluentes tóxicos	0,32	0,47	1,73	0,41	2,35	0,94	2,54	0,52	1,09	0,81	1,12	0,15
Metais tóxicos	0,02	0,08	0,10	0,04	1,07	0,05	0,12	0,11	0,21	0,16	0,05	0,01

Fonte: Cálculos da pesquisa.

Setores 1 = agropecuária, 2 = extrativo mineral, 3 = têxteis, couros, vestuários e calçados, 4 = alimentos processados, 5 = siderurgia e metalurgia, 6 = madeira, papel celulose e gráfica, 7 = química e petroquímica, 8 = outras indústrias, 9 = materiais eletroeletrônicos, 10 = transportes, máquinas e equipamentos, 11 = farmacêutica e veterinário e 12 = comércio e serviços.



Em relação aos setores cujos coeficientes de impacto direto foram considerados, a análise dos impactos, neste caso, versou sobre o comportamento das emissões de componentes cujos requisitos diretos e indiretos advêm da variação positiva de uma unidade monetária de demanda final por produção setorial. Assim, em se tratando de TSS, o Quadro 17 apresenta a distribuição seguinte: 21,90 kg por cada real de demanda final do setor de siderurgia e metalurgia, 3,36 kg no setor de materiais eletroeletrônico, 3,12 kg no setor de outras indústrias, 2,83 kg no setor de farmacêutica e veterinária e 2,74 kg no setor de transporte, máquinas e equipamentos. Isso quer dizer que a expansão da produção econômica nestes setores, particularmente no complexo de siderurgia e metalurgia, tem elevado impacto em termos ambientais (emissão de sólidos suspensos na água), o que deve merecer um enfoque mais rigoroso por parte das políticas regulatórias do setor público em relação ao controle de qualidade da água. No caso de metais tóxicos, foram novamente relevantes os setores de siderurgia e metalurgia, com 1,07 kg, materiais eletroeletrônicos, com 210 gramas, e de transportes, máquinas e equipamentos, com 160 gramas. Quanto à demanda bioquímica de oxigênio, importante poluente da água, os setores de madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfica, com 580 gramas, o de alimentos processados, com 420 gramas, e o de siderurgia e metalurgia, com 310 gramas, foram os complexos econômicos que apresentaram maiores impactos em termos da geração deste tipo de emissão, perfil que comprova a forte relação de dependência destas atividades econômicas com a qualidade dos recursos hídricos. Finalmente, a análise de óxido de carbono (CO) demonstrou que os setores de siderurgia e metalurgia (setor 5), com 4,80 kg, química e petroquímica (setor 7), com 3,21 kg, madeira, papel e celulose (setor 6), com 2,12 kg, outras indústrias (setor 8), com 1,05 kg, e materiais eletroeletrônicos (setor 9) apresentaram os maiores efeitos marginais de demanda sobre a capacidade de geração do componente poluente em causa.

A consistência dos requisitos diretos e indiretos da poluição apresentada no Quadro 17 pode ser visualizada da melhor forma através da análise dos multiplicadores que estimam os efeitos das mudanças exógenas sobre as

principais variáveis macroeconômicas, como o emprego, a produção e a renda. Utilizando-se deste recurso, foram estimados os multiplicadores setoriais simples da poluição industrial para a economia brasileira, como se ilustra na Figura 31.

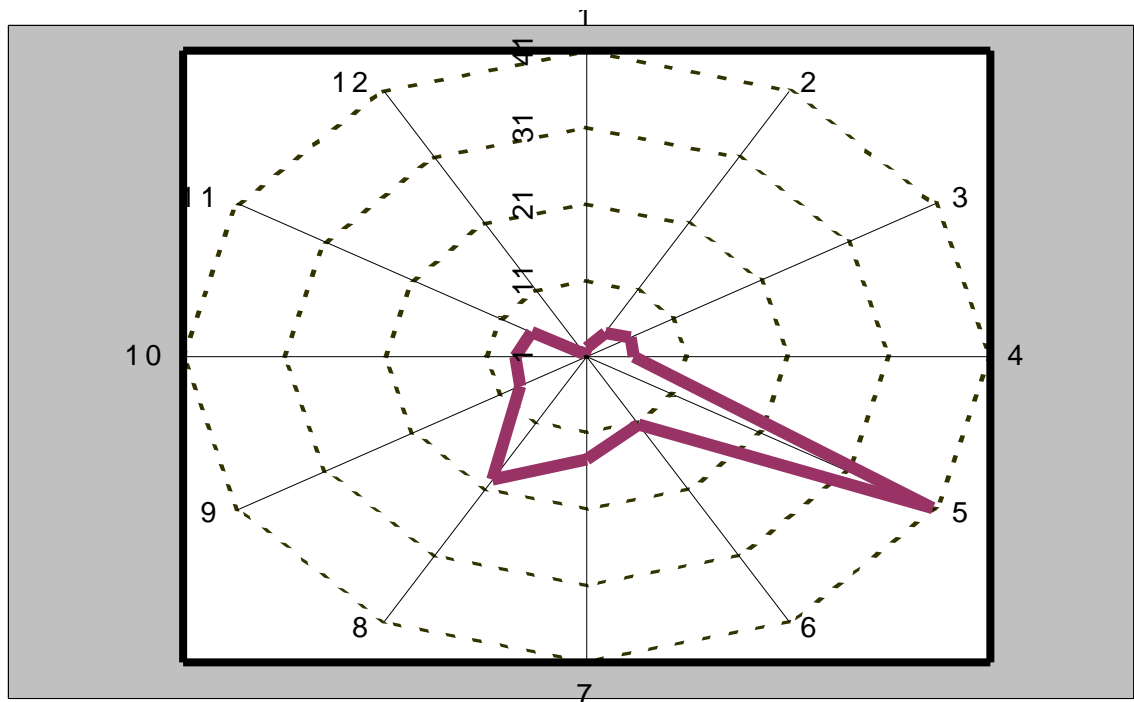


Figura 31 - Ilustração gráfica dos multiplicadores setoriais simples de poluição industrial na economia brasileira.

O conceito de multiplicador aplicado à análise de poluição pode mostrar-se de grande utilidade e representaria um importante instrumento de tomada de decisão concernente às diretrizes políticas. O conceito pode ser usado para se determinar o nível aproximado da alíquota de tributação ambiental e do sistema de taxaço e outros mecanismos de licenciamentos que visem reduzir o volume da poluição emitida dentro dos padrões de qualidade predeterminados. Nesse caso, os multiplicadores que apresentem valores mais altos são associados àqueles setores mais intensivos em tecnologias "suja". Conforme a Figura 31, os

cinco setores de maior dinâmica nos lançamentos poluentes foram: siderurgia e metalurgia (setor 5), com o multiplicador simples estimado no valor de 40,5; outras indústrias (setor 8), com o multiplicador de 19,6; química e petroquímica (setor 7), de multiplicador igual a 14,5; madeira, mobiliário, papel e celulose (setor 6), com 11,29; e materiais eletroeletrônicos (setor 9), com o multiplicador de 8,7.

Em complementação à análise anterior, foram construídos quatro cenários analíticos de possíveis medidas de políticas econômicas com repercussão na estrutura produtiva e no quadro ambiental, em termos de emissão de poluentes. Assim, consideram-se os cenários seguintes: 1) choque de 15% na demanda final dos setores de siderurgia e metalurgia (setor 5) e química e petroquímica (setor 7), os complexos identificados na caracterização da estrutura produtiva como os de maiores índices de ligações para frente e para trás, e portanto setores-chave, com maior campo de influência; 2) choque de 15% na demanda final nos setores da agropecuária (setor 1) e de alimentos processados (setor 4); 3) choque de 15% na demanda final nos setores de madeira, papel e celulose (setor 6) e de transportes, máquinas e equipamentos (setor 10); e 4) crescimento de 5% na demanda de todos os setores da economia. Os resultados obtidos encontram-se resumidos no Quadro 18.

Os resultados constantes do Quadro 18 permitem inferir que diferentes estratégias de políticas adotadas na perspectiva de uma maior dinâmica de crescimento econômico geram repercussões adversas ao meio ambiente, principalmente na arquitetura de controle da poluição industrial. Políticas que estimulam o crescimento na demanda final da economia nos setores siderurgia e metalurgia (setor 5) e química e petroquímica (setor 7) pressionam positivamente a produção agregada total da economia em 7,2 bilhões de reais e resultam, por outro lado, em impactos ambientais da emissão total de 84.043 toneladas de poluentes adicionais.

Quadro 18 - Efeitos de diferentes medidas de política sobre o nível das emissões de poluentes na economia brasileira

Ordem	Setores	Valor bruto da produção original (A)	Impactos de choques de 15% nos setores 5 E 7 (B)	(B - A) R\$ 1000	Impactos de choques de 15% nos setores 1 E 4 (C)	(C - A) R\$ 1000	Valor bruto da produção original (A)	Impacto de choque de 15% nos setores 6 E 10 (D)	(D - A) R\$ 1000	Impacto de choque de 5% em todos os setores (E)	(E - A) R\$ 1000
1	Agropecuária	83.299.692,0	83.491.995,0	192.303,0	93.444.101,6	10.144.409,6	83.299.692,0	83.668.898,9	369.206,9	87.464.676,6	4.164.984,6
2	Extrativo mineral	24.983.805,0	25.282.625,2	298.820,2	25.304.889,5	321.084,5	24.983.805,0	25.255.713,9	271.908,9	26.232.995,2	1.249.190,2
3	Têxteis, couros e vestuários	31.046.827,0	31.080.144,4	33.317,4	31.225.569,4	178.742,4	31.046.827,0	31.166.161,4	119.334,4	32.599.168,3	1.552.341,3
4	Alimentos processados	86.528.146,0	86.592.625,8	64.479,8	97.703.844,4	11.175.698,4	86.528.146,0	86.654.762,8	126.616,8	90.854.553,3	4.326.407,3
5	Siderurgia e metalurgia	50.696.407,0	53.078.492,9	2.382.085,9	51.190.359,3	493.952,3	50.696.407,0	52.414.688,4	1.718.281,4	53.231.227,3	2.534.820,3
6	Madeira, papel e celulose	30.984.835,0	31.061.184,4	76.349,4	31.326.177,2	341.342,2	30.984.835,0	33.266.985,1	2.282.150,1	32.534.076,7	1.549.241,7
7	Química e petroquímica	79.358.048,0	82.133.320,4	2.775.272,4	81.284.558,4	1.926.510,4	79.358.048,0	81.063.104,0	1.705.056,0	83.325.950,4	3.967.902,4
8	Outras indústrias	97.979.867,0	98.032.152,0	52.285,0	98.080.620,8	100.753,8	97.979.867,0	98.115.834,8	135.967,8	102.878.860,5	4.898.993,3
9	Materiais eletroeletrônicos	26.969.733,0	26.992.714,8	22.981,8	27.007.475,3	37.742,3	26.969.733,0	27.096.608,8	126.875,8	28.318.219,6	1.348.486,6
10	Transportes, máquinas, equip.	98.934.108,0	99.282.120,9	348.012,9	99.874.744,2	940.636,2	98.934.108,0	109.071.568,9	10.137.460,4	103.880.813,4	4.946.705,4
11	Farmacêutica e veterinária	9.804.824,0	9.810.543,7	5.719,7	9.853.871,3	49.047,3	9.804.824,0	9.812.793,1	7.969,1	10.295.065,2	490.241,2
12	Comércio e serviços	492.765.334,0	493.679.710,3	914.376,7	495.850.171,1	3.084.837,3	492.765.334,0	495.455.803,4	2.690.469,4	517.403.600,7	24.638.266,7
	<b>Valor bruto produção</b>	<b>1.113.351.626,0</b>	<b>1.120.517.630,0</b>	<b>7.166.004,0</b>	<b>1.142.146.383,0</b>	<b>28.794.757,0</b>	<b>1.113.351.626,0</b>	<b>1.133.042.923,0</b>	<b>19.691.297,83</b>	<b>1.169.019.207,0</b>	<b>55.667.581,30</b>
	Tipo de poluente (toneladas)										
	SO2	803.280,20	816.223,03	12.942,84	814.330,01	11.049,81	803.280,2	818.016,6	14.736,4	843.444,2	40.164,0
	NO2	477.571,59	482.888,90	5.317,31	484.287,99	6.716,39	477.571,5	483.979,6	6.408,0	501.450,1	23.878,5
	CO	414.322,53	426.796,14	12.473,61	421.417,68	7.095,15	414.322,5	426.657,3	12.334,8	435.038,6	20.716,1
	VOC	228.909,85	232.880,75	3.970,90	235.401,26	6.491,41	228.909,8	236.654,8	7.744,9	240.355,3	11.445,4
	Partículas finas	363.237,95	364.583,67	1.345,72	365.387,56	2.149,62	363.237,9	364.838,2	1.600,3	381.399,8	18.161,9
	Partículas susp. (TSP)	368.791,16	371.786,09	2.994,93	373.979,71	5.188,54	368.791,1	372.725,0	3.933,9	387.230,7	18.439,5
	BOD	59.821,42	60.642,40	820,98	63.692,81	3.871,39	59.821,4	61.358,1	1.536,7	62.812,4	2.991,0
	TSS	942.872,42	975.758,50	32.886,09	954.315,80	11.443,39	942.872,4	969.871,0	26.998,6	990.016,0	47.143,6
	Poluentes tóxicos	297.412,84	305.302,29	7.889,45	302.441,33	5.028,49	297.412,8	305.598,8	8.185,9	312.283,4	14.870,6
	Metais tóxicos	44.474,20	46.174,81	1.700,61	44.949,97	475,77	44.474,2	45.894,8	1.420,6	46.697,9	2.223,7
	<b>Poluição total</b>	<b>4.045.168,40</b>	<b>4.129.211,40</b>	<b>84.043,00</b>	<b>4.105.154,10</b>	<b>59.985,70</b>	<b>4.045.168,40</b>	<b>4.131.489,6</b>	<b>86.321,3</b>	<b>4.247.426,8</b>	<b>202.258,4</b>

Fonte: Resultados da pesquisa.

Choques na demanda dos setores da agropecuária (setor 1) e de alimentos processados (setor 4) estimulam o crescimento do valor bruto da produção em 28,8 bilhões de reais e repercutem nas emissões totais de aproximadamente 60.000 toneladas de poluentes da água e do ar. Em relação à estratégia política anterior, verifica-se ganho relativo de bem-estar como um todo, já que a elevação do valor total da produção da economia acompanhada de redução nos níveis das emissões traduzem em benefícios sociais líquidos decorrentes desta política.

Os resultados de choques de 15% nas demandas simultâneas dos setores de madeira, papel e celulose (setor 6) e máquinas, transportes e equipamentos (setor 10) indicaram incremento de 19,7 bilhões no valor da produção e emissões residuais totais de 86.321 toneladas de poluentes, enquanto a variação positiva de 5% nas demandas setoriais em conjunto acarretaram ganhos líquidos de 55,7 bilhões de reais, acompanhados de 202.258,4 toneladas de lançamentos adicionais de poluentes industriais. Claramente, esta última estratégia de política segue uma trajetória de expansão desvantajosa em termos de ganhos de bem-estar, já que a preferência é de que a economia se expanda com a menor capacidade de geração de poluentes.

Na perspectiva de decisão sobre as quatro medidas de políticas alternativas consideradas, a que considerou a injeção de maior dinâmica nos setores da agropecuária e de alimentos processados apresentou os melhores indicadores de desempenho monetário para a economia, além de possibilitar menores quantidades relativas de emissões de poluentes e, portanto, menor impacto em termos de repercussão ambiental. Entretanto, no presente estudo, esta estratégia política seria instrumento ainda ilustrativo, já que justamente no setor agropecuário não fora considerada a estimativa dos coeficientes de impacto direto da poluição na estrutura econômica, o que se julga, porém, de pequena expressão, já que a análise é feita em termos industriais e, nesse caso, a poluição industrial é captada pela indústria de processamento de alimentos.

### **3.4.3.2. Internalização dos custos de controle da poluição industrial na análise estrutural da economia brasileira**

De maneira semelhante à análise de geração da poluição conduzida no item anterior, a redução ou a eliminação da poluição foi introduzida na estrutura analítica como um setor de atividade cuja função é o financiamento e o desenvolvimento de operações tecnológicas limpas, com vistas à redução ou à eliminação completa dos requisitos de poluição quantificados. Para atender a estes objetivos, foi necessário o estabelecimento de alguns pressupostos fundamentais para a exequibilidade do modelo.

Assim, procedeu-se ao ajustamento do valor adicionado de forma a internalizar 15 e 50% dos custos totais de controle de poluição. A idéia partiu da suposição de que existe um agente regulador central em matéria de gestão ambiental encarregado de captar as receitas na base da tributação ambiental que incorpore nas contas de remunerações primárias dividendos sobre o controle da poluição industrial.

O atendimento das metas ambientais pressupõe a orientação, no curto prazo, de recursos econômicos destinados aos investimentos produtivos ou à elevação dos custos de produção, conforme os fundamentos teóricos descritos em seções anteriores. Para isso, SEROA DA MOTTA et al. (2000) propuseram a introdução de instrumentos econômicos tributários no processo de reforma tributária brasileira, visando a consecução dos objetivos da política ambiental. Nessa perspectiva, o uso de instrumentos tributários poderá ser implementado de forma a atender às necessidades de financiamento das atividades de controle da poluição, partindo-se do pressuposto de que, se devidamente conduzidos por um agente regulador especializado, estes instrumentos permitem a redução do *trade-off* existente entre as metas de crescimento econômico e o padrão de qualidade ambiental.

Uma vez estimados os custos totais de controle de poluição industrial, a tarefa ulterior consistiria na sua internalização total ou parcial, segundo a concepção da taxação ótima pigouviana e coaseana, na estrutura geral da

economia, de forma que a contabilidade dos agregados macroeconômicos refletissem a dimensão efetiva do desempenho da economia.

Na base dessas considerações, estabelecer-se-ia a estratégia desejável de equilíbrio interno do modelo de insumo-produto para a expansão de colunas novas dos investimentos em atividades de redução de poluição da água e do ar. Os poluentes foram todos agregados em duas linhas de geração de poluição, pressupondo-se por hipótese que exista homogeneidade entre os componentes agregados da água e do ar.

Ajustado o valor adicionado, verifica-se ligeira alteração tecnológica na estrutura geral das transações intermediárias, uma vez que os coeficientes técnicos dependem do novo valor total da produção setorial, por conta do ajuste no valor adicionado.

O dimensionamento efetivo do valor adicionado em termos de tributos adicionais considerados vai permitir que as decisões de consumo intermediário e das demandas finais se limitem aos níveis de tolerância ambiental, incidindo as contribuições por atividade econômica conforme a estrutura dos custos setoriais estimados por fontes. Assim, o processo da tributação visaria o financiamento das operações de redução setorial e a indução de mudanças comportamentais nos principais agentes produtivos, em função das alterações desfavoráveis nas suas estruturas de custos. O objetivo de financiar as atividades de redução através da inserção de contas independentes na estrutura de transação da economia garante a sustentação de dotações predeterminadas de receitas que devem ser canalizadas para o financiamento dos investimentos necessários aos programas setoriais. A experiência internacional vem mostrando que, para atender às metas de proteção ambiental, os instrumentos econômicos geralmente propalados são as contribuições tributárias com a finalidade de atender à demanda de investimento para as atividades de controle e de redução de poluição.

Assumi-se também que na demanda final deva existir uma determinada quantidade de poluição tolerada pela sociedade, num nível próximo da capacidade hipotética de carga, em torno de 30% do volume total de poluição industrial estimado, tanto para o ar quanto para a água. Dessa forma, a

quantidade total a ser eliminada seria dada pelo volume intersetorial gerado menos o volume tolerado pela capacidade de carga ou pela capacidade assimilativa da sociedade e do meio ambiente.

A modelagem das quantidades toleradas é determinada de forma negativa na classe de demanda final dentro do modelo, permitindo que se estabeleça a identidade entre o consumo intermediário, a demanda final e o valor total da produção e das unidades físicas da poluição gerada, tratado como um setor econômico específico no modelo.

Finalmente, por hipótese, assumiu-se que a atividade de controle de poluição adota tecnologia perfeitamente limpa e, portanto, não tem qualquer capacidade de geração de novos poluentes no processo de eliminação de poluentes. Trata-se de um pressuposto forte, de grande importância do ponto de vista da simplificação e operacionalização do modelo, pois, se se admitir que as atividades de controle gerem poluentes adicionais em determinada intensidade, o efeito de causação circular torna-se mais complexo, conforme RHEE e MIRANOWSKI (1984). Para isso, uma análise dentro de uma estrutura dinâmica seria necessária.

O Quadro 19 apresenta os resultados de impactos setoriais da demanda sobre a atividade de redução da poluição.



Quadro 19 - Impactos da redução de uma unidade na quantidade de poluição do ar e da água (demanda final) sobre os custos de controle

Setores	Poluição do ar		Poluição da água	
	15%	50%	15%	50%
Agropecuária	0,0214	0,0718	0,0020	0,0069
Extrativo mineral	0,0207	0,0694	0,0025	0,0085
Têxteis, couros, vestuários e vestuários	0,0347	0,1165	0,0004	0,0016
Alimentos processados	0,0323	0,1085	0,0020	0,0068
Siderurgia e metalurgia	0,1238	0,4161	0,0287	0,0960
Madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfico	0,0161	0,0539	0,0024	0,0081
Química e petroquímica	0,0637	0,2139	0,0100	0,0336
Outras indústrias	0,1101	0,3696	0,0063	0,0214
Materiais eletroeletrônicos	0,0091	0,0306	0,0004	0,0015
Transporte, máquinas e equipamentos	0,0361	0,1213	0,0033	0,0110
Farmacêutica e veterinária	0,0005	0,0018	0,0012	0,0039
Comércio e serviços	0,0655	0,2198	0,0089	0,0297
Setor de poluentes do ar	1,0029	1,00985	0,0004	0,00124
Setor de poluentes da água	0,0019	0,00634	1,0004	1,00134

Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando o cenário de investimentos de 15% nas atividades de controle como meta para amenizar os custos de controle estimados, a interpretação econômica do Quadro 19 permite inferir que, quando a demanda de redução nos índices de poluição atmosférica aumenta em uma unidade, isto leva a acréscimos nos custos setoriais de controle da poluição do ar, por causa dos efeitos diretos e indiretos. No caso concreto dos setores da agropecuária, extrativo mineral e comércio e serviços, estes efeitos foram apenas indiretos, por falta de informações de impactos diretos cuja justificativa fora já apresentada. Os valores de 1,0029, 0,0019, 0,0004 e 1,0004 medem quantidades de poluentes que a atividade de redução deve eliminar para os dois tipos de poluentes, a fim de viabilizar a redução de uma unidade de poluente na demanda final. Deve ser notado, porém, que, devido aos efeitos diretos e indiretos, as atividades antipoluidoras de eliminar unidades de poluição do ar são interdependentes das atividades antipoluidoras de eliminação de poluentes da água e vice-versa, pois 1,003 unidade da redução de poluentes do ar deve ser acompanhada de

aproximadamente 0,0019 unidade de eliminação de poluentes da água. Como os coeficientes constantes do Quadro 19 medem os impactos diretos e indiretos da demanda final sobre as atividades setoriais com o controle de poluição, setores como siderurgia e metalurgia, outras indústrias, comércio e serviços, química e petroquímica e transportes, máquinas e equipamentos apresentaram os maiores impactos dos custos em atividades de redução da poluição do ar, ou seja, seriam aqueles setores de maior demanda de investimento para programas de redução de poluentes.

Com relação ao cenário que considera a absorção de 50% das despesas totais estimadas, deve ser observado, ainda no Quadro 19, que o setor de controle da poluição do ar deve aumentar consideravelmente seu esforço em programas de redução, pois, em média, deve eliminar o equivalente a três vezes as necessidades de redução de poluentes, em relação ao que se observou no cenário que considera investimentos setoriais de 15% das necessidades de controle, para que se mantenham os níveis de tolerância de poluição previamente definidos em 30% para toda a economia. O setor de siderurgia e metalurgia, com 0,42, e o setor de outras indústrias, com 0,37, apresentam os maiores impactos sobre as atividades de eliminação como resultado de redução de uma unidade de poluição na demanda final. Para viabilizar a redução de uma tonelada de poluente pela demanda final, o setor de controle deve eliminar, neste caso, 1,00985 e 1,00134 toneladas, respectivamente, de poluentes do ar e da água.

De maneira geral, os impactos da demanda final por setor de atividade econômica foram menores na linha de ações de controle de poluentes da água do que nos do ar. Essa constatação mostra-se consistente com a realidade empírica e dos fatos, já que as técnicas de engenharia ambiental destinadas ao controle da poluição do ar são normalmente mais complexas e, portanto, de custo total maior. Os maiores impactos dos custos de controle da poluição da água foram observados nos setores de siderurgia e metalurgia e química e petroquímica, com 0,029 e 0,01 unidades monetárias, respectivamente. No cenário que considera 50% dos custos totais de controle, em geral, aumenta o impacto da demanda sobre o setor de controle, devendo-se registrar, novamente, os setores de

siderurgia e metalurgia, química e petroquímica e outras indústrias como aqueles que devem elevar marginalmente os esforços nas atividades de eliminação de poluentes. Esse resultado se mostra bastante plausível com os indicadores de geração de poluição apresentados anteriormente nesses complexos econômicos.

O comportamento da economia em termos de geração da poluição pode ser observado com base na interpretação do Quadro 20. Os valores constantes neste quadro refletem os impactos diretos e indiretos da demanda final sobre o setor de geração de poluentes e traduzem o nível das emissões necessárias para atender à demanda de redução e à meta de tolerância estabelecida para os diversos setores da economia. Quanto aos poluentes do ar, os setores de outras indústrias, siderurgia e metalurgia e química e petroquímica devem demonstrar a maior dinâmica na adoção de tecnologias ambientalmente limpas com vistas ao controle, de forma a gerarem tão-somente 0,0154 e 0,0136 e 0,0096 unidades por unidade de demanda, respectivamente. Já em relação aos poluentes da água, além do setor de siderurgia e metalurgia, ganham relevância os setores de material eletrônico, madeira, mobiliário, papel e celulose e gráfica e outras indústrias, que apresentaram, respectivamente, 0,0034, 0,0033 e 0,0032 de requisitos de geração de resíduos.

Quadro 20 - Requisitos diretos e indiretos de geração de poluição do ar e da água para atender à demanda de redução de poluentes na economia brasileira, para cenários de investimentos em programas de controle de 15 e 50% dos custos

Setores	Poluição do ar		Poluição da água	
	15%	50%	15%	50%
Agropecuária	0,00136	0,00137	0,00039	0,00040
Extrativo mineral	0,00230	0,00231	0,00149	0,00149
Têxteis, couros, vestuários e vestuários	0,00457	0,00459	0,00080	0,00082
Alimentos processados	0,00356	0,00358	0,00156	0,00157
Siderurgia e metalurgia	0,01351	0,01356	0,02216	0,02212
Madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfico	0,00589	0,00593	0,00330	0,00332
Química e petroquímica	0,00960	0,00966	0,00170	0,00174
Outras indústrias	0,01535	0,01540	0,00319	0,00324
Materiais eletroeletrônicos	0,00411	0,00413	0,00344	0,00344
Transporte, máquinas e equipamentos	0,00417	0,00419	0,00280	0,00281
Farmacêutica e veterinária	0,00364	0,00366	0,00295	0,00296
Comércio e serviços	0,00090	0,00090	0,00032	0,00032

Fonte: Resultados da pesquisa.

Um aspecto importante na análise desses resultados pode ser mais bem visualizado nos setores de agropecuária, extrativo mineral e comércio e serviços. Nestes setores, mesmo sem a internalização de coeficientes de impacto direto na modelagem, em função da interdependência econômica e ambiental que decorre do uso dos insumos, deve haver redução também de determinadas quantidades de poluentes do ar e da água no processo produtivo. Como o nível de tolerância ambiental foi estabelecido em 30% do volume de poluentes totais estimados, para qualquer cenário de custo de controle, o setor de geração define quantidades aproximadamente constantes de lançamentos residuais por setor econômico para satisfazer aquele padrão de qualidade ambiental. Entretanto, em termos gerais, os valores obtidos para cenários de investimentos de 50% dos custos de controle são ligeiramente superiores àqueles obtidos em cenário de 15% dos custos. Em termos de instrumentos baseados em medidas de comando e controle, estes indicadores mostram-se de extrema importância para a definição de padrões de

emissões de poluentes ou no estabelecimento das metas de redução e licenciamentos ambientais.

Assim, esses resultados mostram-se de grande relevância para delineamentos por parte dos agentes centrais de planejamento e a definição de políticas de controle da poluição industrial no Brasil. Permitem, desse modo, a construção de instrumentos eficientes na arquitetura geral do sistema de gestão.

Apresentam-se, no Quadro 21, os multiplicadores setoriais simples de produção e os multiplicadores de base ambiental resultantes da abordagem analítica com a internalização da atividade de redução de poluição na economia brasileira, para cenários de 15 e 50% de investimentos nas atividades de controle.

Os multiplicadores de base econômica são, assim, designados como o somatório das colunas dos requisitos diretos e indiretos obtidos diretamente da matriz inversa de Leontief em análises preliminares desenvolvidas na caracterização econômica dos agregados na fase anterior da análise, em que não se consideram os ajustamentos de parâmetros de poluição e custos de controle no conjunto de dados da tabela de insumo-produto. O Quadro 21 mostra que os impactos totais de base estritamente econômica foram ligeiramente inferiores àqueles designados de base ambiental sob efeito das atividades de controle da poluição e obtidos do modelo ampliado para a análise de impacto ambiental da poluição. À medida que aumentam os investimentos em atividades de controle da poluição, como mostra o Quadro 21, passando-se do cenário de 15% para o cenário de 50% dos custos totais estimados, o efeito multiplicador na economia sofre ligeira alteração relativa, conforme o tipo da atividade industrial. A explicação desse fato pode ser baseada nas considerações analíticas de RHEE e MIRANOWSKI (1984), segundo os quais, com o tratamento endógeno das despesas de controle da poluição, gera-se um processo induzido de renda que aumenta o valor do multiplicador.

Quadro 21 - Multiplicadores setoriais simples de base econômica e ambiental na economia brasileira

Setores	Base econômica simples	Base ambiental (15%)	Base ambiental (50%)
Agropecuária	1,6738	1,6744	1,6762
Extrativo mineral	2,1294	2,1302	2,1333
Têxteis, couros, vestuários e vestuários	2,2910	2,2908	2,2966
Alimentos processados	2,4358	2,4366	2,4413
Siderurgia e metalurgia	2,4701	2,4726	2,4929
Madeira, mobiliário, papel, celulose e gráfica	2,1662	2,1686	2,1765
Química e petroquímica	2,5688	2,0610	2,0733
Outras indústrias	1,6984	1,7049	1,7246
Materiais eletroeletrônicos	2,4835	2,0494	2,0551
Transporte, máquinas e equipamentos	1,9576	1,9589	1,9646
Farmacêutica e veterinária	1,8580	1,8597	1,8647
Comércio e serviços	1,5012	1,5015	1,5027

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nesse caso, esforços iniciais com vistas a eliminar a poluição não são acompanhados de mais emissões que afetem futuras atividades de controle, porque partiu-se da hipótese de que a adoção de tecnologias ambientalmente adequadas em atividades de redução não geraria impactos imediatos no processo de emissão de novos poluentes na economia.

Importante inferência a ser feita é que, com o processo de controle da poluição industrial através da adoção de tecnologias mais limpas e programas de investimentos setoriais, induz-se o nível da renda e, conseqüentemente, o nível de emprego, principalmente naqueles setores em que as atividades de controle se mostrarem intensivas no fator trabalho.

#### **4. RESUMO E CONCLUSÕES**

Com a introdução e a aplicação do método de análise da estrutura produtiva proposto por Leontief e baseado na abordagem de equilíbrio geral, muitos estudos procuram demonstrar os elos de ligação interna e o processo de interdependência que se observa entre os diferentes setores da economia. O mecanismo básico consiste na concepção e na estruturação de um sistema econômico dentro da estrutura de insumo-produto e, conforme os objetivos analíticos, fazer-se valer do referencial analítico dado pela proposta teórica de Leontief para as análises de cunho nacional, regional e até mesmo internacional, em que se avaliam as relações intersetoriais e inter-regionais e se definem os setores mais dinâmicos para o crescimento econômico.

Desse modo, concebendo a estrutura de demanda final como um setor exógeno, já que a sua dinâmica depende das decisões dos “policy makers”, observam-se os encadeamentos recorrentes no sistema interno completo da economia em termos de transações, para quaisquer alterações que se verifiquem em nível de demanda final. A análise é, portanto, fundamentada na orientação keynesiana de que a dinâmica econômica é sustentada do lado dos investimentos necessários à atividade produtiva. Sendo a composição das contas de demanda final da economia formada basicamente pelo consumo das famílias e do governo, pela variação bruta do estoque de capital, pelos investimentos autônomos

privados e pelas exportações, qualquer variação em nível destas contas impetra impactos em nível das transações, podendo-se avaliar a natureza dos ganhos nos diferentes componentes do sistema.

Partindo-se do princípio de que os processos dinâmicos na estrutura interna da economia somente ocorrem via injeções nos componentes autônomos da demanda, assume-se o pressuposto rígido, porém plausível para os objetivos da análise, de que exista uma capacidade ociosa da economia capaz de dar resposta em termos de oferta e reagir às variações em nível da demanda final. Entretanto, esse pressuposto adquire consistência na medida em que se admite que dentro do período de observação não existem ajustamentos de preço que permitam alterações tecnológicas capazes de influenciar o “modus” de produção e a curva de oferta setorial da economia. Com base nesse raciocínio, admite-se que o sistema é caracterizado por relações de produção lineares dentro do período de análise.

No entanto, a análise deve incluir no seu plano principal as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente, procurando absorver os impactos dos principais componentes ambientais. As instituições produzem e consomem bens e serviços sem que se considere o processo de transação de insumos e produtos ambientais e, portanto, a dimensão das relações econômicas e ambientais do sistema. Trata-se, porém, da nova visão teórica da economia e da hipótese explícita de que existe relação de interdependência com o meio ambiente.

Normalmente, o tipo de relação existente é concebido em termos do grau de sustentabilidade da economia, isto é, de que a dinâmica econômica se processe de forma a garantir o desenvolvimento sustentável. Para isso, existem duas abordagens analíticas básicas do problema, através da economia de recursos e da economia da poluição, cujos fundamentos se devem historicamente à Hotelling e à Pigou, respectivamente.

No caso da análise de poluição, que constitui uma das interfaces do presente estudo, parte-se da concepção da teoria das externalidades e de que, uma vez identificadas e caracterizadas as suas dimensões em termos de custos e



benefícios, devem passar a fazer parte da análise econômica, para que as relações de causa e de efeito reflitam as grandezas reais entre a economia e o meio ambiente, de modo que os “policy-makers” possam dispor de instrumentos técnicos adequados para a tomada de decisões sobre diferentes medidas que garantam as metas de desenvolvimento econômico sustentável.

Vários autores e instituições têm avaliado os efeitos diretos e indiretos da poluição industrial sobre os níveis de bem-estar, marcadamente sobre a saúde pública, a produtividade agrícola, as mudanças climáticas e, de maneira geral, o meio ambiente. Não obstante, essas tentativas de estudo esbarram na falta de dados adequados sobre a intensidade de poluentes do ar e da água gerados setorialmente ou por tipo de firmas e indústrias e seus respectivos custos de eliminação ou controle.

Para isso, neste estudo foram estimadas quantidades de diferentes poluentes da água e do ar e seus respectivos custos de controle para o caso brasileiro, com base nos indicadores da intensidade e dos custos médios obtidos da base de dados do Banco Mundial, elaborados para estudos e análises dessa natureza.

O estudo visou analisar os impactos econômico e ambientais da poluição industrial no Brasil, valendo-se do instrumental teórico e analítico sugerido por Leontief. O modelo analítico proposto por Leontief em 1970 é uma versão mais complexa do modelo de insumo-produto e consiste na sua expansão matricial em termos de linhas adicionais que traduzam a produção ou a geração setorial de poluição agregada e de inserção de colunas que reflitam as atividades setoriais de controle ou de eliminação da poluição, portanto, de custos setoriais de controle da poluição. Demonstrou-se que os resultados obtidos da aplicação do modelo ampliado de Leontief para a análise de impacto ambiental da poluição são consistentes com os objetivos propostos.

Embora existam muitas outras variantes de equilíbrio geral que podem ser utilizadas para a análise sobre as repercussões ambientais das atividades econômicas, o modelo de Leontief constituiu importante instrumento analítico para atender aos objetivos delineados de determinar os impactos da

internalização dos custos e das quantidades de poluição industrial sobre a estrutura da produção e analisar os efeitos de algumas medidas de políticas econômicas sobre o meio ambiente, em especial sobre a capacidade de geração e controle da poluição industrial.

Antes da implementação do modelo analítico, procedeu-se à análise da estrutura produtiva da economia brasileira com base nos componentes das contas do valor adicionado. Os setores agregados foram distribuídos em três grandes segmentos - primário, intermediário e tecnológico - para permitir a observação da intensidade de uso de recursos naturais na economia brasileira. Ainda na análise da estrutura produtiva, procedeu-se às análises dos multiplicadores setoriais de renda e produção.

Quanto aos multiplicadores de produção, os setores de siderurgia e metalurgia, com 2,47, alimentos processados, com 2,44, têxteis, couros, calçados e vestuários, com 2,29, madeira, papel e celulose, com 2,17, e extrativo mineral, com 2,13, foram os cinco complexos em ordem decrescente com maior efeito de interdependência na economia, dado pelos respectivos valores dos multiplicadores. Políticas estimuladoras dos componentes da demanda final nestes setores implicam maiores impactos, em termos de produção, na economia. Entretanto, os três setores que apresentaram menores índices multiplicadores no sistema foram os de comércio e serviços, com 1,50, de agropecuária, com 1,67, e de outras indústrias, com 1,70.

O multiplicador de renda do tipo I referiu-se ao impacto unitário da demanda sobre as remunerações salariais, e, neste caso, considerou-se uma estrutura aberta para a componente de consumo das famílias. Pôde ser observado que os setores de alimentos processados, com 3,89, química e petroquímica, com 3,40, e siderurgia e metalurgia, com 3,39, apresentaram os maiores multiplicadores de renda, em contraposição aos setores de transportes, máquinas e equipamentos e de comércio e serviços, que apresentaram valores inferiores a dois, revelando, portanto, menor capacidade de interdependência na economia brasileira. Os complexos de agropecuária, extrativo mineral e outras indústrias apresentaram multiplicadores acima de três unidades para a componente

importações, ao contrário do que ocorreu com o segmento de tecnologia (material eletroeletrônico, com 1,45, farmacêutica e veterinário, com 1,41, e transportes, máquinas e equipamentos, com 1,69). Por outro lado, a remuneração de capital dado pelo excedente operacional bruto obteve os maiores multiplicadores nos complexos de alimentos processados, com 5,49, siderurgia e metalurgia, com 3,27, madeira, papel e celulose, com 2,90, têxteis, couros e vestuários, com 2,86, e extrativo mineral, com 2,20.

Os cinco setores que apresentaram maiores índices de ligações para trás foram os setores da siderurgia e metalurgia, alimentos processados, têxteis, couros e vestuários, madeira, papel e celulose e extrativo mineral, respectivamente com 1,22; 1,20; 1,13; 1,7; e 1,5. Assim, os cinco setores discriminados constituem o grupo maior consumidor de insumos intermediários e determinam a dinâmica produtiva da atividade econômica a montante.

Considerando somente os cinco setores de maiores índices de ligações para frente, observou-se que exatamente cinco complexos setoriais - comércio e serviços, com 2,11, química e petroquímica, com 1,54, siderurgia e metalurgia, com 1,27, agropecuária, com 1,10, e transportes, máquinas e equipamentos, com 1,57 - foram os mais dinâmicos em termos da capacidade de oferta de insumos. Dado que os complexos setoriais agregados atenderam aos objetivos da dinâmica de geração de poluentes industriais, a identificação e a caracterização destes como sendo de maior encadeamento para frente sinalizou a localização do potencial de geração de poluentes.

Utilizando os índices de ligação para frente e para trás para definir os setores-chave, apenas os complexos setoriais de siderurgia e metalurgia e química e petroquímica caracterizaram-se por setores-chave. Os setores de siderurgia e metalurgia, têxteis, couros e vestuários, química e petroquímica e comércio e serviços apresentaram os maiores valores absolutos associados ao campo de influência, e esse perfil refletiu as medidas dos principais elos de ligação na economia brasileira. Os setores que apresentaram simultaneamente os índices de ligações para trás e para frente maiores do que a unidade foram aqueles que obtiveram os maiores coeficientes de campo de influência.

Para atender às intenções de um programa de controle de poluição industrial, procedeu-se ao cálculo das estimativas de custos para a sua posterior internalização ao conjunto de dados no modelo, na suposição de que os agregados produtivos adotem novas tecnologias, acarretando investimentos e outras formas de despesas de prevenção ambiental. Assumiu-se que existe um agente regulador cujos objetivos seriam a prevenção e o controle das emissões poluentes e que os fundos operacionais para a sua implementação adviessem do processo da arrecadação das contas setoriais do valor adicionado. Para esse efeito, o valor adicionado setorial foi ajustado de forma a contemplar parte das supostas contribuições e, assim, equilibrar as cifras das contas na matriz de insumo-produto. O ajuste consistiu em adicionar ao valor adicionado, em dois cenários analíticos, 15 e 50% dos custos setoriais estimados como necessários para o combate da poluição e equilibrar as receitas e as despesas setoriais.

Da estimativa de poluentes totais emitidos, os resultados indicaram que os sólidos totais em suspensão, com 942.872 toneladas, dióxidos de enxofre, com 803.280 toneladas, óxidos de nitrogênio, com 477.572 toneladas, monóxidos de carbono, com 414.323 toneladas, e particulados totais, com 368.791 toneladas, constituíram os cinco poluentes dominantes na estrutura da poluição industrial no Brasil, todos eles pertencentes à classe de poluentes do ar. Os setores mais intensivos nas emissões foram siderurgia e metalurgia, química e petroquímica e outras indústrias, sendo os dois primeiros os mais dinâmicos e de maior campo de influência na economia brasileira.

Em relação aos custos estimados para a eliminação total da poluição industrial, os maiores valores foram distribuídos para SO<sub>2</sub>, substâncias tóxicas do ar, NO<sub>2</sub>, componentes orgânicos voláteis e agregado de poluentes da água, respectivamente com 1,08; 1,0; 0,51; e 0,45 bilhões de dólares, para o período de 1995. Os cinco setores que absorveram a maior parcela dos custos foram os de outras indústrias, com 1,26, siderurgia e metalurgia, com 0,84, química e petroquímica, com 0,31, alimentos processados, com 0,29, e têxteis, couros e vestuários, com 0,26 bilhões de dólares.

Após alguns ajustes e a adoção de algumas hipóteses, o modelo ampliado de Leontief foi implementado, e as seguintes conclusões foram obtidas: a interpretação econômica dos resultados permitiu inferir que, quando a demanda de redução nos índices de poluição aumenta de uma unidade, conduz a acréscimos nos custos setoriais de controle da poluição do ar, por causa dos requisitos diretos e indiretos.

A atividade de redução de poluição deve eliminar 1,0029, 0,0019, 0,0004 e 1,0004 gramas de poluentes do ar e da água, a fim de viabilizar a redução de um grama de poluente na demanda final. Devido aos efeitos diretos e indiretos, as atividades antipoluidoras do ar são interdependentes das atividades antipoluidoras da água, e vice-versa. Isso faz com que 1,003 unidade de redução de poluentes do ar deve ser acompanhado da eliminação de 0,0019 unidade de eliminação de poluentes da água. Os setores de siderurgia e metalurgia, outras indústrias, comércio e serviços, química e petroquímica e transportes, máquinas e equipamentos apresentaram os maiores impactos sobre as atividades de redução da poluição do ar. De maneira geral, os impactos da demanda final por setor de atividade foram menores na linha das ações de controle de poluentes da água, em relação aos poluentes do ar. Essa constatação mostrou-se consistente com a realidade dos fatos, já que as técnicas de engenharia ambiental destinadas ao controle da poluição do ar são bem mais complexas e exigem maiores custos fixos. Os maiores impactos foram observados nos setores de siderurgia e metalurgia e química e petroquímica, com 0,028 e 0,01 unidades monetárias, respectivamente, por unidade de demanda de consumo setorial. O comportamento dos setores em termos de geração da poluição industrial também foi observado. Quanto aos poluentes do ar, os setores de outras indústrias, siderurgia e metalurgia e química e petroquímica demonstraram a maior dinâmica na adoção de tecnologias limpas e apropriadas, com vistas à redução de emissões em 0,0153 e 0,0135 e 0,0096 unidades, respectivamente, por unidade de demanda. Quer dizer, estes setores devem diminuir as emissões em maior intensidade em relação aos outros setores da economia. Já em relação aos poluentes da água, além do setor de siderurgia e metalurgia, ganham relevância

os setores de material eletroeletrônico, madeira, mobiliário, papel e celulose e gráfica e farmacêutica e veterinária, que apresentaram, respectivamente, 0,0034, 0,0033 e 0,0029 de requisitos de redução das emissões residuais na água. Um aspecto importante na análise destes resultados pode ser mais bem visualizado nos setores da agropecuária, extrativo mineral e comércio e serviços. Nesses setores, mesmo sem a internalização de coeficientes de impacto direto, em função da interdependência econômica e ambiental que ocorre com o uso dos insumos, deve haver redução de determinadas quantidades de poluentes do ar e da água no processo produtivo.

Finalmente, foi feita uma análise comparativa entre o que se designou chamar de multiplicador simples de base econômica e os de base ambiental. Os impactos totais de base econômica foram ligeiramente inferiores àqueles designados de base ambiental. A explicação desse fato pode ser baseada nas considerações analíticas de que, com o tratamento endógeno das despesas de controle da poluição, gera-se um processo induzido de renda que aumenta o valor do multiplicador. Assim, importante inferência feita é de que, com o processo de controle, induz-se o nível da renda e, conseqüentemente, o nível de emprego e o sistema de transação dos insumos intermediários na economia.

Algumas conclusões importantes foram retiradas dos resultados obtidos:

- A economia brasileira é intensiva na emissão de poluentes industriais.
- Os setores mais intensivos na emissão de poluição foram siderurgia e metalurgia, química e petroquímica e de outras indústrias, sendo os dois primeiros os mais dinâmicos na economia brasileira.
- Conseqüentemente, as maiores parcelas dos custos são distribuídas nos setores mais intensivos nas emissões. Os cinco setores que absorveram a maior parcela de custos estimados foram os de outras indústrias, com 1,26, siderurgia e metalurgia, com 0,84, química e petroquímica, com 0,31, alimentos processados, com 0,29, e têxteis, couros e vestuários, com 0,26 bilhões de dólares.
- Os custos totais de controle total ou da eliminação de 100% de poluição gerada foram estimados em 3,25 bilhões de dólares, e os custos de controle da

poluição do ar absorvem a maior fatia deste montante em relação aos custos de controle da poluição da água - não foram considerados os custos da reparação dos danos causados por poluentes.

- Investimentos anuais para o controle da poluição industrial induzem ao crescimento da economia, desde que se conceba que as atividades de controle de poluição não gerem poluentes adicionais, conforme os pressupostos adotados neste estudo.
- As maiores parcelas dos custos por componentes de poluição distribuem-se entre SO<sub>2</sub>, substâncias tóxicas, NO<sub>2</sub>, componentes orgânicos voláteis e o agregado de poluentes da água, respectivamente, com 1,08; 1,0; 0,51; e 0,45 bilhões de dólares.

O estudo desenvolvido nesta pesquisa deve ser permanentemente implementado, com novos ajustamentos e tratamentos operacionais ao modelo analítico utilizado. Sugere-se o desenvolvimento de experimentos que considerem diferentes níveis de tolerância à capacidade de absorção de poluição na economia. Os ajustamentos podem ser realizados nas contas do valor adicionado, de forma que se admita que o agente central de controle capte as receitas totais referentes às despesas com as atividades de controle.

Uma tentativa interessante seria a alternativa de formular o modelo ampliado de Leontief como um modelo de otimização de acordo com os princípios comportamentais de mercado e postular a economia com a possibilidade de escolha entre técnicas alternativas de produção, consumo e redução de poluição, isto é, entre o consumo econômico e a qualidade ambiental. O uso de modelos de programação linear constitui outro importante instrumento na modelagem, podendo-se, neste caso, tratar os níveis de poluição tolerados no sistema como uma variável endógena.

Existem algumas restrições à generalização dos resultados obtidos, uma vez que a geração e o custo de poluição foram valores estimados e calculados com base nos coeficientes do IPPS da economia americana. Pressupõe-se que esses coeficientes de intensidade não sejam definitivos, pois admite-se certo diferencial tecnológico entre os diferentes agregados econômicos e, sobretudo, na

estrutura produtiva de cada país. Além disso, as estimativas calculadas com base no valor da produção não captam as relações de preço existentes entre países e a base de dados da construção dos coeficientes do IPPS do Banco Mundial. Outra restrição reside na dificuldade da harmonização do padrão internacional de classificação industrial, que, de uma ou de outra forma, induz a erros nas estimativas. Desse modo, as estimativas de custo e de geração de poluentes constituem importantes indicadores para futuros estudos nesta linha de pesquisa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, P.R., MONTOYA, M.A. Perspectivas da utilização de modelos de insumo-produto na administração do meio ambiente. In: MONTOYA, M.A. **Relações intersetoriais do MERCOSUL e da economia brasileira: uma abordagem de equilíbrio geral do tipo insumo-produto**. Passo Fundo: UPF, 1998. 366 p.
- AFSAH, S., LAPLANTE, B., WHEELER, D. **Controlling industrial pollution: a new paradigm**. Washington, D.C., The World Bank, Policy Research Department, 1996. 16 p. (Policy Research Working Paper, 1672).
- ARORA, S., CASON, T.N. A voluntary approach to environmental regulation: the 33/50 program. **Resources for the Future**, Summer 1994.
- AYRES, R., KNEESE, A. Production, consumption and externalities. **American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282-297, 1969.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Pesquisa gestão ambiental na indústria brasileira**. Rio de Janeiro, 1998. 71 p.
- BARRET, S. Strategic environment policy and international trade. **Journal of Public Economics**, v. 54, n. 3, p. 325-338, 1994.
- BIRD, P.J.W.N. Neoclassical and post Keynesian environmental economics. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 4, n. 4, p. 586-593, 1982.

- BLACKMAN, A., HARRINGTON, W. The use of economic incentives in developing countries: Lessons from international experience with industrial air pollution. **The Journal of Environment & Development**, v. 9, n.1, p. 5-44, 2000.
- BULMER-THOMAS, V. **Input-output analysis in development countries: sources methods and applications**. London: John Wiley & Sons, 1982.
- CAIRNCROSS, F. **Meio ambiente: custos e benefícios**. São Paulo: Nobel, 1992.
- CARDOSO Jr., J.C. **Geração e apropriação de valor adicionado na economia brasileira: um estudo da dinâmica distributiva no período 1990/96**. Rio de Janeiro: IPEA, 2000. (Texto para discussão, 733).
- COASE, R. The problem of social cost. **The Journal of Law and Economics**, v. 3, p. 1-44, 1960.
- COLE, M.A., RAYNER, A.J., BATES, J.M. Trade liberalization and the environment: the case of the Uruguay Round. **The World Economy**, v. 21, n. 3, 1998.
- CUMBERLAND, J.H., STRAM, B. Empirical application of input-output models to environmental problems. In: POLENNISKE, K.R., SKOLKA, J.V. (Eds.). **Advances in input-output analysis**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INPUT-OUTPUT TECHNIQUES, 6, 1974, Vienna. **Proceedings...** Vienna, 1974.
- DALY, H.E. On economics as a life science. **Journal of Political Economy**, v. 76, n.1, p. 392-406, 1968.
- DAVIS, O.A., WHINSTON, A.B. Externalities, welfare, and the theory of games. **Journal of Political Economy**, v. 70, p. 241-262, 1962.
- DORFMAN, R. The nature and significance of input-output. **The Review of Economics and Statistics**, v. 36, n. 2, p. 121-133, 1954.
- DORFMAN, R., SAMUELSON, P.A., SOLOW, R.M. **Programación lineal y análisis económico**. Madrid: Aguilar, 1964. 572 p.
- EDER, P.E., NARODOSLAWSKY, M. What environmental pressures are a regions's industries responsible for? A method of analysis with descriptive indices and input-output models. **Ecological Economics**, v. 29, p. 359-374, 1999.

- FISHER, A.C. **Resource and environmental economics**. Cambridge: Cambridge University, 1981. 284 p.
- FLICK, W.A. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach: a comment. **The Review of Economics and Statistics**, v. 57, p. 107-109, 1974.
- GUILHOTO, J.J.M. Mudanças estruturais e setores chaves na economia brasileira, 1960-1990. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMETRIA, 14, 1992, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão-SP: SBE, 1992. v. 1, p. 293-310.
- GUILHOTO, J.J.M., PICERNO, A.E. Estrutura produtiva, setores-chave e multiplicadores setoriais: Brasil e Uruguai comparados. **Revista Brasileira de Econometria**, Rio de Janeiro, 1995.
- GUILHOTO, J.J.M., SONIS, M., HEWINGS, G.J.D., MARTINS, E.B. Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959/80. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 287-314, 1994.
- HADDAD, P.R. **Economia regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1989. 694 p.
- HAMILTON, J.T. Pollution as news: media and stock market reactions to the toxics release inventory data. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, n. 1, p. 38-48, 1995.
- HARBERGER, A.C. Monopoly and resources allocation. **American Economics Review**, v. 44, p. 77-87, 1954.
- HARTMAN, R.S., WHEELER, D., SINGH, M. **The cost air pollution abatement**. Washington, D.C.: World Bank, 1994. 31 p. (Policy Research Working Paper Series, 1398).
- HARTOG, H., HOUWELING, A. Pollution, abatement and the economic structure of the Netherlands. In: POLENNISKE, K.R., SKOLKA, J.V. (Eds.). Advances in input-output analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INPUT-OUTPUT TECHNIQUES, 6, 1974, Vienna. **Proceedings...** Vienna, 1974.
- HAWKINS, D., SIMON, H.A. Some conditions of macroeconomic stability. **Econometrica**, v. 17, p. 245-248, 1949.
- HEAD, J.G. Public good and public policy. **Public Finance**, v. 17, p. 197-219, 1962.

- HETTIGE, H., MARTIN, P., SINGH, M., WHEELER, D. **The industrial pollution projection system**. Washington, D.C.: World Bank, 1994. 14 p. (Policy Research Working Paper, 1431).
- HETTIGE, H., MARTIN, P., SINGH, M., WHEELER, D. **IPPS: the industrial pollution projection system**. Washington, D.C.: World Bank, 1995. (Policy Research Department Working Paper).
- HETTIGE, H., MANI, M., WHEELER, D. **Industrial pollution in economic development: Kuznets revisited**. Washington, D.C.: World Bank, 1997. 33 p. (Development Research Group).
- HOTELLING, H. The general welfare in relation to problems of taxation and of railway and utility rates. In: ARROW, K., SCITOVSKY, T. Readings in welfare economics. **The American Economics Association**, v. 12, p. 284-308, 1969.
- HUSSEN, A.M. **Principles of environmental economics: economics, ecology and public policy**. London: Routledge, 2000. 431 p.
- ISARD, W. **Ecological-economic analysis for regional development**. New York, 1968.
- ISARD, W. **Introduction to regional science**. New Jersey: Prentice-Hall International, 1975. 506 p.
- LAPLANTE, B., LANOIE, P. The market response to environmental incidents in Canada: a theoretical and empirical analysis. **Southern Economic Journal**, v. 60, n. 3, p. 657-672, 1994.
- LEE, K.S. A generalized input-output model of an economy with environmental protection. **The Review of Economics and Statistics**, v. 64, n. 3, p. 466-473, 1982.
- LEONTIEF, W. Environmental repercussions and economic structure: an input-output approach. **The Review of Economics and Statistics**, v. 3, p. 262-271, 1970.
- LEONTIEF, W. Environmental repercussions and economics structure: an input-output approach: a reply. **The Review of Economics and Statistics**, v. 57, p. 109-110, 1974.
- LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. 2.ed. São Paulo: Nova Cultural, 1986. 226 p.

- LUPTACIK, M., BÖHM, B. A consistent formulation of the Leontief pollution model. **Economic Systems Research**, v. 11, n. 3, p. 263-275, 1999.
- MÁIMOM, D. **Ensaio sobre a economia do meio ambiente**. APED, 1992. 150 p.
- MARGULIS, S. **A regulamentação ambiental: instrumentos de implementação**. Rio de Janeiro: IPEA, 1996. 42 p. (Texto para Discussão, 437).
- MENDES, F.E. **Uma estimativa dos custos de controle da poluição hídrica de origem industrial no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.
- MIERNYK, W.H. **Elementos de análise do insumo-produto**. São Paulo: Atlas, 1974. 164 p.
- MILLER, R.E., BLAIR, P.D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice Hall, 1985.
- MIRANDA, C.R. Economia e meio ambiente: uma abordagem de insumo-produto. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 601-636, 1980.
- MISHAN, E.J. The postwar literature on externalities: an interpretative essay. **Journal of Economic Literature**, p. 1-28, 1971.
- MIYAZAWA, K. **Input-output analysis and the structure of income distribution**. Springer-Verlag. 1976. 135 p. (Lecture notes in economics and mathematical systems, 116).
- MUELLER, C.C. **O pensamento econômico e o meio ambiente: bases para uma avaliação das principais correntes da economia ambiental**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 1994. 39 p. (DT, 35).
- NEUMAYER, E. Trade and environment: a critical assessment and some suggestions for reconciliation. **The Journal of Environment & Development**, v. 9, n. 2, p. 138-159, 2000.
- NG, Y. Recent developments in the theory of externality and the Pigouvian solution. **The Economic Record**, p. 169-185, 1971.
- OGDEN, D.C. Economics analysis of air pollution. **Land Economics**, v. 42, n. 2, p. 137-147, 1966.

- PARGAL, S., WHEELER, D. Informal regulation of industrial pollution in developing countries: Evidence from Indonesia. **Journal of Political Economy**, v. 104, n. 6, p. 1314-1327, 1996.
- PERRONI, C.E., WIGLE, R. Environmental policy modeling. In: HERTEL, T.W. (Ed.). **Global trade analysis: modeling and applications**. Cambridge: Cambridge University, 1997. 403 p.
- PIGOU, A.C. **The economics of welfare**. 4.ed. London: Macmillan, 1960.
- PIREDDU, G. Pollution, externalities and optimal provision of public goods: a computable general equilibrium approach. In: FOSSATI, A. **Economic modelling under the applied general equilibrium approach**. University of Genova, 1996. p. 75-104.
- PORTER, M.E., LINDE, C.V.D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.
- RHEE, J.J., MIRANOWSKI, J.A. Determination of income, production and employment under pollution control: an input-output. **Review of Economics and Statistics**, v. 66, n. 1, p. 146-150, 1984.
- RICHARDSON, H.W. **Input-output and regional economics**. London: Weidenfeld & Nicolson, 1972.
- SADOULET, E., DE JANVRY, A. **Quantitative development policy analysis**. Baltimore: The Johns Hopkins University, 1995. 397 p.
- SCITOVSKY, T. Two concepts of external economies. In: ARROW, K., SCITOVSKY, T. Readings in welfare economics. **The American Economics Association**, v. 12, p. 242-252, 1969.
- SEROA DA MOTTA, R., MENDES, F.E., NASCIMENTO, C.A., ROSITO, T. **Current status of industrial air pollution control in Brazil**. Rio de Janeiro: IPEA/DIPES, 1993. 25 p. (Mimeogr.).
- SEROA DA MOTTA, R., OLIVEIRA, J.M.D., MARGULIS, S. **Proposta de tributação ambiental na atual reforma tributária**. Rio de Janeiro: IPEA, 2000. 18 p. (Texto para discussão, 738).
- SHAMAN, D. **Brazil's pollution regulatory structure and background**. Washington, D.C.: World Bank Group, 1996. 14 p.

- SILVEIRA, S.F.R., GUILHOTO, J.J.M. Análise da estrutura produtiva: os setores-chave da economia brasileira e das economias do sistema inter-regional da região da Bacia do São Francisco. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 31, n. 3, p. 280-302, 2000.
- SMITH, V.K., ESPINOSA, J.A. Environmental and trade policies: some methodological lessons. **Environmental and Development Economics**, Cambridge, v. 1, p. 19-40, 1996.
- SOLOW, R. On the structure of linear models. **Econometrica**, v. 20, p. 29-46, 1952.
- SONIS, M., HEWINGS, G.J.D., GUO, J. Sources of structural change in input-output systems: a field of influence approach. **Economic Systems Research**, v. 8, n.1, p.15-32, 1996.
- SOUZA, N.J. **Desenvolvimento econômico**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1999. 415 p.
- THOSS, R.A. A generalized input-output model for residuals management. In: POLENNISKE, K.R., SKOLKA, J.V. (Eds.). Advances in input-output analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INPUT-OUTPUT TECHNIQUES, 6, 1974, Vienna. **Proceedings...** Vienna, 1974.
- TORRES, H. **Emergência das indústrias “sujas” e intensivas em recursos naturais no cenário industrial brasileiro**. Brasília: ISPN, 1992. 34 p.
- UHLIN, H.E., THAMPAPILLAI, D.J. Environmental capital and sustainable income: basic concepts and empirical tests. **Cambridge Journal of Economics**, v. 21, p. 379-394, 1997.
- VASAVADA, U. Trade policy implication of sustainable agriculture. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, v. 39, p. 593-606, 1991.
- VEIGA, P.M. Evidências sobre as relações entre comércio e meio ambiente no Brasil. **RBCE**, n. 41, p. 73-95, 1994.
- VIANA, A.C., NOGUEIRA, J.M. ISO 14000 - comércio internacional e meio ambiente. In: CADERNO de pesquisa e desenvolvimento agrícola e economia do meio ambiente. Brasília: UnB/NEPAMA, 1998. v. 3, 16 p.
- VICTOR, P.A. **Economics of pollution**. London: The Macmillan, 1972. 78 p.
- WORLD BANK. World Bank policy and research. International trade and environment. **Bulletin**, v. 4, n. 1, p. 2-6, 1993.

WORLD BANK GROUP. **Estimating pollution load: the industrial pollution projection system (IPPS)**. (<http://www.worldbank.org/nipr/polmod.htm>).

YAN, C.S. **Introduction to input-output economics**. New York: Rinehart & Winston, 1969.

YOUNG, C.E.F. Industrial pollution and export-oriented policies in Brazil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 4, p. 543-561, 1998.

YOUNG, C.E.F., PEREIRA, A.A., HARTJE, B.C.R. **Sistema de contas ambientais para o Brasil: estimativas preliminares**. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2000. 83 p. (Textos para Discussão, 448).



## **APÊNDICE**

Quadro 1A - Matriz de poluentes industriais tóxicos da água, da terra e do ar, segundo o padrão internacional de classificação industrial (ISIC)

Description	ISIC code	ALB	AIQ	LLB	LIQ	WLB	WIQ	TLB	TIQ
Meat Products	3111	10817	16753	10105	2286	1621	0	22543	19039
Dairy Products	3112	9979	4459	81750	168470	7187	0	98916	172929
Preserved Fruits & Vegetables	3113	11676	7670	40837	11598	3284	0	55797	19268
Fish Products	3114	1657	0	1892	0	0	0	3548	0
Oils And Fats	3115	88464	19843	516865	30110	28611	0	633940	49952
Grain Mill Products	3116	1952	0	825	0	0	0	2776	0
Bakery Products	3117	546	0	664	0	0	0	1210	0
Sugar Factories & Refineries	3118	15649	4040	74769	70323	437	0	90855	74363
Confectionery Products	3119	5735	0	7143	0	0	0	12878	0
Food Products, N.E.C.	3121	10759	6357	19161	4334	766	0	30686	10691
Prepared Animal Foods	3122	7194	26731	9452	10776	611	0	17256	37507
Distilled Spirits	3131	557	0	5790	0	18997	0	25344	0
Wine Industries	3132	14828	0	37608	0	0	0	52436	0
Malt Liquors And Malt	3133	47083	0	25398	0	2668	0	75148	0
Tobacco Manufactures	3140	126595	0	12545	0	860	0	140001	0
Spinning, Weaving, & Finishing Textiles	3211	32883	36902	30564	16269	16757	28,19	80205	53199
Made-Up Textiles Except Apparel	3212	19783	0	3336	0	268	0	23386	0
Knitting Mills	3213	9396	5941	18383	39118	866	6,79	28645	45066
Carpets And Rugs	3214	35714	33167	64411	112472	8574	0	108699	145640
Cordage, Rope & Twine	3215	170394	0	467	0	0	0	170861	0
Textiles, N.E.C.	3219	865478	490626	194973	43724	78	0	1060530	534349
Wearing Apparel	3220	703	0	265	0	0	0	969	0
Tanneries And Leather Finishing	3231	744193	295005	1994882	755981	34593	0	2773669	1050986
Fur Dressing And Dyeing	3232	51072	0	63532	0	1480	0	116083	0
Leather Products	3233	5513	0	326	0	0	0	5839	0
Footwear	3240	27381	0	809	0	3	0	28193	0
Sawmills, Planing & Other Wood Mills	3311	25205	75510	7919	8840	121	0	33245	84350
Wooden & Cane Containers; Small Cane Ware	3312	487	0	34	0	0	0	522	0
Wood & Cork Products, N.E.C.	3319	96807	0	9019	0	8	0	105835	0

Quadro 1A, Cont.

Description	ISIC code	ALB	AIQ	LLB	LIQ	WLB	WIQ	TLB	TIQ
Furniture & Fixtures, Nonmetal	3320	95958	276859	8645	6839	69	0	104671	283698
Pulp, Paper, & Paperboard	3411	870966	246378	401453	10341	290395	9975,39	1562814	266695
Paper & Paperboard Containers & Boxes	3412	59353	255410	10850	22005	901	0	71104	277415
Pulp, Paper & Paperboard Articles,	3419	280408	706426	70700	66894	1059	0	352167	773320
Printing & Publishing	3420	38842	142803	5246	17208	2	0	44089	160011
Industrial Chemicals Except Fertilizer	3511	1864489	234464	6476322	249668	941970	221,55	9282781	484354
Fertilizers & Pesticides	3512	826872	53799	1120738	32486	38790	0	1986400	86285
Synthetic resins, plastics materials & manmade fibres	3513	1501718	420231	1244935	129310	109799	98,14	2856452	549639
Paints, Varnishes, & Lacquers	3521	380104	145050	912084	85603	990	0	1293178	230653
Drugs And Medicines	3522	336993	151467	504402	93248	13021	0	854416	244714
Soap, Cleaning Preps., Perfumes, & Toilet Preps.	3523	110143	33255	186441	24978	1584	0	298168	58233
Chemical Products, N.E.C.	3529	412880	116536	187555	48448	12370	0	612805	164984
Petroleum Refineries	3530	962835	482368	4077245	77369	72606	11783,35	5112686	571521
Misc. Petroleum & Coal Products	3540	118870	12618	34989	15336	3480	0	157339	27955
Tires And Tubes	3551	22001	14642	37992	20828	455	0	60448	35471
Rubber Products, N.E.C.	3559	143254	176319	54735	31227	35	0	198024	207546
Plastics Products, N.E.C.	3560	200346	387227	59357	14525	489	0	260192	401752
Pottery, China, & Earthenware	3610	29582	21316	48404	46728	63	0	78049	68043
Glass And Glass Products	3620	25492	17725	16400	1732	2066	0	43958	19458
Structural Clay Products	3691	80416	3235	35446	13228	160	0	116022	16463
Cement, Lime, And Plaster	3692	5709	5401	16290	10683	8817	0	30816	16084
Nonmetallic Mineral Products, N.E.C.	3699	51019	118148	83995	57628	253	0	135268	175776
Iron And Steel	3710	156921	53404	899499	174261	55775	33,64	1112195	227699
Nonferrous Metals	3720	579987	62078	1537357	46631	22527	0,23	2139871	108710
Cutlery, Hand Tools, & General Hardware	3811	65342	78987	35746	27376	225	0	101313	106363
Furniture & Fixtures Of Metal	3812	55552	96493	28409	30356	120	0	84081	126849
Structural Metal Products	3813	28672	75125	32317	18944	7203	0	68192	94069
Fabricated Metal Products	3819	139028	118455	169810	65075	4661	0	313499	183530
Engines And Turbines	3821	88267	106997	77559	44956	1073	0	166899	151953
Agricultural Machinery & Equipment	3822	36578	72889	10087	6424	1361	0	48025	79312

Quadro 1A, Cont.

Description	ISIC code	ALB	AIQ	LLB	LIQ	WLB	WIQ	TLB	TIQ
Metal & Wood Working Machinery	3823	13994	36750	30715	11682	322	0	45030	48431
Special Industrial Machinery & Equipment	3824	18737	42549	30954	9877	337	0	50029	52426
Office, Computing, & Accounting Machinery	3825	20536	36917	7286	3984	14	0	27836	40901
Machinery & Equipment, N.E.C.	3829	47981	62699	21584	12847	1519	0	71084	75546
Electrical Industrial Machinery	3831	38279	0	18914	0	198	0	57392	0
Radio, Tv, & Communication Equipment	3832	80974	50333	73050	38661	716	0	154740	88994
Electrical Appliances & Housewares	3833	23364	0	13542	0	5	0	36911	0
Electrical Apparatus And Supplies, N.E.C.	3839	45587	29582	94347	31193	1135	0	141069	60775
Shipbuilding And Repairing	3841	155191	536301	22370	3342	22	0	177583	539644
Railroad Equipment	3842	46764	0	25083	0	27	0	71874	0
Motor Vehicles	3843	109559	83684	49535	23856	543	0	159637	107540
Motorcycles And Bicycles	3844	35827	0	26005	0	14501	0	76333	0
Aircraft	3845	77942	82864	40352	25276	173	0	118467	108141
Professional & Scientific Equipment	3851	30241	48061	14770	10555	107	0	45118	58616
Photographic And Optical Goods	3852	62895	0	34232	0	6	0	97132	0
Watches And Clocks	3853	56251	0	29088	0	0	0	85339	0
Jewelery And Related Articles	3901	16009	0	5764	0	1589	0	23363	0
Musical Instruments	3902	53327	0	40361	0	0	0	93688	0
Sporting And Athletic Goods	3903	37445	121707	11518	15245	27	0	48990	136952
Manufacturing Industries, N.E.C.	3909	39484	85886	18001	19307	326	0	57812	105193

Fonte: HETTIGE et al. (1994).

ALB - Air Lower Bound; WLB - Water Lower Bound; AIQ - Air Inter Quartile; WIQ - Water Inter Quartile; LLB - Land Lower Bound; TLB - Total Lower Bound; LIQ - Land Inter Quartile; TIQ - Total Inter Quartile.

Quadro 2A - Coeficientes de custos médios estimados para o controle de poluentes industriais, em dólares de 1987, por tonelada

	PT	SO2	NO2	VOC	PB	TXAIR	AOTH	WCON	WNON	WTXMT	WTXOG
<b>ISIC 2</b>											
31	100,36	116,52	116,75	195,36	1.657,59	1.277,21	62,61	5,79	317,66	532,66	268,27
32	255,92	116,52	1.990,48	797,47	1.657,59	1.050,88	62,61	71,59	317,66	785,63	167,83
33	43,18	116,52	86,69	195,36	1.657,59	24.680,50	62,61	114,76	317,66	532,66	268,27
34	42,34	116,52	136,26	157,42	1.657,59	1.050,88	62,61	84,68	197,22	532,66	268,27
35	71,77	222,48	19,09	175,85	354,34	81,94	62,61	233,76	397,00	532,66	268,27
36	20,57	58,07	116,75	195,36	1.657,59	1.050,88	62,61	58,43	317,66	532,66	268,27
37	173,57	91,67	116,75	2.286,75	2.199,50	1.050,88	62,61	102,21	317,66	532,66	100,74
38	426,72	363,14	116,75	791,91	122,18	544,18	62,61	274,25	317,66	279,70	286,71
39	40,70	116,52	116,75	79,02	7.281,34	1.050,88	62,61	266,63	317,66	532,66	1.038,97
<b>ISIC 3</b>											
311	74,96	234,92	162,74	156,05	158.095,65	1.277,21	285,41	44,86	71,68	410,98	256,38
312	121,50	59,95	162,74	289,69	354,34	1.277,21	285,41	77,63	303,53	410,98	168,42
313	176,39	270,85	2.963,14	195,36	354,34	1.277,21	285,41	22,16	303,53	410,98	256,38
314	218,58	183,46	183,46	21.117,15	183,46	183,46	183,46	585,94	303,53	410,98	256,38
321	268,73	205,15	1.937,46	819,34	1.419,91	505,51	285,41	65,55	303,53	785,63	167,83
322	255,92	205,15	1.990,48	797,47	1.657,59	505,51	285,41	71,59	303,53	785,63	167,83
323	86,74	205,15	5.228,41	213,62	86,37	445,17	654,98	253,70	616,31	1.244,14	167,83
324	764,78	714,65	1.990,48	1.823,60	43.888,68	2.166,96	1.606,15	1.089,34	303,53	785,63	167,83
331	44,12	205,15	86,69	325,95	354,34	205,17	285,41	123,28	303,53	410,98	256,38
332	40,30	3.085,61	86,69	325,95	354,34	26.177,30	285,41	40,82	303,53	1.080,71	256,38
341	40,56	112,81	136,26	325,95	354,34	505,51	61,51	84,27	190,82	410,98	256,38
342	77,56	77,93	251,51	246,66	77,93	11.120,67	77,93	98,17	280,00	112,58	442,00
351	7,70	222,48	142,03	91,11	444,34	22,46	51,06	215,67	328,81	410,98	256,38
352	57,33	837,47	10,32	85,70	354,34	81,94	285,41	456,66	397,00	671,94	736,13
353	23,50	187,83	65,71	188,38	3,84	3,84	3,84	269,27	724,01	410,98	1.016,51

Quadro 2A, Cont.

	PT	SO2	NO2	VOC	PB	TXAIR	AOTH	WCON	WNON	WTXMT	WTXOG
354	64,66	625,53	19,09	85,24	354,34	81,94	285,41	17,53	17,45	17,45	4.053,69
355	285,37	876,89	19,09	325,95	354,34	81,94	2.349,07	111,34	111,96	111,96	111,96
356	131,35	222,48	19,09	175,85	354,34	81,94	285,41	233,76	397,00	410,98	268,27
361	68,78	58,07	11.297,03	5.043,80	65,77	65,77	6.886,51	48,97	49,60	128,26	49,60
362	141,20	58,07	510,33	136,23	136,23	136,23	136,23	298,13	527,28	655,17	256,38
369	19,02	24,47	162,74	325,95	354,34	505,51	285,41	48,90	303,53	410,98	256,38
371	167,80	40,69	106,03	2.420,94	2.176,47	667,97	285,41	91,25	279,01	486,93	87,32
372	199,42	151,14	116,75	1.326,90	874,22	2.021,18	285,41	85,09	78,47	410,98	100,74
381	358,82	1.095,76	69,38	362,22	122,18	544,18	387,36	195,92	304,22	182,60	286,71
382	383,32	388,09	162,74	373,66	122,18	2.137,93	285,41	226,41	402,55	279,70	286,71
383	331,03	59,40	343,31	558,85	237,93	466,84	581,34	193,75	193,64	235,55	253,72
384	507,30	205,15	690,84	1.584,70	43.502,49	544,18	285,41	427,15	695,01	279,70	673,40
385	905,95	205,15	987,68	1.660,18	122,18	544,18	285,41	282,97	303,53	410,98	263,45
390	40,70	205,15	162,74	79,02	7.281,34	505,51	285,41	266,63	303,53	410,98	1.038,97
<b>ISIC 4</b>											
3111	85,49	2.876,84	3.244,87	62.068,44	236,93	111.937,79	2.294,19	63,29	75,36	671,94	286,71
3112	166,03	1.466,13	330,51	195,36	236,93	1.277,21	387,36	88,95	71,68	671,94	286,71
3113	280,75	234,92	1.260,92	195,36	236,93	1.277,21	477,28	66,87	149,70	671,94	286,71
3114	74,96	234,92	330,51	195,36	236,93	1.277,21	387,36	153,02	71,68	671,94	286,71
3115	53,07	258,67	330,51	195,36	153.277,47	1.277,21	387,36	148,42	71,68	671,94	490,58
3116	121,22	234,92	330,51	154,48	236,93	1.277,21	387,36	80,33	71,68	671,94	286,71
3117	64,83	63,98	63,98	195,36	63,98	63,98	63,98	164,26	2.747,24	671,94	286,71
3118	57,50	234,92	330,51	195,36	236,93	1.277,21	387,36	5,92	71,68	671,94	286,71
3119	249,34	236,93	236,93	31.750,22	236,93	236,93	236,93	184,19	71,68	671,94	6.189,59
3121	201,09	35,00	330,51	195,36	236,93	1.277,21	387,36	64,44	319,26	671,94	147,65
3122	65,51	59,95	330,51	195,36	236,93	1.277,21	387,36	396,63	319,26	671,94	168,42

Quadro 2A, Cont.

168

	PT	SO2	NO2	VOC	PB	TXAIR	AOTH	WCON	WNON	WTXMT	WTXOG
3131	176,39	622,54	2.963,14	195,36	236,93	1.277,21	387,36	183,49	319,26	671,94	286,71
3132	176,39	270,85	2.963,14	195,36	236,93	1.277,21	387,36	57,23	319,26	671,94	286,71
3133	165,46	270,85	11.811,79	195,36	236,93	1.277,21	387,36	15,80	319,26	671,94	286,71
3140	218,58	183,46	183,46	21.117,15	183,46	183,46	183,46	585,94	319,26	671,94	286,71
3211	243,80	270,85	2.670,28	819,34	1.362,29	544,18	387,36	83,58	319,26	785,63	167,83
3212	268,73	270,85	1.937,46	819,34	1.419,91	544,18	387,36	65,55	319,26	785,63	167,83
3213	856,68	270,85	1.937,46	819,34	1.419,91	544,18	40.355,71	337,68	591,08	281,97	3.991,36
3214	268,73	270,85	1.937,46	819,34	1.419,91	544,18	387,36	65,55	319,26	785,63	167,83
3215	268,73	270,85	1.937,46	819,34	1.419,91	544,18	387,36	65,55	319,26	785,63	167,83
3219	195,31	287,48	287,48	941,93	287,48	287,48	287,48	26,95	319,26	785,63	167,83
3220	255,92	270,85	1.990,48	797,47	1.657,59	544,18	387,36	71,59	319,26	785,63	167,83
3231	329,64	300,13	300,13	366,79	300,13	300,13	300,13	148,50	442,17	2.753,81	167,83
3232	27,19	270,85	7.305,40	23,69	23,69	87.315,90	776,36	270,82	616,31	1.244,14	10.160,65
3233	86,74	270,85	5.228,41	213,62	86,37	445,17	654,98	253,70	616,31	1.244,14	167,83
3240	764,78	714,65	1.990,48	1.823,60	43.888,68	2.166,96	1.606,15	1.089,34	319,26	785,63	167,83
3311	41,71	270,85	86,69	327,03	236,93	205,17	387,36	172,76	319,26	499,64	286,71
3312	44,12	270,85	86,69	327,03	236,93	205,17	387,36	123,28	319,26	671,94	286,71
3319	47,24	270,85	86,69	342,07	236,93	205,17	387,36	98,37	319,26	671,94	286,71
3320	40,30	3.085,61	86,69	327,03	236,93	26.177,30	387,36	40,82	319,26	1.080,71	286,71
3411	40,74	106,22	136,26	157,42	236,93	544,18	62,94	84,17	185,36	671,94	286,71
3412	119,86	494,07	141,69	944,92	141,69	141,69	141,69	179,80	745,62	10.869,82	4.682,80
3419	40,56	112,81	136,26	327,03	236,93	544,18	61,51	84,27	190,82	671,94	286,71
3420	77,56	77,93	251,51	246,66	77,93	11.120,67	77,93	98,17	280,00	112,58	442,00
3511	2,43	222,48	146,34	133,38	444,34	22,46	39,87	175,72	281,69	671,94	205,95
3512	69,01	183,94	510,55	295,80	79,33	1.352,11	159,73	954,46	487,04	671,94	448,19
3513	71,23	222,48	120,66	81,70	1.413,43	70,04	51,06	592,02	369,16	671,94	532,80
3521	240,30	382,27	382,27	969,97	382,27	382,27	382,27	95,33	397,00	824,58	210,34

Quadro 2A, Cont.

169

	PT	SO2	NO2	VOC	PB	TXAIR	AOTH	WCON	WNON	WTXMT	WTXOG
3522	260,47	1.311,88	706,55	141,26	354,34	81,94	387,36	452,89	397,00	671,94	1.793,01
3523	118,91	114,67	114,67	311,99	114,67	114,67	1.019,26	325,08	124,73	671,94	235,82
3529	39,57	1.131,23	10,32	236,23	354,34	81,94	415,71	567,55	397,00	2.369,13	2.830,20
3530	23,50	187,83	65,71	188,38	3,84	3,84	3,84	269,27	724,01	671,94	1.016,51
3540	64,66	625,53	19,09	85,24	354,34	81,94	387,36	17,53	17,45	17,45	4.053,69
3551	287,18	863,29	241,67	241,67	241,67	241,67	2.252,47	108,85	109,83	109,83	109,83
3559	215,66	462,09	191,21	191,21	191,21	191,21	191,21	860,94	111,96	111,96	111,96
3560	176,39	222,48	19,09	175,85	354,34	81,94	387,36	233,76	397,00	671,94	268,27
3610	68,78	58,07	11.297,03	5.043,80	65,77	65,77	6.886,51	48,97	49,60	128,26	49,60
3620	141,20	58,07	510,33	136,23	136,23	136,23	136,23	298,13	527,28	655,17	286,71
3691	58,68	549,50	330,51	327,03	236,93	544,18	387,36	54,64	319,26	6.043,03	286,71
3692	13,00	14,08	330,51	327,03	236,93	544,18	387,36	11,74	2.741,22	671,94	286,71
3699	65,26	3.778,44	330,51	327,03	236,93	544,18	387,36	96,40	319,26	671,94	286,71
3710	167,80	40,69	106,03	2.420,94	2.176,47	667,97	387,36	91,25	279,01	486,93	87,32
3720	199,42	151,14	116,75	1.326,90	874,22	2.021,18	387,36	85,09	78,47	671,94	100,74
3811	811,86	425,46	2.970,28	1.188,00	122,18	544,18	387,36	339,21	2.080,81	787,34	1.292,92
3812	305,50	1.095,76	69,38	221,65	122,18	544,18	387,36	314,74	327,90	764,83	327,90
3813	397,29	1.095,76	69,38	362,22	122,18	24.490,81	387,36	103,71	105,80	357,03	105,80
3819	298,06	921,64	69,38	378,35	122,18	544,18	943,36	202,13	268,43	164,50	286,71
3821	529,32	1.137,79	462,85	462,85	462,85	462,85	462,85	577,25	457,15	279,70	286,71
3822	140,94	388,09	5.302,63	5.763,76	122,18	2.137,93	20.071,78	221,60	402,55	839,41	286,71
3823	685,31	3.425,84	330,51	373,66	122,18	2.137,93	387,36	79,97	559,13	40,00	286,71
3824	429,31	463,29	330,51	373,66	122,18	2.137,93	387,36	195,38	383,52	279,70	286,71
3825	383,32	317,72	317,72	490,05	317,72	34.274,83	317,72	226,41	402,55	279,70	286,71
3829	358,25	251,75	330,51	261,92	122,18	1.865,86	387,36	220,09	402,55	279,70	286,71
3831	379,29	537,74	343,31	558,85	122,18	466,84	875,01	655,60	193,64	2.104,54	253,72
3832	535,27	59,40	584,68	710,22	122,18	595,62	1.115,44	143,82	143,89	143,89	143,89



Quadro 2A, Cont.

	PT	SO2	NO2	VOC	PB	TXAIR	AOTH	WCON	WNON	WTXMT	WTXOG
3833	46,94	76,34	76,34	241,77	76,34	5.016,06	38.225,94	313,52	11.055,92	1.778,67	837,38
3839	283,27	59,40	995,21	473,71	223,27	466,84	581,34	473,86	485,93	1.147,70	485,93
3841	107,53	1.231,55	70,50	70,50	70,50	70,50	70,50	437,25	695,01	279,70	673,40
3842	131,64	1.094,54	690,84	1.584,70	43.502,49	544,18	387,36	194,28	178,52	155.986,95	178,52
3843	505,10	270,85	690,84	1.533,92	43.060,18	544,18	387,36	407,89	686,94	597,23	673,40
3844	507,30	270,85	690,84	1.584,70	43.502,49	544,18	387,36	1.308,87	154,48	154,48	154,48
3845	891,09	1.440,98	690,84	1.173,03	43.502,49	5.084,20	387,36	527,70	695,01	499,56	1.670,17
3851	881,32	270,85	963,31	1.628,00	122,18	544,18	387,36	330,82	310,63	458,25	310,63
3852	1.656,98	43.702,93	46.018,97	1.660,18	2.654,85	2.654,85	387,36	12.812,84	303,53	1.605,18	263,45
3853	905,95	270,85	987,68	1.660,18	122,18	544,18	387,36	282,97	303,53	410,98	263,45
3901	482,02	18.807,59	330,51	79,02	7.281,34	544,18	387,36	717,61	319,26	671,94	1.038,97
3902	40,70	270,85	330,51	79,02	7.281,34	544,18	387,36	266,63	41,36	36,05	36,05
3903	210,36	221,78	221,78	221,78	221,78	221,78	221,78	175,99	319,26	671,94	286,71
3909	22,35	5,36	5,36	75,34	5,36	5,36	387,36	457,31	1.575,72	445,51	445,51

Fonte: HETTIGE et al. (1994).

PT - Particulates; PB - Lead; VOC - Volatile Organic Compounds; TXAIR - Toxic Air; AOTH - Air Other; WCON - Water Conventional; WNON - Water Non-conventional; WTXMT - Toxic Metal Water; WTXOG - Toxic Organic Water.

Quadro 3A - Coeficientes do sistema IPPS para poluentes industriais da água

Descrição Isic	ISIC 4	BOD LB	BOD IQ	TSS LB	TSS IQ
Meat Products	3111	7.182,2	17.356,1	8.906,8	25.907,3
Dairy Products	3112	2.556.411,0	50.566,5	368.217,1	46.249,8
Preserved Fruits & Vegetables	3113	54.357,6	85.693,0	85.749,4	147.959,9
Fish Products	3114	84.938,7	0,0	144.803,4	51.447,6
Oils And Fats	3115	95.975,3	177.784,0	108.436,3	219.827,2
Grain Mill Products	3116	3,2	0,0	40,7	0,0
Bakery Products	3117	13,8	0,0	15,5	0,0
Sugar Factories & Refineries	3118	602.434,9	662.258,2	863.751,5	170.812,8
Confectionery Products	3119	3.543,7	0,0	1.701,6	0,0
Food Products, N.E.C.	3121	604,1	0,0	238,9	0,0
Prepared Animal Foods	3122	409,4	0,0	596,4	0,0
Distilled Spirits	3131	2.115.815,1	35.778,0	3.802.819,9	72.870,3
Wine Industries	3132	5.917,1	0,0	3.247,9	0,0
Malt Liquors And Malt	3133	12.387,7	0,0	28.632,1	0,0
Tobacco Manufactures	3140	714,2	0,0	872,2	0,0
Spinning, Weaving, & Finishing Textiles	3211	9.198,9	47.962,4	14.285,3	86.906,6
Made-Up Textiles Except Apparel	3212	0,0	0,0	0,0	0,0
Knitting Mills	3213	122,7	0,0	247,1	0,0
Carpets And Rugs	3214	2.153,8	0,0	3.622,4	0,0
Cordage, Rope & Twine	3215	0,0	0,0	0,0	0,0
Textiles, N.E.C.	3219	0,0	0,0	527,1	0,0
Wearing Apparel	3220	0,0	0,0	0,0	0,0
Tanneries And Leather Finishing	3231	95.498,5	0,0	180.341,8	0,0
Fur Dressing And Dyeing	3232	15.732,8	0,0	48.087,6	0,0

Quadro 3A, Cont.

Descrição Isic	ISIC 4	BOD LB	BOD IQ	TSS LB	TSS IQ
Leather Products	3233	0,0	0,0	72,8	0,0
Footwear	3240	5.832,4	0,0	5.718,9	0,0
Sawmills, Planing & Other Wood Mills	3311	11.115,1	0,0	52.412,3	0,0
Wooden & Cane Containers; Small Cane Ware	3312	257,8	0,0	461,8	0,0
Wood & Cork Products, N.E.C.	3319	0,0	0,0	0,0	0,0
Furniture & Fixtures, Nonmetal	3320	0,2	0,0	1,7	0,0
Pulp, Paper, & Paperboard	3411	3.302.137,6	1.444.506,3	11.215.316,3	1.814.077,8
Paper & Paperboard Containers & Boxes	3412	11.389,4	0,0	19.555,4	0,0
Pulp, Paper & Paperboard Articles	3419	41.969,9	0,0	41.398,8	0,0
Printing & Publishing	3420	382,2	306.550,1	209,2	74.314,0
Industrial Chemicals Except Fertilizer	3511	1.255.448,8	13.141,2	1.940.529,1	142.156,2
Fertilizers & Pesticides	3512	15.697,9	4.055,8	3.054.594,1	78.574,4
Synthetic Resins, Plastics Materials, & Manmade Fibres	3513	55.872,2	29.999,6	180.549,5	65.734,0
Paints, Varnishes, & Lacquers	3521	60,1	0,0	252,5	0,0
Drugs And Medicines	3522	14.183,2	4.634,4	3.555.879,2	16.932,1
Soap, Cleaning Preps., Perfumes, & Toilet Preps.	3523	33.360,2	37.197,7	47.118,9	47.506,7
Chemical Products, N.E.C.	3529	2.635,6	0,0	3.803,7	0,0
Petroleum Refineries	3530	250.712,4	111.044,4	1.258.255,8	146.528,5
Misc. Petroleum & Coal Products	3540	6.558,0	1.137,5	8.049,9	18.917,5
Tires And Tubes	3551	3,4	0,0	1.506,5	0,0
Rubber Products, N.E.C.	3559	57,0	0,0	267.163,7	0,0
Plastics Products, N.E.C.	3560	54.766,8	1.163,6	1.183,5	5.496,0
Pottery, China, & Earthenware	3610	2.900,9	0,0	7.198,4	0,0
Glass And Glass Products	3620	176,7	0,0	1.250,5	0,0

Quadro 3A, Cont.

Descrição Isic	ISIC 4	BOD LB	BOD IQ	TSS LB	TSS IQ
Structural Clay Products	3691	47,1	0,0	840,3	0,0
Cement, Lime, And Plaster	3692	241,0	0,0	528.465,8	0,0
Nonmetallic Mineral Products, N.E.C.	3699	2.860,3	401,1	4.196,1	36.551,8
Iron And Steel	3710	2.105,4	0,0	31.018.255,6	48.407,9
Nonferrous Metals	3720	575.085,3	0,0	8.312.905,1	13.223,6
Cutlery, Hand Tools, & General Hardware	3811	0,0	0,0	42,0	0,0
Furniture & Fixtures Of Metal	3812	0,0	0,0	72,0	0,0
Structural Metal Products	3813	123,6	0,0	169,8	2.974,6
Fabricated Metal Products	3819	3.043,9	0,0	87.616,2	5.951,9
Engines And Turbines	3821	266,7	0,0	0,0	0,0
Agricultural Machinery & Equipment	3822	0,0	0,0	728,5	0,0
Metal & Wood Working Machinery	3823	15,7	0,0	13.809,7	0,0
Special Industrial Machinery & Equipment	3824	835,5	0,0	683,2	0,0
Office, Computing, & Accounting Machinery	3825	0,3	0,0	103,3	0,0
Machinery & Equipment, N.E.C.	3829	166,0	7,6	3.909,5	832,8
Electrical Industrial Machinery	3831	93,1	0,0	516,4	826,5
Radio, Tv, & Communication Equipment	3832	4.477,8	2,2	6.196,2	1.090,7
Electrical Appliances & Housewares	3833	0,0	0,0	0,0	0,0
Electrical Apparatus And Supplies, N.E.C.	3839	39,3	182,0	241,1	3.087,1
Shipbuilding And Repairing	3841	12,0	0,0	38,0	0,0
Railroad Equipment	3842	0,0	0,0	422,4	0,0
Motor Vehicles	3843	57,3	0,0	288,1	1.578,0
Motorcycles And Bicycles	3844	646,0	0,0	3.836,4	0,0
Aircraft	3845	132,6	50,9	1.153,2	1.390,1

Quadro 3A, Cont.

Descrição Isic	ISIC 4	BOD LB	BOD IQ	TSS LB	TSS IQ
Professional & Scientific Equipment	3851	68,3	0,0	75,9	0,0
Photographic And Optical Goods	3852	49,9	0,0	30,3	0,0
Watches And Clocks	3853	0,0	0,0	0,0	0,0
Jewellery And Related Articles	3901	0,0	0,0	2.875.077,4	0,0
Musical Instruments	3902	0,0	0,0	0,0	0,0
Sporting And Athletic Goods	3903	0,0	0,0	2.279.277,3	0,0
Manufacturing Industries, N.E.C.	3909	6,8	0,0	41,5	0,0

Fonte: HETTIGE et al. (1994).

BOD IQ - BOD Inter-Quartile (Demanda Bioquímica de Oxigênio); BOD LB - BOD Lower-Bound; TSS LB - TSS Lower-Bound (Sólidos Totais em Suspensão); TSS IQ - TSS Inter-Quartile.

Quadro 4A - Coeficientes de intensidade de poluição "Lower Bound" para poluentes do ar baseados no valor da produção industrial, com dados em quilogramas por milhões de dólares de 1987

Descrição Isic	ISIC	SO2	NO2	CO	VOC	FP	TSP
Meat Products	3111	88,5	905,8	226,3	4,5	2,7	25,4
Dairy Products	3112	64,0	89,8	15,9	4,1	0,0	33,1
Preserved Fruits & Vegetables	3113	333,8	170,1	32,7	61,7	2,3	33,1
Fish Products	3114	78,5	34,5	2,3	0,9	0,9	14,5
Oils And Fats	3115	4.257,9	1.524,1	340,2	1.166,6	2.676,6	4.361,3
Grain Mill Products	3116	148,8	118,8	23,1	125,6	245,8	733,0
Bakery Products	3117	7,3	16,3	2,3	81,2	0,0	7,3
Sugar Factories & Refineries	3118	2.915,7	2.799,1	1.499,6	496,2	61,2	1.931,4
Confectionery Products	3119	44,0	9,1	1,4	0,9	0,0	4,5
Food Products, N.E.C.	3121	196,0	199,1	42,6	59,9	5,4	88,9
Prepared Animal Foods	3122	337,9	93,0	25,4	10,9	139,7	608,3
Distilled Spirits	3131	1.763,1	612,8	114,8	6.057,7	77,1	147,4
Wine Industries	3132	209,6	31,8	2,7	0,5	0,0	21,8
Malt Liquors And Malt	3133	973,4	766,6	47,6	79,8	1,4	53,5
Tobacco Manufactures	3140	573,8	347,5	45,4	114,3	4,5	10,9
Spinning, Weaving, & Finishing Textiles	3211	1.098,6	1.515,9	203,2	415,9	29,5	196,4
Made-Up Textiles Except Apparel	3212	8,2	5,0	1,4	57,2	0,0	11,8
Knitting Mills	3213	98,4	40,8	16,8	33,1	5,9	61,7
Carpets And Rugs	3214	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cordage, Rope & Twine	3215	941,2	293,9	410,0	572,0	0,0	496,2
Textiles, N.E.C.	3219	339,3	140,2	25,4	2.693,4	0,0	201,8
Wearing Apparel	3220	14,5	5,4	1,4	3,6	0,0	0,5
Tanneries And Leather Finishing	3231	589,2	155,6	57,2	1.732,3	18,6	71,2
Fur Dressing And Dyeing	3232	422,7	99,3	23,6	264,9	9,5	357,4
Leather Products	3233	0,0	7,3	1,4	129,3	0,0	4,5
Footwear	3240	7,3	0,9	0,0	60,8	0,0	0,5
Sawmills, Planing & Other Wood Mills	3311	469,9	1.062,3	2.676,6	1.138,1	41,7	1.477,8
Wooden & Cane Containers; Small Cane Ware	3312	0,5	0,9	3,6	18,6	8,2	121,6
Wood & Cork Products, N.E.C.	3319	1.346,3	872,3	1.947,3	2.639,0	796,1	1.983,6

Quadro 4A, Cont.

Descrição Isic	ISIC	SO2	NO2	CO	VOC	FP	TSP
Furniture & Fixtures, Nonmetal	3320	110,2	78,0	82,6	2.499,3	72,6	248,1
Pulp, Paper, & Paperboard	3411	11.605,2	6.055,0	13.246,3	1.833,9	659,1	2.280,7
Paper & Paperboard Containers & Boxes	3412	91,2	667,7	154,7	202,3	3,6	20,9
Pulp, Paper & Paperboard Articles,	3419	189,1	58,1	17,7	317,5	0,0	4,5
Printing & Publishing	3420	11,8	15,4	58,5	391,0	0,0	6,4
Industrial Chemicals Except Fertilizer	3511	5.287,1	3.927,2	3.033,2	3.069,0	179,2	849,6
Fertilizers & Pesticides	3512	501,7	483,1	96,2	457,2	21,3	139,3
Synthetic Resins, Plastics Materials, & Manmade Fibres	3513	2.351,9	6.113,1	904,0	4.473,3	1,8	359,2
Paints, Varnishes, & Lacquers	3521	111,6	98,4	14,1	825,1	33,6	66,2
Drugs And Medicines	3522	827,8	351,5	41,3	411,9	5,9	156,5
Soap, Cleaning Preps., Perfumes, & Toilet Preps.	3523	215,9	257,2	88,9	83,5	87,5	115,7
Chemical Products, N.E.C.	3529	2.400,0	749,3	24.395,1	1.858,8	617,3	837,8
Petroleum Refineries	3530	5.744,3	3.304,4	2.984,2	3.041,3	58,1	506,7
Misc. Petroleum & Coal Products	3540	9.464,7	5.888,5	4.457,9	1.478,3	290,8	3.630,6
Tires And Tubes	3551	1.722,3	595,1	73,0	1.743,6	24,5	190,5
Rubber Products, N.E.C.	3559	0,5	2,3	0,5	174,2	0,5	0,9
Plastics Products, N.E.C.	3560	25,4	5,4	1,8	306,6	5,4	7,7
Pottery, China, & Earthenware	3610	133,8	67,1	46,7	522,1	0,0	158,3
Glass And Glass Products	3620	1.532,2	3.048,6	821,0	391,0	64,4	611,4
Structural Clay Products	3691	1.373,9	13.274,4	3.153,4	1.078,6	2.123,3	10.419,9
Cement, Lime, And Plaster	3692	58.371,9	27.102,6	3.299,0	154,2	48.535,7	28.230,7
Nonmetallic Mineral Products, N.E.C.	3699	1.449,2	646,4	310,3	177,8	885,9	2.441,7
Iron And Steel	3710	8.104,3	3.520,3	12.629,4	1.085,0	2.239,8	1.877,9
Nonferrous Metals	3720	17.529,5	571,1	8.154,2	637,8	161,0	1.472,4
Cutlery, Hand Tools, & General Hardware	3811	73,0	469,5	37,6	117,9	0,0	20,4
Furniture & Fixtures Of Metal	3812	19,5	16,3	6,4	1.295,0	0,0	12,2
Structural Metal Products	3813	70,3	296,2	118,4	323,9	4,5	15,4
Fabricated Metal Products	3819	73,0	164,2	839,1	705,8	3,2	58,5
Engines And Turbines	3821	277,6	201,8	904,0	300,7	1,8	73,9
Agricultural Machinery & Equipment	3822	1.167,1	317,5	406,4	685,4	0,0	195,0

Quadro 4A, Cont.

Descrição Isic	ISIC	SO2	NO2	CO	VOC	FP	TSP
Metal & Wood Working Machinery	3823	16,8	3,6	385,6	242,7	0,0	3,2
Special Industrial Machinery & Equipment	3824	225,4	193,2	34,0	146,1	0,5	44,9
Radio, Tv, & Communication Equipment	3832	30,4	15,4	4,1	185,1	1,4	2,3
Electrical Appliances & Housewares	3833	0,9	6,8	0,9	315,7	0,5	0,0
Electrical Apparatus And Supplies, N.E.C.	3839	177,4	383,7	803,8	186,9	5,0	138,8
Shipbuilding And Repairing	3841	152,0	68,0	9,1	563,8	152,4	47,6
Railroad Equipment	3842	3.090,8	1.237,9	220,4	860,9	0,5	821,9
Motor Vehicles	3843	126,6	64,0	85,7	588,8	5,4	63,5
Motorcycles And Bicycles	3844	119,7	69,9	20,0	3.370,2	0,0	72,6
Aircraft	3845	48,1	39,5	100,7	149,2	1,4	7,3
Professional & Scientific Equipment	3851	6,4	10,4	1,4	15,4	0,0	1,8
Photographic And Optical Goods	3852	38,1	59,0	1,4	71,2	0,0	14,5
Watches And Clocks	3853	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jewelery And Related Articles	3901	85,7	28,6	7,3	23,6	0,0	27,7
Musical Instruments	3902	36,3	271,7	64,4	848,2	23,6	59,9
Sporting And Athletic Goods	3903	4,1	5,9	0,9	250,8	24,0	29,9
Office, Computing, & Accounting Machinery	3825	2,3	1,8	0,0	29,0	0,0	0,9
Machinery & Equipment, N.E.C.	3829	217,3	82,1	181,0	275,8	0,9	19,5
Electrical Industrial Machinery	3831	1.299,5	342,0	53,5	212,7	0,5	24,0
Manufacturing Industries, N.E.C.	3909	13,2	6,4	5,0	185,1	0,0	3,2

177

Fonte: HETTIGE et al. (1994).

TSP - Partículas Totais em Suspensão; SO<sub>2</sub> - Dióxidos de Enxofre; NO<sub>2</sub> - Dióxidos de Nitrogênio; CO - Monóxidos de Carbono; VOC - Compostos Orgânicos Voláteis; FP - Partículas Finas.



Quadro 5A - Matriz ambiental expandida de Leontief dos coeficientes técnicos [A<sub>ij</sub>]

Setores	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Agropecuária	0,14636	0,00425	0,02773	0,35917	0,01531	0,07246	0,03271	0,00029	0,00004	0,00001	0,00245	0,00656
Extrativo mineral	0,00349	0,17320	0,00040	0,00749	0,03225	0,00453	0,05828	0,07805	0,01942	0,00409	0,02138	0,00100
Têxteis, couros e vestuários	0,00210	0,00148	0,34114	0,00637	0,00066	0,00667	0,00530	0,00173	0,00119	0,00436	0,00121	0,00246
Alimentos processados	0,03930	0,00087	0,01522	0,17794	0,00054	0,00257	0,01017	0,00034	0,00047	0,00219	0,06873	0,01507
Siderurgia e metalurgia	0,00149	0,03328	0,00493	0,01307	0,38595	0,01687	0,01149	0,05130	0,11986	0,09469	0,00933	0,00111
Madeira, papel, celulose e outros	0,00148	0,01476	0,01141	0,01608	0,00766	0,20471	0,00718	0,02219	0,02154	0,00706	0,03397	0,01327
Química e petroquímica	0,08481	0,07675	0,08449	0,02597	0,04082	0,08492	0,26776	0,03498	0,05338	0,08240	0,13604	0,02642
Outras indústrias	0,00051	0,00643	0,00316	0,00253	0,00956	0,01025	0,00383	0,04188	0,00320	0,00451	0,00351	0,01306
Materiais eletroeletrônicos	0,00016	0,00287	0,00087	0,00072	0,00393	0,00121	0,00129	0,02298	0,10930	0,00896	0,00064	0,00235
Transporte, máquinas e equip.	0,01982	0,07579	0,02265	0,03348	0,05229	0,03585	0,04135	0,02146	0,05469	0,15582	0,03531	0,02162
Farmacêutica e veterinário	0,00283	0,00033	0,00019	0,00128	0,00025	0,00037	0,00124	0,00006	0,00008	0,00006	0,00282	0,00099
Comércio e serviços	0,06284	0,20660	0,10832	0,11750	0,12786	0,17534	0,10261	0,07989	0,14255	0,12242	0,12001	0,19236
SO <sub>2</sub>	0,00000	0,00000	0,00023	0,00046	0,00330	0,00092	0,00168	0,00398	0,00005	0,00034	0,00031	0,00000
NO <sub>2</sub>	0,00000	0,00000	0,00015	0,00029	0,00063	0,00059	0,00128	0,00284	0,00009	0,00013	0,00018	0,00000
CO	0,00000	0,00000	0,00005	0,00009	0,00267	0,00121	0,00214	0,00048	0,00010	0,00012	0,00004	0,00000
VOC	0,00000	0,00000	0,00037	0,00033	0,00035	0,00060	0,00104	0,00025	0,00025	0,00038	0,00015	0,00000
Partículas Finas (FP)	0,00000	0,00000	0,00000	0,00013	0,00040	0,00011	0,00007	0,00328	0,00002	0,00001	0,00003	0,00000
Partículas Suspensão (TSP)	0,00000	0,00000	0,00008	0,00032	0,00071	0,00041	0,00039	0,00255	0,00003	0,00007	0,00008	0,00000
BOD	0,00000	0,00000	0,00003	0,00030	0,00017	0,00043	0,00013	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002	0,00000
TSS	0,00000	0,00000	0,00006	0,00029	0,01309	0,00144	0,00053	0,00148	0,00000	0,00001	0,00207	0,00000
Poluentes Tóxicos	0,00000	0,00000	0,00085	0,00005	0,00124	0,00039	0,00172	0,00017	0,00045	0,00020	0,00062	0,00000
Metais Tóxicos	0,00000	0,00000	0,00004	0,00000	0,00064	0,00000	0,00006	0,00003	0,00004	0,00002	0,00001	0,00000
Importação	0,01131	0,01878	0,06793	0,02784	0,05472	0,04197	0,10188	0,01352	0,13335	0,07576	0,10116	0,01245
Salários e contribuições	0,08517	0,11858	0,11928	0,06894	0,09692	0,14993	0,06862	0,08059	0,09555	0,17282	0,13496	0,37270
Total de impostos	0,00087	0,04257	0,03920	0,03762	0,03964	0,03748	0,04582	0,11039	0,04924	0,05444	0,04762	0,05129
Excedente operacional bruto	0,53746	0,22346	0,15307	0,10398	0,13164	0,15488	0,24048	0,44034	0,19613	0,21042	0,28085	0,26729

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 6A - Valores da Matriz ambiental inversa de Leontief com coeficientes setoriais de poluentes

Setores	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Agropecuária	1,2064	0,0259	0,0798	0,5380	0,0456	0,1277	0,0708	0,0138	0,0198	0,0190	0,0589	0,0255
Extrativo mineral	0,0184	1,2288	0,0196	0,0273	0,0786	0,0265	0,1042	0,1113	0,0478	0,0277	0,0466	0,0089
Têxteis, couros e vestuários	0,0067	0,0072	1,5220	0,0170	0,0057	0,0170	0,0139	0,0055	0,0059	0,0111	0,0069	0,0062
Alimentos processados	0,0629	0,0126	0,0400	1,2501	0,0119	0,0196	0,0263	0,0062	0,0095	0,0114	0,0945	0,0257
Siderurgia e metalurgia	0,0165	0,0961	0,0317	0,0481	1,6612	0,0569	0,0501	0,1115	0,2449	0,1977	0,0390	0,0139
Mad., papel, celulose e outros	0,0086	0,0341	0,0310	0,0347	0,0269	1,2684	0,0215	0,0379	0,0416	0,0202	0,0533	0,0238
Química e petroquímica	0,1578	0,1735	0,2121	0,1392	0,1391	0,1939	1,4132	0,0902	0,1327	0,1682	0,2284	0,0610
Outras indústrias	0,0040	0,0163	0,0108	0,0095	0,0233	0,0204	0,0111	1,0493	0,0121	0,0124	0,0098	0,0183
Materiais eletroeletrônicos	0,0016	0,0075	0,0038	0,0035	0,0106	0,0047	0,0045	0,0292	1,1264	0,0145	0,0032	0,0045
Transporte, máquinas e equip.	0,0458	0,1384	0,0673	0,0842	0,1296	0,0832	0,0927	0,0570	0,1097	1,2175	0,0740	0,0408
Farmacêutica e veterinário	0,0039	0,0011	0,0011	0,0036	0,0011	0,0015	0,0023	0,0005	0,0007	0,0007	1,0037	0,0015
Comércio e serviços	0,1413	0,3879	0,2720	0,2807	0,3366	0,3465	0,2463	0,1862	0,2973	0,2572	0,2398	1,2711
SO <sub>2</sub>	0,0004	0,0008	0,0009	0,0011	0,0059	0,0018	0,0026	0,0048	0,0012	0,0014	0,0010	0,0003
NO <sub>2</sub>	0,0003	0,0004	0,0006	0,0006	0,0013	0,0011	0,0019	0,0032	0,0005	0,0006	0,0006	0,0002
CO	0,0004	0,0007	0,0007	0,0006	0,0048	0,0021	0,0032	0,0010	0,0011	0,0011	0,0007	0,0002
VOC	0,0002	0,0003	0,0009	0,0006	0,0008	0,0010	0,0016	0,0004	0,0006	0,0007	0,0005	0,0001
Partículas Finas	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0008	0,0002	0,0002	0,0035	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
Partículas Suspensão (TSP)	0,0001	0,0002	0,0003	0,0005	0,0013	0,0007	0,0006	0,0028	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001
BOD	0,0000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0003	0,0006	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
TSS	0,0003	0,0014	0,0007	0,0011	0,0219	0,0027	0,0015	0,0031	0,0034	0,0027	0,0028	0,0003
Poluentes Tóxicos	0,0003	0,0005	0,0017	0,0004	0,0024	0,0009	0,0025	0,0005	0,0011	0,0008	0,0011	0,0002
Metais Tóxicos	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0011	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000

Fonte: Dados da pesquisa.