

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E
CIÊNCIA DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO

MARILENE SILVA DE OLIVEIRA

Análise da Intensidade de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Demanda Final
Brasileira através do Modelo de Insumo-Produto

Dissertação de Mestrado

Brasília

2011

MARILENE SILVA DE OLIVEIRA

Análise da Intensidade de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Demanda Final
Brasileira através do Modelo de Insumo-Produto

Dissertação apresentada à Faculdade de
Economia, Administração, Contabilidade e
Ciência de Informação e Documentação da
Universidade de Brasília para obtenção de
título de Mestre em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Dr. Maurício Barata de
Paula Pinto

Brasília

2011

RESUMO

OLIVEIRA, Marilene Silva de. Análise da Intensidade de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Demanda Final Brasileira através do Modelo de Insumo-Produto. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência de Informação e Documentação - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

O Brasil contribui de forma importante para as emissões mundiais de gases de efeito estufa (GEE). As origens de tais emissões estão em vários sistemas produtivos da economia. Através de um modelo de insumo-produto ampliado com coeficientes ambientais para os diversos setores, é possível calcular os impactos do aumento do consumo final de bens e serviços sobre a economia como um todo. Também é possível associar as emissões aos requisitos totais de produção para atender às demandas específicas do consumo das famílias, do consumo da administração pública, do investimento, das exportações e da substituição das importações. Analisando os resultados, concluiu-se que as exportações são o item da demanda final mais intensivo em emissões por unidade de valor do produto em 2005. Este resultado se justifica, principalmente, porque as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa no Brasil é a agropecuária e a mudança de uso de terras e florestas. Os setores que dependem direta e indiretamente dessas duas fontes, cuja intensidade de emissão é muito maior que a dos demais setores da economia, são suficientemente representativos na pauta de exportações para justificar o resultado.

Palavras-chave: Insumo-Produto. Gases de Efeito Estufa.

ABSTRACT

Brazil contributes in a relevant way to world greenhouse gases emissions. These emissions sources are located in several economic systems. Using input-output analysis extended to include environmental coefficients by sector, it is possible to calculate the impact of a final demand growth on the whole economy. It is also possible to link the greenhouse gases emissions to the total output requirements necessary to satisfy given levels of final demand and its components: private consumption, gross investment, government spending, exports and imports. The results obtained for 2005 demonstrate that exports are the demand component with the higher intensity of greenhouse gases emissions. The reason for this outcome relies on the composition of Brazilian exports.

Key-words: Input-Output. Greenhouse Gases.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE ABREVIATURAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS	7
Introdução	8
Capítulo 1: Metodologia.....	10
1.1. Breve histórico do modelo de insumo-produto	10
1.2. Estrutura da matriz de insumo-produto	11
1.3. A matriz de insumo-produto ambiental: do modelo de ciclo de vida do produto ao <i>economic input-output life-cycle assessment</i>	13
1.3.1. Matriz de insumo-produto híbrida.....	15
1.3.2. Economic input-output life cycle analysis (EIO-LCA).....	18
1.4. Comércio Exterior e Meio Ambiente	20
1.5. Aplicações dos modelos apresentados ao Brasil	23
1.6. Contribuição desta dissertação	28
Apêndice do capítulo 1: O modelo de Leontief (1970).....	31
Capítulo 2: Gases de Efeito Estufa e Convenção do Clima	36
Capítulo 3: Aplicação ao Brasil	41
3.1. Preparação dos dados	41
3.1.1. Setor Energia	42
3.1.2. Setor Processos Industriais	45
3.1.3. Setor Agropecuária.....	48
3.1.4. Setor Uso de Terras e Florestas.....	49
3.1.5. Setor Tratamento de Resíduos.....	50
3.2. Observações sobre a alocação das emissões	51
3.3. Compatibilização entre unidades	52
Capítulo 4: Resultados	53
4.1. Emissões diretas e indiretas.....	53
4.2. Elasticidade demanda-emissão.....	58
Capítulo 5: Políticas públicas do aquecimento global.....	66
Conclusão.....	69
Bibliografia	70
ANEXO.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Estrutura básica de análise de ciclo de vida de um produto (diagrama de fluxo):... 14
Figura 1.2. Matriz de insumo-produto em unidades físicas: 31
Figura 1.3. Matriz de coeficientes técnicos a partir da matriz de insumo-produto física:..... 32
Figura 1.4. Matriz de insumo-produto em unidades físicas, com o setor que produz poluição: . 32
Figura 1.5. Matriz de insumo-produto com o setor ofertante de trabalho:..... 33
Figura 1.6. Matriz de insumo-produto em unidades monetárias:..... 34
Figura 4.1. Matriz de identificação dos setores-chave: 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Unidades da matriz de coeficientes técnicos no modelo híbrido..... 16
Tabela 4.1. Requisitos de produção e emissões associadas de gases de efeito estufa por componente da demanda. 2005. 54
Tabela 4.2. Composição setorial dos requisitos de produção, por item da demanda. 2005. 56
Tabela 4.3. Composição setorial das emissões totais, por item da demanda. 2005. 56
Tabela 4.4. Coeficientes de emissão, em ordem crescente, por setor (vetor Z). 2005. 57
Tabela 4.5. Matriz de elasticidades demanda-emissão. 2005..... 59
Tabela 4.6. Impacto total e impacto distributivo dos setores da economia. 2005..... 63
Tabela 4.7. Matriz de identificação de setores-chave da economia brasileira. 2005. 64
Tabela A: Compatibilização entre setores da classificação da matriz de insumo-produto 77

LISTA DE ABREVIATURAS

AR4 - *Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*

BEN - Balanço Energético Brasileiro

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CFC – clorofluorcarbonetos

CH₄ – gás metano

CO – monóxido de carbono

COP - Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

EIOLCA – *Economic Input Output Life Cycle Assessment*

GEE – gases de efeito estufa

GgCO₂eq – gigagramas de gás carbônico equivalente

HCFC – hidroclorofluorcarbonetos

HFC – hidrofluorcarbonetos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPPS - *Industrial Pollution Projection System*

ISFLSF - Instituições sem fim lucrativo ao serviço das famílias

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

N₂O – dióxido nitroso

NMVOC - compostos orgânicos voláteis não metálicos

NO_x - óxidos de nitrogênio

PFC – perfluorcarbonetos

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SDA - *Structural Decomposition Analysis*

SIUP - Serviços Industriais de Utilidade Pública

SF₆ - hexafluoreto de enxofre

LISTA DE SÍMBOLOS

i – Índice dos n setores da economia.

X – Matriz ($n \times 1$) dos valores da produção ou das demandas totais dos setores da economia, cujo elemento é x_{ij}

A – Matriz ($n \times n$) dos coeficientes técnicos de produção, cujo elemento é a_{ij}

Y – Matriz ($n \times 1$) das demandas finais.

I – Matriz identidade ($n \times n$).

$(I-A)^{-1}$ – Matriz de Leontief ($n \times n$), cujo elemento é μ_{ij}

E – Matriz diagonal ($n \times n$) dos coeficientes ambientais e zeros fora da diagonal principal.

Z – Matriz ($n \times 1$) das emissões totais, cujo elemento é z_i

F – Matriz ($n \times 1$) dos valores totais, em unidades físicas, dos produtos energéticos no modelo ambiental de insumo-produto híbrido.

δ – Matriz ($n \times n$) dos coeficientes ambientais diretos no modelo ambiental de insumo-produto híbrido.

α – Matriz ($n \times n$) dos coeficientes ambientais totais no modelo ambiental de insumo-produto híbrido.

Γ – escalar representativo ou de emissão de poluentes pelo sistema produtivo.

λ – escalar representativo do aumento proporcional da demanda final.

s – Matriz ($n \times 1$) das participações das demandas finais setoriais em suas respectivas produções efetivas

d – Matriz ($n \times 1$) das distribuições das emissões totais entre os setores produtivos da economia.

ε – Matriz ($n \times n$) de elasticidade demanda-emissão, cujo elemento é ε_{ij}

ε_t – mediana dos valores de efeitos totais.

ε_t – mediana dos valores de efeitos distributivos.

INTRODUÇÃO

As atividades econômicas se relacionam com o meio ambiente em diversos aspectos, e a dinâmica dessa relação depende da participação dos diversos setores no total da produção, do nível da tecnologia utilizada e do grau de abertura da economia, entre outras variáveis.

O aumento da produção dos bens devido à necessidade de atender uma maior demanda interna e externa tende a elevar o uso do meio ambiente como fonte de recursos naturais e como destino de resíduos da produção e do consumo. O produto interno bruto do Brasil passou de 1,85 em 1990 para 2,72 trilhões de R\$ (valores de 2009) em 2005, representando um crescimento de 47% (IPEADATA¹). No mesmo período as emissões de gás carbônico (principal gás de efeito estufa) cresceram em 65%, passando de 992 para 1638 milhões de toneladas de CO₂ (BRASIL, 2010). É justificável, portanto, que o Brasil se preocupe cada vez mais com a qualidade ambiental da sua estrutura produtiva.

Nesse contexto, é essencial compreender as relações entre sistema econômico e ambiental e as possíveis maneiras de medir essas inter-relações, tanto direta como indiretamente. Esta dissertação procurará responder questões relacionadas à estrutura da economia brasileira e à sua contribuição para a emissão de gases de efeito estufa.

Para isso, um modelo de insumo-produto ampliado com coeficientes ambientais foi aplicado para dados da última matriz de insumo-produto disponível para o Brasil, publicada no ano de 2008 e referente ao ano de 2005, a fim de calcular: a) as emissões totais (diretas e indiretas) de gases de efeito estufa para todos os setores da economia; b) as emissões totais relacionadas ao atendimento dos componentes da demanda final; e c) a elasticidade de emissão em relação à demanda final e de cada setor.

Os resultados do modelo permitem investigar como o volume de consumo interno e externo de demanda dos produtos e bens produzidos no país contribui para as emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, é possível testar a hipótese originada do modelo de Hecksher-Ohlin e desenvolvida por outros autores (GROSSMAN e KRUEGER, 1993), (COPELAND e TAYLOR, 2003), (ANTWEILER, COPELAND e TAYLOR, 2001), de que países abundantes em recursos naturais irão exportar bens e serviços intensivos nesses fatores, gerando impactos maiores sobre o meio ambiente do que outros países. De fato, através do modelo aplicado, concluiu-se que o Brasil, em

¹ PIB (preços de 2009). Disponível em <www.ipeadata.gov.br>. Acesso em 20 de novembro de 2010.

2005, apresentou um potencial de poluição maior associado às exportações do que associado às importações ou ao consumo interno.

Este trabalho contribui para a literatura empírica na medida em que inclui números mais recentes sobre as emissões líquidas de poluentes globais pelo território brasileiro, agregando dados dos principais gases de efeito estufa e, utilizando como fonte o Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas² de Gases de Efeito Estufa do Brasil e os relatórios de referência das várias fontes de emissão, divulgados ao longo do ano de 2010 e consolidados na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

A dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro trata da metodologia, explicando como o modelo básico de matriz de insumo-produto evoluiu para agregar a problemática ambiental além de incluir a revisão bibliográfica sobre o tema. O segundo capítulo apresenta os aspectos básicos dos gases de efeito estufa, poluentes escolhidos para a aplicação do modelo nesta dissertação. O terceiro capítulo trata da aplicação do modelo ao caso brasileiro, com dados de 2005, onde são explicadas a origem dos dados utilizados e as adaptações necessárias à utilização dos mesmos. No capítulo quatro, são apresentados os resultados. No capítulo cinco, há algumas considerações para as políticas públicas de mitigação do aquecimento global adotadas no Brasil. Ao final, segue-se a conclusão.

²O Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa define antropogênico como relativo à antropogenia ou à antropogênese. Antropogenia é o estudo e desenvolvimento da espécie humana, especialmente como objeto de investigação científica. Antrópico é relativo ao homem ou ao seu período de existência na Terra, à ação do homem e relativo às modificações provocadas pelo homem no meio ambiente. Antrópico e antropogênico são utilizados nesta dissertação como sinônimos, em regra ao lado da palavra emissões, significando as emissões causadas apenas por atividades humanas.

CAPÍTULO 1: Metodologia

1.1. Breve histórico do modelo de insumo-produto

Na década de 1870, o economista francês Leon Walras³ desenvolveu um modelo de equilíbrio geral, cujo objetivo era resolver simultaneamente as condições de oferta e demanda para todos os setores da economia. No entanto, inicialmente, o modelo de Walras foi usado apenas como um arcabouço teórico devido à falta de dados suficientemente detalhados e abrangentes sobre as transações econômicas dos países e à ausência de métodos computacionais para processá-los (SILVA, 2001).

A aplicação das matrizes de insumo-produto se tornou popular apenas quando o economista Wassily Leontief apresentou aplicações do sistema de insumo-produto para a economia dos Estados Unidos durante a primeira metade do século 20 e desenvolveu técnicas mais rigorosas para utilizá-lo. Leontief é o fundador da análise de insumo-produto moderna e, assim como Walras e os economistas clássicos, considera que o principal objetivo da matriz insumo-produto é descrever a realidade econômica. (DAVAR, 2000). O modelo input-output foi apresentado pela primeira vez por Leontief no seu livro *The Structure of the American Economy*, publicado em 1941.

Leontief estava interessado em identificar as interdependências industriais na economia estadunidense e em desenvolver um modelo matemático em que todas as ligações poderiam ser estimadas estatisticamente. A análise de insumo-produto seria então capaz de determinar o nível de produto de cada setor da economia nacional em termos de suas relações com os níveis correspondentes de atividades de todos os demais setores. Para isso, Leontief simplificou o modelo de equilíbrio geral de Walras, de modo que as equações poderiam ser estimadas com base em dados disponíveis para a economia (SILVA, 2001).

Ao mesmo tempo, Leontief enriqueceu o modelo de Walras de acordo com as mudanças reais da vida econômica, acrescentando o setor público e as exportações no lado da demanda e os impostos e as importações no lado da oferta. Daí em diante, aplicou o arcabouço de insumo-produto em diferentes tópicos econômicos: dinamismo da economia, escolha de tecnologia, comércio internacional, poluição ambiental, e outros (DAVAR, 2000).

³O principal trabalho do autor foi o livro: WALRAS, L. *Elementos da Economia Política Pura*, 1874.

Em 1970, Leontief ampliou o arcabouço original do modelo de insumo-produto para incluir a questão ambiental na estrutura econômica. A base dessa extensão é o fato de que a interdependência técnica entre poluição e produção econômica pode ser descrita em termos de coeficientes similares aos utilizados para traçar a interdependência estrutural tradicional entre produção e consumo (LEONTIEF, 1970). O modelo de Leontief (1970) é detalhado no apêndice deste capítulo.

1.2. Estrutura da matriz de insumo-produto

O objetivo da matriz de insumo-produto é descrever a interdependência dos setores econômicos dados os níveis de produção e de consumo. Assume-se que os processos de produção de todos os setores são tecnologicamente interdependentes e caracterizados por uma relação linear entre a quantidade de insumos requeridos e o produto final de cada setor.

A estrutura da matriz de insumo-produto é baseada em equações lineares, segundo as quais o total de vendas de um setor i ao longo de um ano tem dois destinos: o mercado de insumos dos demais setores e o mercado de demanda final do setor. Os componentes da demanda final são chamados autônomos e incluem as exportações, investimentos, consumo das famílias e consumo da administração pública. A demanda total pelo produto do setor i é representada por:

$$X_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ij} + \dots + x_{in} + Y_i \quad (1)$$

onde:

$i = 1, \dots, n$;

X_i é o valor da produção do setor i ;

x_{ij} é o consumo intermediário do bem produzido pelo setor i (bem i) pelo setor j ;

Y_i é a demanda final pelo bem i .

Há, portanto, um sistema de n equações lineares:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1i} + \dots + x_{1n} + Y_1 \\ X_2 = x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2i} + \dots + x_{2n} + Y_2 \\ (\dots) \\ X_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ii} + \dots + x_{in} + Y_i \\ (\dots) \\ X_n = x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{ni} + \dots + x_{nn} + Y_n \end{array} \right. \quad (2)$$

Supõe-se que o consumo intermediário dos bens produzidos no setor i pelos demais setores são proporções fixas do valor da produção de cada um dos demais setores. A razão entre x_{ij} e x_j é chamada coeficiente técnico de produção:

$$a_{ij} = x_{ij}/X_j \quad (3)$$

A matriz A , de ordem n por n , formada por esses coeficientes representa os requisitos diretos das relações inter-setoriais.

Em termos matriciais:

$$AX + Y = X \quad \text{ou} \quad (I - A) X = Y \quad (4)$$

Multiplicando ambos os lados por $(I-A)^{-1}$:

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (5)$$

A matriz $(I-A)^{-1}$, de ordem n por n , é denominada matriz de impacto inter-setorial de Leontief. O produto dessa matriz pelo vetor-coluna Y de demanda final resulta no vetor X (ambos de ordem n) dos requisitos de produção diretos e indiretos necessários para o atendimento dessa demanda.

Como a demanda final corresponde à soma dos vários componentes autônomos, é possível, pela mesma metodologia, encontrar os requisitos de produção necessários para atender à demanda de cada um deles: exportações, consumo das famílias, consumo da administração pública e investimento. Por exemplo, $X_c = (I - A)^{-1} Y_c$, onde o subscrito c representa o vetor específico do consumo das famílias.

Partindo da hipótese de que a tecnologia de produção é igual para todos os países, como se admite na teoria de Heckscher-Ohlin, as relações inter-setoriais podem ser representadas para qualquer país pela matriz de Leontief brasileira, e é possível calcular os requisitos de produção para substituir as importações do país.

1.3.A matriz de insumo-produto ambiental: do modelo de ciclo de vida do produto ao *economic input-output life-cycle assessment*

Uma das maneiras para agregar os fluxos econômicos ao impacto ambiental das atividades que os originam é o *life cycle assessments* (LCA), que pode ser traduzido como análises de ciclo de vida do produto.

A análise de ciclo de vida surgiu como uma ferramenta para contabilizar os impactos ambientais do início ao fim de um produto. Tais impactos incluem a extração de matérias-primas, o processamento e a manufatura do produto, o transporte e a distribuição ao consumidor final, além do descarte e da recuperação do produto após sua vida útil. É uma das várias ferramentas desenvolvidas no âmbito da Série ISO⁴ 14000 de Gestão Ambiental, resultado dos trabalhos iniciados pela organização em 1993.

São quatro as etapas da análise de ciclo de vida: 1) definição do escopo e objetivo, com a definição dos produtos esperados, hipóteses e as fronteiras do ciclo de vida do produto; 2) análises de inventário de ciclo de vida (*life cycle inventory – LCI*), quando é quantificada a quantidade de energia e de matéria-prima, além das emissões de poluentes associadas a cada fase da produção do produto; 3) avaliação do impacto de ciclo de vida (*life cycle impact assessment– LCIA*), que consiste na avaliação do impacto ambiental e humano do uso e desgaste dos recursos naturais utilizados; 4) Interpretação, quando se espera identificar oportunidades de redução do impacto econômico gerado pelo bem em questão. (OECD, 2008) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

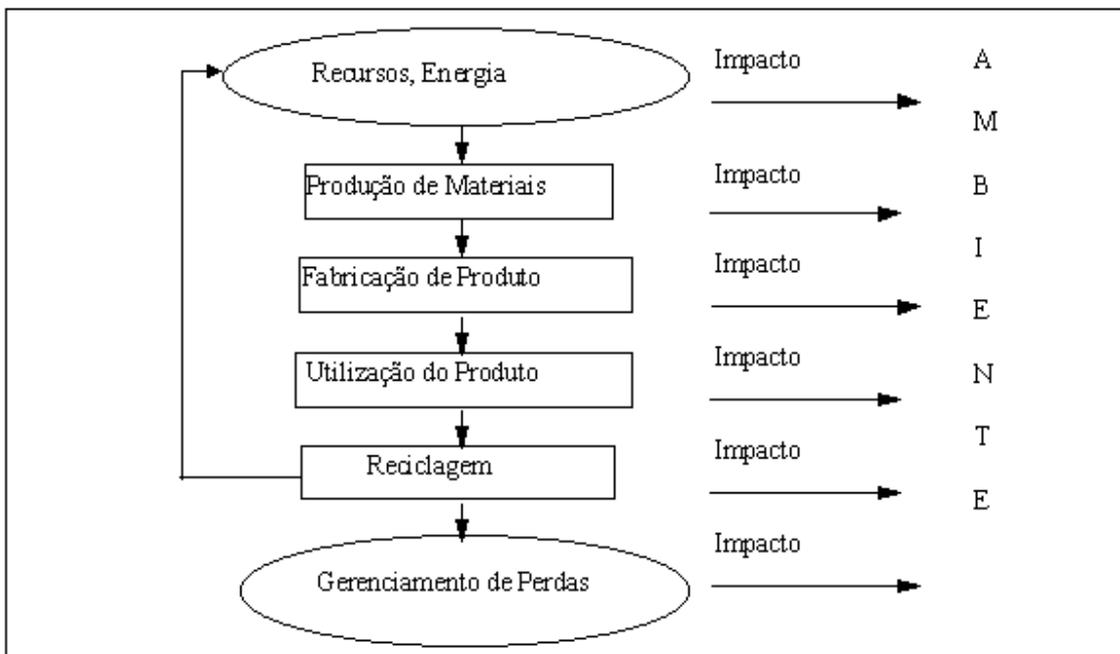
As informações geradas na LCA podem ser utilizadas para diferenciar os impactos entre dois produtos comparáveis, para medir o impacto de diferentes processos de extração, produção, uso e descarte de um mesmo produto ou ainda para identificar qual fase deve ser priorizada para diminuir o impacto ambiental do produto. (HENDRICKSON, 1998).

⁴International Organization for Standardization é uma organização fundada em 23 de fevereiro de 1947, em Genebra, na Suíça, que aprova normas internacionais em todos os campos técnicos em 170 países.

Os dois métodos mais utilizados para levantar o inventário de ciclo de vida (segunda fase da análise) são o diagrama de fluxo de processo, que mostra como o sistema produtivo de um bem/serviço está interconectado através de fluxos de insumo e de sub-produtos, e a matriz inversa de Leontief, que utiliza um sistema linear de equações. (SUH e HUPPES, 2005 in CALDEIRA-PIRES, NOGUEIRA e ROJAS, 2009).

O primeiro método, o diagrama de fluxo, embora muito útil para a avaliação do processo produtivo e de suas alternativas, já que geralmente é aplicado a um local e tempo específico, demanda um volume muito grande de dados, sendo muito dispendioso aplicá-lo a uma indústria ou a uma economia nacional. A análise de ciclo de vida, então, acaba contando com simplificações e exclusões, caracterizando um problema chamado *truncation error*. Também é difícil abrir mão da subjetividade em relação à definição da fronteira do ciclo de vida do produto, já que a falta de dados suficientes leva ao analista a focar menos em certas fases do ciclo de vida, descrevendo-as com menos detalhes que outras. Tudo isso contribui para a incerteza da aplicação do modelo. (JOSHI, 2000) (SILVA, 2001) (LEWANDOWSKA e FOLTYNOWICZ, 2004)

Figura 1.1. Estrutura básica de análise de ciclo de vida de um produto (diagrama de fluxo):



Fonte: TAVARES JÚNIOR (1997)

Como segundo método, as matrizes de insumo-produto são a estratégia mais adequada para se obter um retrato de toda a economia e diminuir os problemas de *truncation*, definição de fronteira do ciclo de vida e de incerteza. Em 1970, Leontief utilizou seu próprio modelo de insumo-produto aplicado a problemas ambientais. Neste enfoque, um vetor de insumos físicos de um determinado recurso ambiental é combinado com uma matriz de insumo-produto.

Segundo o documento da OECD (2008), a análise de insumo-produto ambiental baseado em tabelas com variáveis físicas (além das monetárias) capazes de registrar os fluxos econômicos em diversos níveis de transações inter-setoriais, por tipo de atividade econômica e por categoria de demanda final, serve ao mesmo propósito da análise de ciclo de vida, porém em nível mais agregado. De acordo com o documento, a LCA é mais adequada ao nível de um produto ou de uma planta industrial.

As tabelas de insumo-produto fornecem uma visão ampla das transações da economia nacional, mostrando o destino dos bens produzidos, tanto para os consumidores finais como para a produção de outros setores. É uma ferramenta muito adequada aos fins de inventário de ciclo de vida, pois abarca infinitas fases do mesmo. (CALDEIRA-PIRES, NOGUEIRA e ROJAS, 2009)

Caldeira-Pires, Nogueira e Rojas (2009) apontam a combinação dos dois métodos como uma forma de simplificar a aferição do inventário de ciclo de vida e superar os problemas do método LCA. As duas formas principais dessa combinação são as análises híbridas e a *economic input-output life cycle analysis* (EIO-LCA)

1.3.1. Matriz de insumo-produto híbrida

Como citado anteriormente, há duas formas para avaliar os volumes totais de recursos ambientais ou poluentes emitidos pela economia utilizando o arcabouço de insumo-produto: as análises híbridas e a EIO-LCA

Machado (2002) apresenta o modelo de insumo-produto de unidades híbridas, originalmente proposto por Bullard e Herendeen (1975) e o utiliza para estimar os coeficientes totais de energia e de carbono para a economia brasileira em 1985, 1990 e 1995. Utiliza-se o modelo em unidades híbridas no estudo, pois esta formulação é comprovadamente a mais consistente para a aplicação de modelos de insumo-produto

de natureza físico-econômica envolvendo uso de energia e emissões de carbono relacionadas ao uso de energia

A idéia básica do modelo de unidades híbridas é substituir as linhas/colunas associados a produtos energéticos nas tabelas de uso/produção expressas em valores monetários por linhas/colunas expressas em unidades físicas de energia, antes de recalculer a matriz inversa de Leontief a partir dos novos fluxos. Nestas novas tabelas de insumo-produto, os fluxos econômicos são expressos em unidades híbridas: produtos energéticos em unidades físicas e produtos não energéticos em unidades monetárias. A matriz de coeficientes técnicos no modelo híbrido, equivalente à matriz A do modelo anterior terá tanto unidades físicas como monetárias (MACHADO, 2002).

Tabela 1.1. Unidades da matriz de coeficientes técnicos no modelo híbrido.

Produtos	Energético	Não-energético
Energético	Joule/Joule	Joule/\$
Não-energético	\$/Joule	\$/

Fonte: Machado (2002)

As linhas associadas a produtos energéticos na matriz de coeficientes técnicos (ou de requisitos diretos) mostram os coeficientes diretos de intensidade energética por produto. As linhas de produtos energéticos da matriz inversa de Leontief (ou de requisitos totais), derivada a partir da inversão da matriz identidade subtraída da matriz de coeficientes técnicos, apresentam os coeficientes totais (diretos + indiretos) de intensidade energética por produto.

Notando com um asterisco as matrizes do modelo híbrido que são análogas às do modelo apresentado na seção anterior, mas que agora apresentam tanto unidades físicas como monetárias, tem-se:

$$X^* = (I - A^*)^{-1} Y^* \quad (7)$$

Para se obter apenas os vetores referentes aos setores energéticos, aplica-se o produto matricial $\hat{F}(\hat{X}^*)^{-1}$, onde \hat{X}^* é o vetor diagonalizado do valor do produto e \hat{F} é um vetor diagonalizado contendo zeros nos elementos da diagonal principal associados

a produtos não energéticos e contendo o valor total dos produtos energéticos em unidades físicas nos elementos da diagonal principal associados à energia

O resultado desse produto matricial é uma matriz de zeros e uns, onde o número um indica a localização das linhas dos produtos energéticos. Assim, é possível isolar os coeficientes diretos e totais de intensidade energética em unidades híbridas, aplicando-se, respectivamente, as equações:

$$\delta = \hat{F}(\hat{X}^*)^{-1} A^* \quad (8)$$

$$\alpha = \hat{F}(\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \quad (9)$$

O produto vetorial αY deve igualar o vetor de produtos energéticos F . Como as exportações são um componente da demanda final total Y , para mensurar a energia embutida nas exportações, basta pré-multiplicar o vetor de coeficientes totais de intensidade energética α pelo de exportações Y_X .

Para avaliar o impacto sobre a demanda doméstica de energia no Brasil em função da opção pela importação de produtos não-energéticos ao invés de seu processamento doméstico, realiza-se a mesma operação anterior utilizando o vetor das importações Y_M .

É possível calcular os coeficientes totais de intensidade energética das exportações e das importações de bens não-energéticos, através da média ponderada dos coeficientes de cada produto pelos pesos de cada um deles nas exportações (e nas importações) de bens não-energéticos (em valores monetários). A razão entre os coeficientes totais de intensidade energética das exportações e das importações de bens não energéticos é chamada de termos de troca em energia do país. O valor da intensidade de emissão calculado desse modo equivale a dividir a soma do vetor-coluna Z pela soma do vetor-coluna X , para cada item da demanda.

Se o valor dos termos de troca for maior que um, significa que cada dólar auferido com as exportações de bens não-energéticos embutiu mais energia do que cada dólar despendido com as importações de bens não-energéticos em (valor dos termos de troca - 1)%.

1.3.2. Economic input-output life cycle analysis (EIO-LCA)

Pesquisadores da *Green Design Institute of Carnegie Mellon University* buscaram operacionalizar, ao longo das décadas de 1990 e de 2000, o método teorizado e desenvolvido por Leontief (1970). Dessas pesquisas, surgiu o modelo *Economic input-output life-cycle assessment* (EIO-LCA). A abordagem EIO-LCA permite estimar as emissões ambientais associadas com a variação da demanda final, através da multiplicação das mudanças introduzidas nessa procura pelos níveis médios de poluição, consumo de energia, ou outro tipo de dano ambiental. (HAWKINS, 2007). No case desta dissertação será utilizadas as emissões médias dos gases de efeito estufa como parâmetro ambiental.

A EIO-LCA estima os recursos de matéria e energia requeridos para a produção, e as emissões de poluentes resultantes das atividades da economia. Como dito no início desta sub-seção, é a análise de insumo-produto operacionalizada ampliada para o problema ambiental.

A utilização da metodologia EIO-LCA traz várias vantagens sobre o modelo de análise de ciclo de vida. Em primeiro lugar, a EIO-LCA baseia-se em dados disponíveis e consolidados, ou seja, os publicados na matriz de insumo-produto nacional. Em segundo lugar, este enfoque analisa toda a economia de uma só vez, tornando desnecessária a limitação arbitrária de fronteiras de produção e garantindo que todos os efeitos diretos e indiretos e suas conseqüências ambientais sejam considerados. Em terceiro lugar, permite associar a cada componente da demanda final, a geração direta e indireta de utilização de recursos ambientais ou emissão de poluentes. (SILVA, 2001) (LEWANDOWSKA e FOLTYNOWICZ, 2004) (GILJUM et al, 2007).

Por outro lado, este modelo não está isento de limitações. A agregação de várias atividades produtivas em uma indústria pode unir comportamentos ambientais bem diferentes. Por exemplo, o setor que representa a oferta e geração de energia elétrica inclui tanto usinas termelétricas intensivas na queima de carvão e grandes emissoras de gás carbônico como usinas hidroelétricas, que praticamente não emitem gás carbônico.

Outro ponto a ser considerado é o modelo pressupõe proporcionalidade dos impactos ambientais, isto é, pressupõe que um aumento de x% na produção de determinado bem provoca um aumento de x% na poluição emitida no processo, o que pode não corresponder à realidade em alguns casos.

Além disso, assim como o modelo de ciclo de vida, o EIO-LCA estima as emissões de poluentes e consumo de recursos associados a um determinado setor da economia, mas não é capaz de estimar os verdadeiros impactos ambientais e sobre a saúde humana que esses padrões de poluição e de consumo causam. A maior dificuldade, porém, está na disponibilidade quantitativa e qualitativa de dados ambientais para cada um dos setores econômicos classificados na matriz-insumo produto. (SILVA, 2001)

Formalmente, o modelo EIO-LCA segue da equação (5):

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (5)$$

O modelo EIO-LCA amplia a análise das inter-relações entre os setores da economia com dados não-econômicos, relacionados à emissão de poluentes. Para isso, basta considerar a seguinte matriz diagonal $Z_{n \times n}$, com coeficientes ambientais na diagonal principal e zeros nas demais células:

$$Z = \begin{pmatrix} z_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & z_n \end{pmatrix}$$

Cada elemento z_i na matriz $Z_{n \times n}$ representa um coeficiente de emissão do setor i , razão entre volume de poluição e valor da produção do setor i ao longo de um determinado período.

Um sem-número de variáveis ambientais pode ser incluído nesses cálculos. Análises foram feitas incluindo insumos (eletricidade, combustíveis, minério e fertilizantes) e produtos ambientais (emissões tóxicas, geração e tratamento de resíduos, gases do aquecimento global ou os que destroem a camada de ozônio). (HENDRICKSON et al, 1998)

Para calcular os requisitos de poluição diretos e indiretos necessários para atender à produção total, por sua vez necessária ao atendimento da demanda final, tem-se:

$$E = Z X = Z (I - A)^{-1} Y \quad (6)$$

onde $E_{n \times 1}$ é a matriz referente aos requisitos de emissões necessários para atender à demanda final Y .

1.4.Comércio Exterior e Meio Ambiente

Diante da possibilidade de o modelo proposto fornecer números associados não só às emissões de poluentes pelo consumo interno, mas também pelas exportações e importações, é adequado esclarecer as hipóteses da relação entre as variáveis comércio exterior e meio ambiente e verificar qual delas podem ser estudadas pelo modelo EIO-LCA, aplicado nesta dissertação.

Bhagwati (1993) compara as visões dos ambientalistas e dos economistas sobre a relação entre comércio internacional e proteção ambiental, enumerando os efeitos da abertura comercial sobre o meio ambiente.

O autor cita como uma idéia falaciosa dos ambientalistas a de que o crescimento econômico causado pelo comércio internacional prejudica, necessariamente, o meio ambiente. Argumenta que o aumento do produto interno relacionado ao comércio internacional permite que os governos aumentem a base de arrecadação tributária e utilizem o acréscimo de recursos públicos para políticas de preservação ambiental.

A relação entre comércio exterior e qualidade ambiental depende também de outras variáveis como o estágio do crescimento econômico no qual o país se encontra. Grossman e Krueger (1993) encontraram uma relação negativa entre emissão de dióxido de enxofre e renda per capita em cidades de várias partes do mundo. A exceção foi para aquelas que apresentavam uma renda per capita abaixo de certo patamar. Esta relação de U invertido entre renda per capita (no eixo das abscissas) e poluição (eixo das ordenadas) foi denominada Curva de Kuznets Ambiental.

Bhagwati (1993) aponta ainda que o comércio mais livre permite a importação de tecnologias de produção mais limpas e leva a mudanças na composição do produto interno a favor de produtos menos poluentes.

Grossman e Krueger (1993) também contribuíram para o tema da relação entre comércio e meio ambiente ao dividir o efeito do primeiro sobre o segundo em três: o efeito escala, o efeito tecnológico e o efeito composição.

O efeito escala mede o aumento na poluição gerado pelo simples aumento do tamanho da economia decorrente do maior comércio, mantendo constante o mix de

produtos e a tecnologia de produção. O efeito tecnológico diz respeito às mudanças na intensidade de poluição por produto gerado. Espera-se que o aumento da renda do país, provocado pela abertura comercial, incentive a adoção de tecnologias mais limpas e torne esse efeito mais positivo. Finalmente, o efeito composição refere-se à mudança na participação dos setores poluentes na economia nacional. Mantendo os demais efeitos constantes, espera-se que o país com vantagem comparativa em bens poluentes aumente sua emissão total dada uma maior abertura da economia, ocorrendo o contrário aos países com vantagem comparativa em bens limpos. É o efeito composição que torna a relação entre comércio internacional e degradação ambiental positiva ou negativa dependendo do país em foco.

Copeland e Taylor (2003), numa resenha sobre o tema, recuperam e ampliam as questões citadas por Bhagwati (1993) e outros autores. Eles apresentam duas hipóteses para explicar a relação entre comércio internacional e meio ambiente.

A primeira é a hipótese de *pollution haven*, segundo a qual o comércio internacional livre leva a uma migração de indústrias poluentes de países com regulação ambiental mais rígida (países desenvolvidos) para países com leis ambientais mais fracas (países em desenvolvimento). (COPELAND e TAYLOR, 2003). Antweiler, Copeland e Taylor (2001) relacionam a renda per capita maior à demanda de qualidade ambiental pela população e à exigência da mesma por leis ambientais mais rígidas.

Há dois enfoques básicos para investigar o efeito de leis ambientais diferentes sobre a competitividade internacional e o comércio. O primeiro é determinar se os países com leis menos restritivas de fato se especializam na exportação de bens intensivos em poluição. O segundo é examinar os fluxos de indústrias poluidoras e verificar se os países com leis ambientais menos rígidas atraem mais capital desse tipo de indústria que os demais países. (KOLSTAD, 2000)

A conclusão recorrente da literatura empírica sobre o teste da hipótese da existência de *pollution havens* e seu impacto sobre o padrão de comércio mundial é, na melhor das hipóteses, uma relação positiva muito fraca. (KOLSTAD, 2000) (COPELAND e TAYLOR, 2003).

A segunda hipótese é uma alternativa a primeira e diz que a direção do comércio de bens poluentes é determinada pelos motivos convencionais de vantagem comparativa: dotação de fatores e diferenças tecnológicas. Por essa idéia, qualquer diferença entre leis ambientais fica em segundo plano como motivadora do padrão do comércio entre bens limpos e bens poluentes. (COPELAND e TAYLOR, 2003)

Este é o resultado básico do modelo Heckscher-Ohlin de comércio internacional sobre especialização dos países: haverá vantagem comparativa nos bens intensivos no fator de produção mais abundante no país. Estendendo essa lógica para a questão ambiental, temos que um país com uma maior capacidade de assimilar a poluição tenderá a se especializar em bens intensivos em poluição.

É isso que determina o efeito composição da abertura comercial sobre o país. Espera-se que a redução de restrições ao comércio exterior altere as participações relativas dos setores produtivos do país em favor daqueles setores nos quais possui vantagem comparativa. No caso de um país com grande capacidade assimilativa de poluição (eventualmente majorada por leis ambientais pouco rígidas), as exportações tenderiam a ser intensivas em poluição.

Os estudos sobre a relação entre leis ambientais e padrão de comércio dependem da comparação entre vários países, entre outros requisitos. Antweiler, Copeland e Taylor (2001) enumeram as características ideais do poluente a ser utilizado para examinar as hipóteses de *pollution haven* ou do modelo clássico de vantagem comparativa: a) ser um sub-produto do bem produzido; b) ser emitido em quantidades diferentes por unidade de produto dependendo da indústria; c) ter fortes efeitos locais; d) estar sujeito à regulação ambiental por apresentar efeitos maléficos sobre a população; e) apresentar tecnologias de abatimento da poluição conhecidas e disponíveis; e f) ter dados disponíveis tanto para países desenvolvidos como para países em desenvolvimento, assim como para países com diferentes graus de abertura comercial.

Antweiler, Copeland e Taylor (2001) escolheram o dióxido de enxofre como um poluente quase perfeito, segundo as características acima, e calcularam os efeitos escala, tecnológico e composição para um conjunto de cidades localizadas em vários países do mundo. O método utilizado foi uma regressão econométrica cujas variáveis explicativas para o nível de emissão eram o PIB, a renda per capita defasada de um período⁵, a abundância relativa de capital e a intensidade do comércio exterior. O objetivo era, além de decompor o efeito total do comércio sobre as emissões nos três citados, medir a influência da dotação de fatores e da renda per capita sobre a produção de poluição pelo país, isto é, medir a validade, respectivamente, da hipótese da vantagem comparativa clássica e da hipótese de *pollution haven*. Os autores concluíram que o comércio

⁵ A renda per capita defasada de um período é uma *proxy* da preferência da população por leis ambientais mais rígidas.

internacional cria mudanças relativamente pequenas na concentração de poluição quando altera a composição do produto nacional. Por outro lado, as estimativas dos efeitos escala e tecnológico criados pelo comércio implicam numa redução líquida de poluição advinda dessas fontes. Combinando todos os efeitos, a conclusão foi de que um comércio mais livre parece ser bom para o meio ambiente no mundo como um todo.

Como esta dissertação trata dos gases de efeito estufa, poluentes globais e ainda não sujeitos a leis ambientais rígidas nos principais países emissores, não foi possível testar a hipótese de *pollution haven*. Optou-se por focar apenas no Brasil e utilizar uma metodologia que permitisse relacionar as emissões de gases de efeito estufa aos vetores de demanda do comércio exterior e do consumo interno para o ano de 2005. Pelo fato de o Brasil ser um país abundante em recursos naturais, como terra e florestas, é de se esperar que as emissões originadas dessas fontes, e associadas à exportação, sejam significativas.

1.5. Aplicações dos modelos apresentados ao Brasil

No Brasil, há alguns trabalhos que aplicaram o modelo de matriz de insumo-produto para tratar de um problema ambiental.

Machado (2002) avaliou os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões de CO₂ pela economia brasileira, utilizando um modelo de insumo-produto híbrido aplicado aos anos de 1985, 1990 e 1995. De um modo geral, seus resultados sustentam a hipótese de que o Brasil é um exportador líquido de energia e carbono embutidos nos produtos não-energéticos transacionados internacionalmente, e também que cada dólar auferido com as exportações incorpora consideravelmente mais energia e carbono do que cada dólar dispensado com as importações.

Para chegar a essas conclusões, Machado (2002) estimou os coeficientes totais de intensidade energética para o Brasil em 1985, 1990 e 1995, mediante aplicação do modelo em unidades híbridas às tabelas de insumo-produto da economia brasileira e, em seguida, multiplicou tais coeficientes por vetores de exportação e importação para obter os volumes de energia embutida no comércio exterior brasileiro nos anos selecionados. O banco de dados consistiu na tabela de usos e recursos estimados pelo IBGE, e pelo Balanço Energético Nacional⁶, apresentando 19 produtos e 14 atividades. Os setores

⁶ O Balanço Energético Nacional é o documento que divulga toda a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando atividades e operações ligadas à exploração e produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas secundárias, às contas de importação e

mais intensivos em carbono encontrados foram Ferro e Aço, Transporte, Minerais Não-Metálicos, Papel e Celulose e Outras Metalurgias.

Machado, Schaeffer e Worrell (2001) utilizaram o modelo de insumo-produto em unidades híbridas para estimar a energia e o carbono incorporado no comércio exterior do Brasil para o ano de 1995. O estudo mostrou que o país não só é um exportador líquido de energia e carbono (diferença positiva entre carbono incorporado em exportações e em importações), mas que cada dólar ganho com as exportações incorpora 45% mais energia e 56% mais carbono que cada dólar gasto em importações.

Hilgemberg (2005) quantificou as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em nível nacional e regional, utilizando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido. O estudo identificou os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos bens energéticos considerados através do cálculo das elasticidades das emissões a uma variação na demanda final. Essas elasticidades também foram utilizadas em Carvalho e Perobelli (2009). Ambos os estudos se referem à metodologia de identificação de setores-chave no consumo final de energia utilizando o modelo de insumo-produto apresentado por Alcantara e Padilla (2003).

O Balanço Energético Brasileiro (BEN) e a matriz inter-regional de insumo-produto estimada pelo grupo de Projeções Econômicas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), para o ano de 1999, foram as principais bases de dados. Avaliando as intensidades das emissões, as regiões Sul e Nordeste apresentaram maiores impactos em resposta a um aumento na demanda. Os setores-chave encontrados para as emissões com origem nos derivados de petróleo para o Brasil como um todo foram os setores Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes e Administração Pública. Para a região de São Paulo, os setores-chave foram Agropecuária, Metalurgia, Papel e Celulose, Química, Refino de Petróleo, Alimentos e Bebidas, Têxtil e Vestuário, Outros Produtos, SIUP⁷, Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes, Administração Pública

Ao contrário dos estudos anteriores, Hildemberg (2005) estudou o problema por um foco inter-regional, verificando não só a intensidade de CO₂ na economia brasileira, mas também determinando as elasticidades da poluição em relação a variações na

exportação, à distribuição e ao uso final da energia. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em 20 de dezembro de 2010.

⁷ SIUP – Serviços Industriais de Utilidade Pública (exemplos: produção de energia elétrica hidráulica, distribuição de energia elétrica, saneamento e abastecimento de água e coleta e tratamento de lixo).

demanda final e o impacto de determinadas políticas de controle, tais como a fixação de um imposto sobre emissões e o estabelecimento de uma restrição quantitativa no que se refere ao nível tolerado de emissão em cada setor de cada região contemplada no modelo (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul, São Paulo e Resto do Sudeste).

Carvalho e Perobelli (2009) quantificaram as emissões de gás carbônico (CO₂) decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, considerando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido para São Paulo e o restante do Brasil, utilizando a matriz de insumo-produto de 1996. Neste trabalho, foi calculada a intensidade de emissões de dióxido de carbono para 15 setores, identificando a parcela de emissões totais devida à demanda final e ao consumo intermediário. Além disso, foram calculados os setores-chave nas emissões por meio do cálculo das elasticidades demanda final – emissões de CO₂, identificando os setores de Agropecuária, Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes nas duas regiões analisadas. Também foi verificada a quantidade de CO₂ incorporada nas exportações, mostrando que a pauta de exportações brasileira é, em grande parte, intensiva em poluição

Vale ressaltar que a metodologia utilizada pressupõe algumas hipóteses que limitam os resultados da análise. Adota-se como hipótese que o consumo de energia é função linear da produção, e que as emissões são proporcionais ao consumo de energia. Além disso, no modelo, quando calculado para um ano específico, não permite a incorporação de melhoramentos tecnológicos como a adoção de tecnologias energéticas mais limpas. Entretanto, ao fazer a mesma análise para vários anos, poder-se-ia flexibilizar essa limitação, pois dessa forma haveria diferentes vetores ambientais. Assim sendo, ao modificar a relação energia/produto anualmente, o modelo captaria de forma indireta energias “mais limpas”.

Carneiro (2010), em sua dissertação de mestrado, teve como objetivo verificar, através da matriz insumo-produto nacional, como transformações na matriz energética brasileira entre 2000 e 2005 impactaram na intensidade de emissão de CO₂ na atmosfera. As fontes de energia consideradas foram: álcool, eletricidade, petróleo e gás natural e os derivados de petróleo.

Avaliou as mudanças na intensidade de emissão de CO₂ setoriais entre 2000 e 2005 através do modelo insumo-produto híbrido para o Brasil e buscou verificar, através da Análise de Decomposição Estrutural (SDA – *Structural Decomposition Analysis*), o papel das transformações tecnológicas sobre emissões de CO₂.

A partir da SDA a variação total da matriz inversa de Leontief pode ser desagregada em uma parte que está associada com mudança de tecnologia dentro de cada setor (como reflexo de mudanças na matriz de coeficientes direta) e em outra parte associada a mudanças no mix de produtos dentro de cada setor. Da mesma forma, mudanças na demanda final poderiam ser ainda desagregadas em uma parte que capta as mudanças na composição da demanda final (MILLER e BLAIR, 2009 in CARNEIRO, 2010). A SDA é uma forma, portanto, de medir os efeitos composição, escala e tecnológico para o Brasil. (ver seção 1.4)

Comparando o resultado do modelo para os anos de 2000 e 2005, Carneiro (2010) constatou que houve mudanças expressivas nas intensidades diretas, totais e indiretas de emissão de CO₂. Quanto à variação na intensidade total considerando o consumo de petróleo/gás natural, todos os setores apresentam um aumento na intensidade de CO₂ maior que 100%, exceto gasolina, 65%, e óleo combustível, 59%. Quanto à intensidade de emissão de CO₂ constatou-se que apesar do gás natural ser menos poluente que o óleo combustível, o aumento de quase 100% no consumo de gás natural, e a diminuição de cerca de 50% do óleo combustível elevou a intensidade de carbono emitido pelo uso de gás natural.

Segundo os resultados da análise de decomposição estrutural, boa parte da variação do produto é resultado de um aumento na demanda final (efeito escala predominou, portanto), resultado influenciado fortemente pelo aumento no montante dos gastos. Já a parte da variação do produto associada à mudança tecnológica, é influenciada principalmente pelo efeito intensidade. A variação nas emissões segue a mesma tendência da variação no produto, acrescentando o efeito intensidade de emissão além dos efeitos tecnológicos e de demanda final. O efeito intensidade de emissão de CO₂ representa as emissões de CO₂ por unidade produzida.

A aplicação da metodologia EIO-LCA ao Brasil foi a de Munasinghe et al, (2006).

Nesse trabalho, os dados ambientais vieram de diversas fontes, sendo escolhidos quatro conjuntos de poluentes para análise (três locais e um global). Os poluentes locais eram relacionados ao solo, ao ar e à água, obtidos de estudos anteriores dos próprios autores, de levantamentos feitos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), e de um estudo do Banco Mundial denominado *Industrial Pollution Projection System* (IPPS).

O poluente global escolhido foi o CO₂ emitido pelo consumo de combustíveis fósseis, cujos dados foram obtidos do estudo de 1998 realizado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte do esforço brasileiro de inventariar suas emissões totais de gases de efeito estufa, segundo a metodologia do Painel Intergovernamental de Mudança Climática. As matrizes de insumo-produto utilizadas foram as dos anos de 1990 a 1996.

O objetivo do trabalho foi o de testar a hipótese de que as exportações industriais brasileiras são especializadas em atividades relativamente mais poluentes que as atividades relacionadas ao atendimento do consumo interno. Para isso, os autores calcularam a razão entre a soma dos requisitos de produção de todos os setores da economia necessários ao atendimento da produção das exportações e a soma dos requisitos de produção para atender à demanda total e compararam com a razão entre requisitos de poluição para atender às exportações e os necessários à produção para atendimento à demanda total. Caso a primeira razão fosse maior que a segunda, concluir-se-ia que, para aquele poluente, as exportações brasileiras eram mais intensivas em poluição que a média da economia. Foi esse, aliás, o resultado encontrado para a maioria dos poluentes considerados entre os anos de 1990 e 1996.

Internacionalmente, uma das aplicações do modelo EIO-LCA foi em Portugal. Silva (2001) discute, em sua dissertação, o uso da metodologia de análise insumo-produto ambiental para estimar a carga ambiental dos gases de efeito estufa em Portugal. A autora utilizou projeções de crescimento de determinados setores para calcular o potencial de poluição de cada um deles até 2010.

O sítio da internet www.eiolca.net, mantido pelo *Green Design Institute* da *Carnegie Mellon University*, disponibiliza o método de Leontief operacionalizado por pesquisadores dessa Universidade ao longo da década de 1990. Atualmente há dez modelos já prontos para utilização disponíveis, sete para os Estados Unidos e três internacionais:

- a) Canadá: desenvolvido por *University of Toronto* e *Statistics Canada* para 105 setores utilizando como variáveis ambientais poluentes do ar convencionais, gases de efeito estufa e energia.
- b) Alemanha: desenvolvido por *Green Desing Institute* para 58 setores utilizando como variáveis ambientais poluentes do ar convencionais e gases de efeito estufa.

- c) Espanha: desenvolvido por *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas* (CIEMAT) para 73 setores, sendo disponibilizado apenas o modelo econômico.

Bjorn e MacLean (2003) apresentaram o primeiro modelo EIO-LCA para o Canadá. Neste trabalho, determinaram os setores da economia canadense que tiveram os anteriores impactos sobre o meio ambiente no que diz respeito ao uso de energia e de recursos renováveis e das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes. Além disso, os autores compararam alguns setores importantes da economia canadense com os correspondentes da economia dos Estados Unidos, com relação às medidas ambientais citadas.

Os dados sobre as emissões de gases de efeito estufa utilizados nesse trabalho são os apresentados no *Environment Canada Inventory*, referente aos gases dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Bjorn e MacLean (2003) calcularam o quanto seria emitido em Mt CO₂eq por US\$1 milhão (dólares de 1997) de demanda final. Dez setores foram examinados: indústria automobilística, fertilizantes, madeira, produtos de plástico, energia elétrica, produtos do fumo, móveis, gráfica, produtos de couro e ferramentas.

Os resultados mostraram que os Estados Unidos emitem mais gases de efeito estufa que o Canadá em todos os setores analisados, com exceção de três: gráfica, madeira e produtos do fumo. O setor de energia elétrica é o que emite mais em ambos os países, mas, como o Canadá utiliza mais fontes renováveis (como a energia hidrelétrica), apresenta um coeficiente de emissão duas vezes menor que o norte-americano.

1.6. Contribuição desta dissertação

Como o objetivo desta dissertação é compreender a relação entre a estrutura produtiva brasileira e o impacto sobre as emissões de gases de efeito estufa geradas no território nacional, o método mais adequado é contabilizar tais fluxos através das tabelas de insumo-produto. Como explicado anteriormente, são duas opções: a matriz de insumo-produto híbrida e o modelo EIO-LCA. Nesta dissertação, utiliza-se o método EIO-LCA, ou seja, coeficientes diretos, em vez do modelo híbrido ou de coeficientes indiretos.

O principal motivo para essa escolha é a utilização de uma base de dados muito mais ampla que os trabalhos anteriores em relação às emissões de poluentes globais. Nos trabalhos descritos, apenas uma fonte de emissão de carbono foi utilizada: a geração de energia. A partir das bases de dados dos referidos trabalhos, foram identificados os bens energéticos já contabilizados na matriz de insumo-produto original (lenha, carvão vegetal, eletricidade, álcool, etc) e substituídos os valores monetários respectivos pelo volume físico utilizado no ano pelos demais setores da economia, sendo possível a construção de uma matriz híbrida. A emissão de carbono devido ao uso desses bens energéticos foi calculada através de coeficientes de conversão específicos.

Nesta dissertação, amplia-se a base de dados referentes aos poluentes gerados na economia. Além das fontes de carbono advindas da queima de combustíveis para geração de energia, foram incluídas (ainda no setor de energia) as emissões fugitivas, advindas da extração e produção de petróleo e gás natural, além das derivadas de processos industriais, tratamento de resíduos, atividades agropecuárias e mudança de uso de terra e florestas.⁸

No nosso caso, a base de dados referentes à parte ambiental do problema já são as emissões propriamente ditas, disponibilizadas no inventário de emissões brasileiro, e não as unidades físicas dos insumos utilizados e que, na sua utilização geram emissões. É claro que, em algum momento, essas unidades físicas foram consideradas e algum método de conversão para a geração de gás carbônico e outros gases de efeito estufa foi utilizado. Isso pode ser feito para as fontes primárias de energia, pois elas já se incluem na matriz de insumo-produto, uma vez que possuem valor de mercado e são transacionadas na economia.

Dados esses problemas para a adoção do modelo híbrido quando se trata de utilizar várias fontes diferentes de emissões, optou-se por adotar a forma mais simples de combinação entre LCA e matriz de insumo-produto, ou seja, o modelo de EIO-LCA.

É possível dizer que, mesmo optando por uma abordagem mais simplificada, este trabalho contribui à literatura empírica nacional na medida em que utiliza dados mais recentes, referentes ao ano de 2005 (IBGE, 2008) sobre as emissões de gases de efeito estufa e sobre a estrutura produtiva nacional, incluindo não só o CO₂ como poluente global, mas também outros dos principais gases de efeito estufa como o

⁸ Energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso de terras e florestas e tratamento de resíduos são as fontes de emissões de gases de efeito estufa de acordo com o Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do Brasil

metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Além disso, considera outras fontes possíveis de emissões, além da queima de combustíveis para geração de energia.

Esta dissertação também incorpora os cálculos das elasticidades emissão-demanda, tal como Hildemberg (2005) e Carvalho e Perobelli (2009), utilizando dados mais atuais, a fim de encontrar os setores-chave da economia quando se trata de emissão dos gases de efeito estufa, numa tentativa de entender melhor como a composição setorial dos componentes da demanda final explicam as diferentes intensidades de emissão a eles associados.

APÊNDICE DO CAPÍTULO 1
O modelo de Leontief (1970)

Leontief (1970) adaptou o modelo de matriz de insumo-produto ao problema ambiental.

O autor, neste artigo de 1970, afirma que a poluição é um subproduto das atividades da economia. Como exemplo, cita a quantidade de monóxido de carbono liberada na atmosfera, que obedece a uma relação definida com a quantidade de combustível queimada pelos motores automobilísticos. Existe, portanto, uma interdependência técnica entre os níveis de produtos desejáveis e não-desejáveis (automóveis e monóxido de carbono, respectivamente), que pode ser descrita por coeficientes técnicos de modo similar aos utilizados para traçar a interdependência entre os setores tradicionais de produção e de consumo. O autor demonstra, a partir de uma economia fictícia de dois setores, Agricultura e Indústria, que o aspecto ambiental e o aspecto econômico podem ser integrados através de três enfoques.

O ponto de partida é uma matriz de oferta e demanda entre os dois setores, cujos dados são apresentados em quantidades físicas: sacas de trigo para a Agricultura e metros de tecido para a Indústria. As vendas totais de cada setor (X_1 e X_2) atendem o consumo intermediário das firmas (X_{11} , X_{12} , X_{21} e X_{22}) e a demanda final das famílias (Y_1 e Y_2).

Figura 1.2. Matriz de insumo-produto em unidades físicas:

de	para			Vendas
	Setor 1 Agricultura	Setor 2 Indústria	Demanda Final Famílias	Totais
Setor 1 Agricultura	X_{11}	X_{12}	Y_1	X_1
Setor 2 Indústria	X_{21}	X_{22}	Y_2	X_2

Fonte: Leontief (1970)

A partir da matriz de insumo-produto, calcula-se a matriz de coeficientes técnicos diretos de produção.

Figura 1.3. Matriz de coeficientes técnicos a partir da matriz de insumo-produto física:

de	para		
	Setor 1 Agricultura	Setor 2 Indústria	Demanda Final Famílias
Setor 1 Agricultura	$X_{11}/X_1 = a_{11}$	$X_{12}/X_2 = a_{12}$	Y_1
Setor 2 Indústria	$X_{21}/X_1 = a_{21}$	$X_{22}/X_2 = a_{22}$	Y_2

Fonte: Leontief (1970)

O primeiro enfoque para introduzir a problemática ambiental ao modelo supõe que a tecnologia empregada pelo setor industrial leva à emissão de z_1 gramas de poluente para cada metro de tecido produzido, enquanto a tecnologia agrícola emite z_2 gramas por saca de trigo produzida. Com isso, a economia passa a contar com um terceiro setor, responsável por produzir poluição, que será distribuída apenas para o consumo intermediário dos outros dois setores. Assim, $X_{31} = z_1X_1$ e $X_{32} = z_2X_2$ e $Y_3=0$, uma vez que poluição não é um bem desejado pelas famílias, mas sim um subproduto do processo de produção dos dois bens.

Figura 1.4. Matriz de insumo-produto em unidades físicas, com o setor que produz poluição:

de	para			Vendas Totais
	Setor 1 Agricultura	Setor 2 Indústria	Demanda Final Famílias	
Setor 1 Agricultura	X_{11}	X_{12}	Y_1	X_1
Setor 2 Indústria	X_{21}	X_{22}	Y_2	X_2
Setor 3 Poluição	X_{31}	X_{32}	Y_3	X_3

Fonte: Leontief (1970)

Representando a matriz anterior na forma de um sistema de equações lineares:

$$\begin{cases} X_1 - a_{11}X_1 - a_{12}X_2 = Y_1 \\ X_2 - a_{21}X_1 - a_{22}X_2 = Y_2 \\ X_3 - z_1X_1 - z_2X_2 = 0 \end{cases}$$

Em termos matriciais, tem-se: $X - AX = Y \rightarrow X = (I-A)^{-1}Y$. Ou seja, dada a demanda final Y , calcula-se os requisitos de produção total necessários a atendê-la. No caso acima, aplicando a operação matricial, encontraremos a produção total do Setor Agricultura, do Setor Indústria e o total de poluição emitida pela economia.

O autor chama atenção para o fato de que as transações com produtos não-desejáveis se dão fora do mercado e, para incluí-los, há de se enfrentar problemas de mensuração de custos e de precificação de tais produtos. A magnitude dessas transações pode ser estimada indiretamente pela análise detalhada das relações técnicas na economia e do uso de fatores de produção por cada um dos setores.

Dessa forma, Leontief (1970) considera que todos os setores de sua economia fictícia utilizam o trabalho como fator de produção, pagando um salário w por homem-ano. Embora o valor de w seja único na economia, a despesa com o fator trabalho por unidade de produto vai variar de acordo com o setor, uma vez que as tecnologias são diferentes entre eles. Um setor de oferta de trabalho é definido de forma análoga aos outros, sendo sua demanda final igual a zero, já que as famílias não consomem unidades de trabalho em seu consumo final.

Figura 1.5. Matriz de insumo-produto com o setor ofertante de trabalho:

de	para			Vendas Totais
	Setor 1 Agricultura	Setor 2 Indústria	Demanda Final Famílias	
Setor 1 Agricultura	X_{11}	X_{12}	Y_1	X_1
Setor 2 Indústria	X_{21}	X_{22}	Y_2	X_2
Insumo Trabalho (valor adicionado)	L_1 ($w.L_1$)	L_2 ($w.L_2$)	0	$L = L_1 + L_2$ ($w.L$)

Fonte: Leontief (1970)

A partir da hipótese neoclássica de lucro zero, o autor observa que os preços de mercado de uma saca de trigo e de um metro de tecido devem ser suficientes para permitir que os setores Agricultura e Indústria sejam capazes de gerar um valor adicionado (depois de pagar por todos os insumos intermediários) igual a despesa, em homens-ano, utilizados para produzi-los. Fazendo o preço (P_1 e P_2) de cada produto uma função do valor adicionado (v_1 e v_2), pode-se encontrar o valor de venda das unidades

produzidas (P_1^* e P_2^*) e transformar os fluxos físicos em fluxos monetários, por uma simples operação de multiplicação.

$$\begin{cases} P_1 - a_{11}P_1 - a_{12}P_2 = v_1 \\ P_2 - a_{21}P_1 - a_{22}P_2 = v_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} P_1^* \\ P_2^* \end{cases}$$

Figura 1.6. Matriz de insumo-produto em unidades monetárias:

de	para			Vendas Totais
	Setor 1 Agricultura	Setor 2 Indústria	Demanda Final Famílias	
Setor 1 Agricultura	P_1X_{11}	P_1X_{12}	P_1Y_1	P_1X_1
Setor 2 Indústria	P_2X_{21}	P_2X_{22}	P_2Y_2	P_2X_2

Fonte: Leontief (1970)

O segundo enfoque que o autor desenvolve é a partir da suposição da existência de um setor responsável para a mitigação da poluição, que demandará unidades de trabalho e metros de tecido a fim de eliminar uma unidade de poluente. Agora, o setor industrial deverá atender à demanda de insumos intermediários para um terceiro setor, a indústria antipoluição, cujo produto é medido em gramas de poluição eliminada. Este setor também deverá atender à demanda final das famílias por poluição, ou seja, deve retirar do ambiente uma quantidade suficiente de poluição que respeite a tolerância máxima imposta pela população. Por esta lógica, se a demanda de poluição pela população é igual ao produzido pela Agricultura e pela Indústria de acordo com z_a e z_i , então a produção da indústria antipoluição é nula. Conforme a tolerância da população diminui, essa indústria produz uma quantidade positiva de “poluição não produzida”.

O terceiro enfoque possível para ampliar o modelo de insumo-produto com coeficientes ambientais é descentralizar a atividade antipoluidora para os demais setores da economia, inclusive a indústria responsável exclusivamente por atividades de mitigação de poluição. Cada indústria poderia, às suas próprias custas, de forma voluntária ou em obediência a uma lei especial, eliminar toda ou uma fração da poluição gerada por suas atividades. Os custos adicionais seriam incluídos no preço de seu produto comercializável. Essa é uma estratégia de internalização da externalidade

ambiental, uma vez que impõe uma compensação no preço do custo ambiental de produção/consumo de produto em questão.

O mesmo procedimento de dedução dos preços dos produtos a partir dos valores adicionados pode ser aplicado para o segundo e para o terceiro enfoques. Neste último, os preços pagos pela saca de trigo, pelo metro de tecido e pela grama de poluente retirado do meio ambiente são mais caros que os pagos nos enfoques anteriores, para o mesmo nível de tolerância de poluição. Isso significa que os consumidores arcam com parte da eliminação da poluição gerada na produção daquele bem, não apenas de maneira direta, pagando às firmas do setor antipoluição, mas também de maneira indireta, através do pagamento de produtos mais caros em todos os setores.

CAPÍTULO 2

Gases de Efeito Estufa e Convenção do Clima

O fenômeno de efeito estufa é natural e essencial para a vida no planeta. Na ausência dos gases que o provocam, a radiação do sol não seria convertida em calor, mas sim, refletida pela superfície da Terra de volta para o espaço, mantendo a temperatura média do planeta extremamente baixa. No entanto, mudanças nas concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa, cobertura vegetal e radiação solar alteram o balanço energético do sistema climático e levam a mudanças no clima. Esse processo pode provocar mudanças de temperatura atmosférica, derretimento de gelo e neve, elevação do nível do mar e aumento da frequência de eventos climáticos adversos, causando prejuízo aos seres humanos. (MCT, 2010) (IPCC, 200)

Os gases de efeito estufa são poluentes globais, pois podem prejudicar todo o planeta quando ultrapassada certa concentração na atmosfera, independentemente do país de origem das emissões.

Em junho de 1992, durante a Cúpula da Terra realizada no Rio de Janeiro, mais de 150 Estados assinaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), cujo princípio motivador é de que o sistema climático é um recurso compartilhado cuja estabilidade pode ser afetada por emissões de gases de efeito estufa originadas de atividades humanas (MCT, 2010)

Os gases de efeito estufa cujas emissões e remoções antrópicas são consideradas pela CQNUMC são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o dióxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFC), os perfluorcarbonos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metálicos (NMVOC), mesmo não sendo gases de efeito estufa diretos, possuem influência sobre eles nas reações químicas que ocorrem na atmosfera. (MCT, 2010)

A Convenção enfatiza que, de um lado, os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelas emissões históricas e atuais, devendo tomar a iniciativa no combate à mudança do clima e que, por outro lado, a prioridade dos países em desenvolvimento deve ser o seu próprio desenvolvimento social e econômico, e que a sua parcela de emissões globais totais tende a aumentar durante seu processo de industrialização. (MCT, 2010)

Tanto os países desenvolvidos quanto os em desenvolvimento que se tornaram partes da Convenção assumiram alguns compromissos, entre os quais a contabilização das emissões domésticas de gases de efeito estufa, o desenvolvimento de programas de mitigação da mudança do clima e adaptação de seus efeitos e o fortalecimento da pesquisa científica e tecnológica sobre o sistema climático. Adicionalmente, os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir suas emissões e a transferir recursos tecnológicos e financeiros para países em desenvolvimento com o objetivo de ajudá-los a seguir as diretrizes da Convenção. (MCT, 2010)

Na terceira sessão da Conferência das Partes (COP3) em Kyoto, Japão, realizada em dezembro de 1997, foi adotado o Protocolo para a CQNUMC. O Protocolo de Kyoto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998 e, um ano depois contava com 84 ratificações (MCT, 2010).

O detalhamento das regras de implementação foi feito durante a sétima Conferência das Partes em Marrakesh em 2001 (COP7). Foi definido na ocasião que os países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012. Acreditava-se na época que esse compromisso seria capaz de produzir uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos. O Protocolo entrou em vigor em 2005. Atualmente, são 191 partes (MCT, 2010).

Os signatários da CQNUMC são classificados em países do anexo I, os industrializados que devem cumprir metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, e em países não-anexo I, países em desenvolvimento que não têm metas a cumprir, mas seguem outras diretrizes da Convenção do Clima. Os países com metas a cumprir devem fazê-lo através de ações domésticas, mas seu esforço pode ser complementado pela utilização dos mecanismos flexíveis estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto (MCT, 2010).

Na COP 7 foi criado também o Comitê Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos do Protocolo de Kyoto que permite que países do Anexo I financiem projetos de redução ou comprem os volumes de redução de emissões resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não industrializados. Os outros dois mecanismos são o Comércio de Emissões e a Implementação Conjunta, instrumentos pelos quais um país industrializado pode contabilizar reduções realizadas em outro país do Anexo I (MCT, 2010).

As partes da Convenção do Clima devem submeter relatórios nacionais, cujos elementos principais são informações sobre emissões antrópicas e remoções de gases de efeito estufa e o detalhamento das atividades que o país têm realizado para implementar as diretrizes da Convenção. Tais relatórios, chamados Comunicações Nacionais, geralmente contêm informações sobre o contexto político, econômico e ambiental do país e, quando o país faz parte do Anexo I, também há informação adicional para demonstrar seu compromisso com as metas do Protocolo de Kyoto (MCT, 2010).

As partes do Anexo I devem submeter seus dados sobre inventários nacionais anualmente e elaborar os documentos de comunicação nacional periodicamente, de acordo com as datas determinadas pelas Conferências das Partes. Por outro lado, não há datas pré-determinadas para a submissão dos relatórios dos países do não-anexo I, embora eles devam ser submetidos dentro dos quatro anos seguintes à liberação dos recursos financeiros previstos para financiar a elaboração das comunicações nacionais (MCT, 2010).

Desde 1994, os governos têm investido tempo e recursos significativos na preparação, consolidação e validação dos dados referentes à emissão de gases de efeito estufa, e a Convenção do Clima através das Conferências das Partes tem se esforçado para melhorar a qualidade e a consistência desses dados através de manuais disponíveis no sítio da CQNUMC (MCT, 2010).

A partir da COP 11 em Montreal, foram oficialmente abertas as discussões sobre o que deve ser feito após 2012 e como incluir países em desenvolvimento (principalmente China, Índia e Brasil) no esforço de limitação das emissões. Desde então, apenas acordos vagos foram feitos, sem nenhuma resolução sobre novas metas (MCT, 2010).

A última sessão do encontro dos países signatários da Convenção do Clima, a COP 15, realizada em Copenhague foi considerada também de pouco avanço. Um dos resultados do encontro foi um acordo cujo conteúdo confirmou a necessidade de cortes profundos nas emissões globais com vistas a reduzir as emissões globais, de modo a manter o aumento da temperatura global abaixo de 2 graus Celsius. Também afirmou que as Partes incluídas no Anexo I que são Partes do Protocolo de Kyoto intensificarão, assim, as reduções de emissões iniciadas pelo Protocolo de Kyoto, embora não fosse quantificada uma nova meta. Sobre as partes não incluídas no Anexo I da Convenção, o acordo diz apenas que esses países implementarão ações de mitigação (MCT, 2010).

A COP 15 reconheceu através do mesmo documento o papel crucial da redução de emissões por desmatamento e degradação florestal e a necessidade de aumentar as remoções de emissões de gases de efeito estufa por florestas, através de incentivos positivos a essas ações (MCT, 2010).

Em dezembro de 2010, foi encerrada a COP 16 em Cancún, México. A COP-16 oficializou o Acordo de Copenhague, que, apesar de incluir compromissos voluntários de redução de gases do efeito estufa por China, Índia, Brasil e vários outros países, não chegara a ser adotado de modo formal em plenário.

Nessa conferência foi estabelecido um acordo sobre as regras básicas para a remuneração da preservação de florestas, o chamado Redd (redução de emissões por desmatamento e degradação florestal).

Foi também lançado um Fundo Verde, que será provisoriamente administrado pelo Banco Mundial, para gerir os recursos que já haviam sido prometidos em Copenhague pelos países mais ricos (US\$ 30 bilhões até 2012, mais o compromisso de chegar a 2020 com US\$ 100 bilhões anuais). Além disso, criou-se um Comitê de Adaptação, para organizar a destinação de metade desses valores à preparação das nações mais pobres e vulneráveis para enfrentar problemas associados à mudança climática (LEITE, 2010).

Outra organização internacional associada aos estudos de mudança climática é Painel Intergovernamental para a Mudança do Clima, criada em 1988 pela Organização Mundial de Meteorologia e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Seu objetivo é fornecer ao mundo uma visão científica clara sobre a mudança climática e suas potenciais consequências ambientais e sócio-econômicas (MCT, 2010).

O último relatório de avaliação publicado pelo Painel Intergovernamental para a Mudança do Clima em 2007, conhecido como AR4 trouxe evidências de que o aquecimento do clima é inequívoco e que grande parte da elevação média de temperatura global desde a metade do século 20 é muito provavelmente causada pelo aumento observado nas concentrações antropogênicas de gases de efeito estufa (MCT, 2010).

Segundo este relatório, onze dos doze anos compreendidos entre 1995 e 2006 foram os anos mais quentes para a superfície terrestre desde 1850. Além disso, também foram observados os efeitos desse aumento da temperatura: aumento do nível médio do mar e do número e da extensão de lagos glaciais; mudanças em alguns ecossistemas árticos e antárticos; decréscimo da cobertura de gelo em áreas do Hemisfério Norte,

entre outros. As concentrações atmosféricas cresceram muito devido às atividades humanas desde 1750, segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Os dados apontam que as concentrações atmosféricas de CO₂ e CH₄ em 2005, por exemplo, excederam com folga a média dos últimos 650 mil anos (IPCC, 2007).

Do lado das causas do aumento observado de temperatura, o relatório AR4 apontou que as emissões globais de gases de efeito estufa devidas às atividades humanas cresceram cerca de 70% entre 1970 e 2004. A maior parte desse aumento veio do fornecimento de energia, transportes e indústrias, enquanto que as emissões de construções comerciais e residenciais, o uso de florestas (inclusive desmatamento) e a agropecuária foram setores cujas emissões vêm crescendo mais lentamente.

O aumento nas concentrações globais de CO₂ é devido principalmente ao uso de combustíveis fósseis e, um pouco menos, às mudanças no uso da terra. Já o aumento observado da concentração de CH₄ na atmosfera pode ser atribuído à agricultura e ao uso de combustíveis fósseis. A elevação da concentração de N₂O, por sua vez, deve-se, principalmente, às atividades agrícolas (IPCC, 2007).

Segundo os números apresentados no AR4 (IPCC, 2007), o mundo emitiu, em 2004, 49 GtCO₂eq em gases de efeito estufa, sendo que o CO₂ o gás com maior participação nesse montante (77%), acompanhado do CH₄ (14%) e do N₂O (8%). Do ponto de vista das fontes desses gases, a geração de energia foi a principal, contribuindo com 26% do total de emissões, seguido dos processos industriais (19%), mudança de uso de terras e florestas (17%), agropecuária (14%), transporte (13%), prédios residenciais e comerciais (8%) e tratamento de resíduos (3%).

De acordo com o segundo (e mais recente) inventário brasileiro, em 2005, o Brasil emitiu pouco mais de 2x 10⁹ toneladas de CO₂eq em gases de efeito estufa. A participação dos gases de efeito estufa é parecida com a do mundo como um todo: CO₂ (75%), CH₄ (17%) e N₂O (8%). No entanto, a contribuição de cada fonte é muito diferente. No Brasil, em 2005, 61% das emissões se originaram na mudança de uso de terras e florestas, 19% na agropecuária, 15% no setor energia, 3% nos processos industriais e 2% no tratamento de resíduos.

CAPÍTULO 3

Aplicação ao Brasil

3.1.Preparação dos dados

O Primeiro Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas dos Gases de Efeito Estufa foi publicado em 2004, como parte da publicação da Primeira Comunicação Nacional do Brasil, com dados relativos aos anos de 1990 a 1994. O inventário segue as Diretrizes para Elaboração das Comunicações Nacionais dos Países não listados no Anexo I da CQNUMC e as diretrizes metodológicas do IPCC.

Mais recentemente, em novembro de 2009, foi divulgada a versão preliminar do inventário para os anos de 2000 e 2005. Trata-se de um relatório com informações gerais e valores preliminares das emissões brasileiras dos principais gases de efeito estufa. Esse relatório preliminar faz parte do esforço do Brasil em elaborar, até 31 de março de 2011, a Segunda Comunicação Nacional à CQNUMC. Atualmente, os relatórios de referência, que detalham a metodologia utilizada e os dados obtidos por cada setor inventariado, estão em fase de verificação após serem disponibilizados no sítio do Ministério de Ciência e Tecnologia para consulta pública.

A classificação dos setores do Inventário Nacional segue a estrutura sugerida pelo IPCC: Energia, Processos Industriais, Agricultura, Mudança de Uso de Terras e Florestas e Tratamento de Resíduos.

A fim de pôr em prática a metodologia do modelo de insumo-produto ambiental, foi utilizada a matriz de insumo-produto brasileira de 2005, da qual foi obtido o valor da produção, do consumo intermediário e do consumo autônomo dos setores econômicos.

Visto que o inventário traz as emissões classificadas segundo sua fonte geradora, dando origem aos cinco grupos acima citados, uma compatibilização entre os setores econômicos se fez necessária como classificados na matriz de insumo-produto de cada ano e os setores do inventário, cujas estruturas foram detalhadas nos relatórios de referências publicados em 2010.

A seguir, explica-se detalhadamente como essa alocação foi feita e como a classificação do inventário de gases de efeito estufa e a classificação da matriz insumo-produto foram compatibilizadas. Os códigos de quatro dígitos entre parêntesis no texto a seguir são referentes à classificação da matriz de insumo-produto. (ver Tabela A, no anexo)

3.1.1. Setor Energia

Este setor é dividido em dois grandes sub-setores: queima de combustíveis e emissões fugitivas.

Queima de combustíveis

Há dois relatórios de referência de queima de combustíveis no setor energia: um segundo a abordagem *top-down* e outro segundo a abordagem *bottom-up*.

A metodologia *top-down* permite estimar as emissões de CO₂ considerando apenas a oferta de energia do país. A metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia nacional, o carbono contido em um combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de algum modo, como uma variação positiva dos estoques. Esse método, portanto, não depende de informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final, ou sobre as transformações intermediárias dos combustíveis.

Já a metodologia *bottom-up* estima as emissões por queima de combustíveis em um nível mais desagregado. Foi este relatório de referência o utilizado para obter as emissões setoriais e alocá-las nos setores econômicos conforme a classificação da matriz de insumo-produto. Neste relatório, as emissões de CO₂ por queima de combustíveis fósseis são classificadas em oito grupos: (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / Economia e Energia (OSCIP), 2010a)

1. Consumo não-energético: refere-se aos processos de uso de combustíveis que emitem gases de efeito estufa cujo objetivo final não é gerar energia, como por exemplo, combustíveis utilizados como, matéria-prima na indústria petroquímica. Todas as emissões nesse item foram alocadas no setor de Refino de Petróleo e Coque (0309).
2. Setor Energético Amplo: inclui todas as atividades de extração, refino e produção de combustíveis fósseis, além da produção de energia elétrica a partir de termelétricas convencionais; essa conta não inclui o combustível utilizado como matéria-prima, como, por exemplo, o petróleo para refino; inclui apenas o consumo de combustível destinado ao funcionamento da indústria. Os dados são apresentados por combustível utilizado. Foi preciso uma investigação ou na literatura especializada ou na própria estrutura da matriz insumo-produto para

alocar os combustíveis nas indústrias que tendem a utilizá-los mais, na proporção mais próxima da realidade possível. Os setores que receberam esses dados de emissões foram os de Petróleo e Gás Natural (0201), Minério de Ferro (0202), Outros da Indústria Extrativa (0203), Refino de Petróleo e Coque (0309) e Eletricidade e Gás, Água, Esgoto e Limpeza Urbana (0401).

3. Setor Residencial: são as emissões devidas ao consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP, mais conhecido como gás de cozinha), de Querosene Iluminante, Gás Natural Seco e Gás Canalizado. Todas as emissões foram alocadas no Consumo Final das Famílias.
4. Setor Comercial: são emissões derivadas do uso de GLP, de Gás Natural Seco, de Óleo Diesel e de Óleo Combustível. Foram alocadas no setor Comércio (0601).
5. Setor Público: são emissões originadas do uso dos mesmos combustíveis do setor anterior. Foram alocadas nas atividades somadas dos setores: Educação Pública (1201), Saúde Pública (1202) e Administração Pública e Seguridade Social (1203).
6. Setor Agropecuário: as emissões deste setor vêm principalmente do consumo de óleo diesel e de óleo combustível. Considerou-se a participação dos setores 0101 e 0102 no total do valor da produção para utilizar as mesmas proporções sobre as emissões e assim alocar 2/3 das emissões no setor de Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal e 1/3 das mesmas no de Pecuária e Pesca.
7. Setor de Transporte: as emissões relacionadas ao transporte ferroviário, aéreo e hidroviário foram alocadas no setor Transporte, Armazenagem e Correio (0701), tal como as emissões advindas do consumo de veículos comerciais leves e caminhões. Já as emissões originadas da queima de combustíveis por automóveis e ônibus foram associadas ao consumo final das famílias.(BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /ANAC, 2010) (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / Economia e Energia (OSCIP), 2010a; 2010b)
8. Setor Industrial: inclui as emissões dos setores Cimento, Ferro Gusa e Aço, Ferro-Ligas, Mineração e Pelotização, Não-Ferrosos, Química, Alimentos e Bebidas, Têxtil, Papel e Celulose, Cerâmica e Outras Indústrias. Cada uma dessas emissões foi alocada nos setores análogos segundo a matriz de insumo-produto, com exceção das emissões de CO₂ referentes às etapas do processo de produção de ferro-gusa e aço bruto e sinter, também relatadas no Relatório de

Referência de processo Industriais – Indústria Metalúrgica – Emissões de CO₂ na Indústria do Aço. Essa duplicação deve ser eliminada na consolidação dos resultados do Inventário Nacional. Outra exceção são as emissões advindas de Outras indústrias, cujas fontes não são identificáveis e, também, por representarem em média 6% das emissões do Setor Industrial por queima de combustíveis, foram ignoradas e não alocadas em setor algum.

Ainda no relatório de referência *bottom-up* de energia, são reportadas as emissões de metano para os mesmos setores supracitados e o critério de alocação nos setores conforme a matriz de insumo-produto foi o mesmo.

Emissões Fugitivas

As emissões fugitivas são as relacionadas à exploração de carvão mineral e à cadeia de produção de petróleo e gás natural.

Quanto às emissões fugitivas relacionadas ao carvão mineral tem-se que a participação deste produto e de seus subprodutos na oferta de energia primária no Brasil foi de 6,5% em 2005. A participação do carvão mineral na oferta de energia primária é maior do que a produção, devido à importação por diversos setores.(BRASIL-Ministério da Ciência e Tecnologia /ABCM, 2010).

Para o inventário, são contabilizadas tanto as emissões de CH₄ na mineração e beneficiamento do carvão mineral quanto as emissões de CO₂ pela queima espontânea nas pilhas de rejeito. As estimativas de emissão de metano devem ser desenvolvidas para as três principais fontes de emissão: as minas subterrâneas, as minas a céu aberto e as atividades pós-mineração (tanto das minas subterrâneas quanto das minas a céu aberto).

Em relação às emissões de CO₂, o carbono presente no carvão mineral pode ser convertido em emissões desse gás a partir da combustão espontânea na armazenagem e nos rejeitos, bem como no consumo final.

Quanto as emissões fugitivas advindas das atividades de petróleo e gás natural, tem-se que elas emitem dióxido de carbono, metano e óxido nitroso nas áreas de Exploração e Produção (E&P), Refino e Transporte.

As fontes de emissões fugitivas contempladas nos sistemas de óleo e gás natural incluem: liberação durante operações normais, como emissões associadas

venting(fugas de CH₄ durante a extração de petróleo e gás natural)e *flaring*(emissões de CO₂ por combustão não útil nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinarias), vazamentos crônicos ou descargas provenientes do processo de ventilação, emissões ocorridas na manutenção e emissões que derivam de acidentes e eventos não planejados que afetam o sistema. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /Petrobrás, 2010).

O uso de óleo e gás natural, ou de seus derivados, para fornecer energia para uso interno na produção de energia e transporte é considerado como combustão e, portanto, tratado na parte de queima de combustíveis fósseis.

As emissões derivadas das atividades de Extração e Produção de Petróleo e Gás Natural foram relacionadas ao setor de Petróleo e Gás Natural (0201). No setor de Minério de Ferro (0202).Foram alocadas as emissões fugitivas relacionadas à mineração e pós-mineração e da queima espontânea em pilhas de rejeitos. As emissões fugitivas também incluem as emissões advindas do refino e do transporte de petróleo e gás, que foram alocadas no setor de Refino e Coque (0309).

3.1.2. Setor Processos Industriais

Os relatórios de referência relacionados aos processos industriais são os da Indústria Química, da Indústria Mineral (Cimento e Produção de Cal, Dolomita e Uso da Barrilha e do Calcário), da Indústria Siderúrgica e da Indústria de Alumínio.

Indústria Química

As emissões da Indústria Química ocorrem pela produção de amônia, de ácido adípico, ácido nítrico e outros produtos químicos. A amônia é um dos produtos químicos básicos, produzido em grandes quantidades, utilizado como fonte de nitrogênio e matéria-prima para a fabricação de ureia, matéria-prima de fertilizantes, e para a produção de ácido nítrico. Como subproduto da fabricação de amônia é gerado dióxido de carbono (CO₂), que é liberado na atmosfera. Já para a formação de ácido nítrico, em uma das várias maneiras de se obtê-lo, há a formação de N₂O. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /ABIQUIM, 2009)

Todas as emissões reportadas no relatório de referência da Indústria Química foram relacionadas ao setor de Produtos Químicos (0311).

Indústria Mineral

As emissões da Indústria Mineral são divididas em dois relatórios de referência, um relativo apenas à produção de cimento e outro tratando da indústria de outros minerais não-metálicos.

As emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção de clínquer (material intermediário) e durante o transporte de matérias-primas. As características do processo produtivo, além de diversas ações adotadas pela indústria do cimento no Brasil, algumas há muitas décadas, outras mais recentemente, têm contribuído para a redução das emissões de CO₂ e posicionam a indústria do cimento nacional entre uma das mais eficazes em termos de emissões de gases de efeito estufa. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /SNIC, 2010)

A segunda parte do relatório de referência de produtos minerais apresenta as estimativas das emissões de dióxido de carbono – CO₂ provenientes da produção de cal, de outros usos do calcário e da dolomita com calcinação e do uso de carbonato neutro de sódio (barrilha). De acordo com a metodologia adotada, não são cobertas as emissões provenientes do uso de combustíveis para produção de energia, que são incluídas nos relatórios referentes à queima de combustíveis nem as emissões pelo uso de calcário como insumo agrícola, que são incluídas nos relatórios referentes à mudança no uso da terra e florestas. Outros usos do calcário e da dolomita com calcinação incluem sua utilização no setor siderúrgico, na produção de vidro e na produção de magnésio. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010d)

As emissões do primeiro relatório de referência foram alocadas no setor Cimento (0319) e as do segundo relatório de referência de Produtos Minerais foram relacionados ao setor Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos (0320).

Existem ainda emissões originadas especificamente em processos siderúrgicos, pois calcário e dolomita são usados como fundentes nos alto-fornos com o propósito de retirar impurezas existentes no metal e de tornar a escória mais fluida. Tais emissões são contabilizadas no setor de fabricação de Aço e Derivados (0321), pois são diretamente relacionados ao valor da produção dessa indústria.

Indústria Siderúrgica

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de CO₂, seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a queima dos mesmos.

Para a siderurgia, dentre os gases considerados com potencial de efeito estufa, destaca-se o dióxido de carbono (CO₂). Os demais gases, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) não são relevantes, para esta tipologia industrial.

Até 75% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de aço ocorrem durante a produção de ferro-gusa no alto forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. O percentual restante resulta do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /Instituto Aço Brasil, 2010).

O setor associado às emissões desse relatório é o de Fabricação de Aço e Derivados (0321).

Indústria de Alumínio

A produção atual de alumínio supera a soma de todos os outros metais não ferrosos (cobre, níquel, titânio e outros). A bauxita é o minério mais importante para a produção de alumínio, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio.

O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: mineração da bauxita, refinaria (transformação da bauxita em alumina calcinada) e redução (transformação da alumina em alumínio metálico). Nesta última fase, ocorre a liberação de gás carbônico. Outros gases emitidos na fabricação do alumínio primário são os perfluorcarbonos ou PFCs, gases de efeito estufa que têm uma vida atmosférica muito longa. Os PFCs emitidos pela indústria de alumínio ocorrem ocasionalmente durante o processo de redução eletrolítica. Essa situação resulta na emissão de gases contendo o tetrafluoreto de metano ou perfluormetano (CF₄) e o hexafluoreto de etano ou perfluoretano (C₂F₆). (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / ABAL, 2010)

As emissões da indústria do alumínio a que se refere o relatório em questão foram relacionadas ao setor de metalurgia de Metais não-Ferrosos (0322).

3.1.3. Setor Agropecuária

No setor agropecuário, as emissões de gases de efeito estufa ocorrem por diversos processos.

Na atividade de criação de animais, existem vários processos em que ocorrem emissões de gases de efeito estufa. A produção de CH₄ é parte do processo de digestão dos ruminantes herbívoros (fermentação entérica); o manejo de dejetos de animais gera emissões tanto de CH₄, quanto de N₂O; a utilização de esterco animal como fertilizante e a deposição no solo dos dejetos de animais em pastagem também produz N₂O.

As emissões dos cultivos de arroz inundado não são muito expressivas no Brasil, pois grande parcela da produção de arroz nacional é feita em campos secos.

A queima imperfeita de resíduos agrícolas produz emissões de gases de efeito estufa diretos (CH₄ e N₂O) e indiretos (NO_x, CO e NMVOC). As emissões de CO₂ liberadas durante a queima desses resíduos não são consideradas, porque a mesma quantidade de dióxido de carbono é necessariamente absorvida durante o crescimento das plantas, através da fotossíntese. No Brasil, essa prática ocorre nas culturas de cana-de-açúcar e algodão.

A emissão de N₂O em solos agrícolas ocorre principalmente pela deposição de dejetos de animais em pastagem e também pelas práticas de fertilização do solo. Estas últimas incluem o uso de fertilizantes sintéticos e produtos do manejo de dejetos de animais. O processo de fixação biológica de nitrogênio, que ocorre na cultura da soja, também gera emissões de N₂O.

Há outras duas fontes diretas de emissões de N₂O no setor agrícola. O nitrogênio contido nos resíduos de colheita de culturas que são incorporados ao solo, principalmente das culturas de cana-de-açúcar, milho, soja, arroz e mandioca. Além disso, há solos com alto conteúdo de matéria orgânica, como o das culturas plantadas em área de várzea.

Há ainda fontes indiretas de N₂O. No inventário é considerada a deposição atmosférica de NO_x e NH₃, advindas da volatilização de parte do nitrogênio contido nos fertilizantes sintéticos e nos dejetos de animais. Também é contabilizada a parte do nitrogênio que é aplicado em solos agrícolas através de fertilizantes sintéticos ou dejetos de animais e lixiviado e escoado por meio de rios até o oceano.

Todas as emissões relatadas pelos Relatórios de Referência de Cultivo de Arroz e Queima de Resíduos Agrícolas foram alocados no setor de Agricultura, Silvicultura e

Exploração Vegetal. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA, 2010c).

Já as emissões relatadas no Relatório de Referência de N₂O dos Solos que foram relacionadas ao mesmo setor são as relacionadas ao uso de fertilizantes sintéticos, à deposição de resíduos agrícolas, à agricultura em solos orgânicos, à fixação biológica de nitrogênio e a demais fontes indiretas de nitrogênio. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA, 2010a).

Já as emissões de N₂O relativas aos animais em pastagem e aos dejetos dos mesmos foram alocadas no setor de Pecuária e Pesca. Além dessas emissões, todas aquelas que foram inventariadas nos Relatórios de Referência de Pecuária/ Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais também foram alocadas no setor Pecuária e Pesca. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA, 2010b).

3.1.4. Setor Uso de Terras e Florestas

O relatório de referência Emissões de CO₂ pelo Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas apresenta as estimativas das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de dióxido de carbono (CO₂) associadas ao uso da terra, mudança de uso da terra e florestas e a estimativa da emissão média antrópica líquida anual do Brasil, para o período 1994 a 2002.

No relatório é apresentada uma matriz representativa das possíveis conversões no tipo de uso da terra, relacionando, em cada célula, a quantidade líquida de CO₂ emitidos devido a conversão de um determinado uso da terra em 1994 para outro uso em 2002. O total emitido, somando todas as conversões, foi de cerca de 10 milhões de Gg de CO₂.

De acordo com o uso final, foram classificadas as origens das emissões de acordo com a classificação da matriz de insumo-produto. A terra que em 2002, independentemente do uso em 1994, foi alocada para Floresta Manejada, Floresta Secundária, Floresta com Extração Seletiva, Reflorestamento, Campo não Manejado, Campo Manejado, Campo de Vegetação Secundária e Área Agrícola, é relacionada às atividades de Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal. As conversões para Floresta manejada e Reflorestamento contribuíram para a remoção de CO₂ da atmosfera durante o período, embora tenha sido mais que compensada pelas emissões advindas da terra que foi transformada em Área Agrícola. Em conjunto, toda a terra dos usos citados

contribuiu com quase 7% das emissões totais inventariadas nesse relatório de referência. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /FUNCATE, 2010)

A terra que em 2002 foi alocada para Pastagem Plantada é associada ao setor de Pecuária e Pesca. Cerca de 90% do total emitido entre 1994 e 2002 no setor de Uso de Terras e Florestas são originadas desse tipo de conversão. Há ainda outros usos como Área Urbana, Rios e Lagos, Reservatórios e Outros. As emissões originadas desses tipos de conversão representam menos de 2% do total emitido e não há detalhes suficientes para alocá-las nos setores da matriz de insumo-produto. Optou-se por alocar essas emissões para as famílias.

Como se vê, ao tratar da conversão do uso da terra entre 1994 e 2002, o relatório de referência em questão inventariou as emissões líquidas acumuladas em todo o período. No entanto, o Inventário Preliminar traz emissões por Mudança de Uso de Terra e Florestas para cada um dos anos de interesse desta dissertação, embora não detalhe os tipos de conversão que deram origem a tais emissões.

A solução encontrada foi aplicar as proporções acima no total apresentado pelo relatório preliminar (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009), assumindo que as conversões se deram de maneira linear ao longo do tempo e de maneira unidirecional, sem conversões intermediárias. Dessa forma, por exemplo, dos 1,20 milhão de Gg de CO₂ emitidos em 2005 e dos 1,18 de Gg de CO₂ em 2000, 91% foram alocados no setor de Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal, 7% no setor de Pecuária e Pesca e 2% para o consumo final das Famílias.

3.1.5. Setor Tratamento de Resíduos

A disposição e o tratamento de resíduos municipais e industriais podem produzir emissões de gases de efeito estufa. Os resíduos sólidos podem ser descartados em aterros, lixões, podem sofrer reciclagem ou incineração. Os resíduos líquidos podem receber várias formas de tratamentos físico-químicos ou biológicos.

O gás mais relevante produzido no tratamento de resíduos é o metano. Quantidades significativas de emissões de metano são produzidas e liberadas na atmosfera como produto secundário da decomposição anaeróbia de resíduos, sendo as duas maiores fontes a disposição de lixo em aterros e o tratamento anaeróbio de efluentes. Foram estimadas no inventário as emissões de CH₄ referentes à disposição de resíduos, ao tratamento e disposição de efluentes domésticos e industriais, além das

emissões de CO₂ e N₂O da incineração de resíduos. (BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /CETESB, 2010)

As emissões originadas da disposição de resíduos sólidos e do tratamento de esgotos domésticos foram associadas à demanda final pelas famílias, uma vez que dependem diretamente do tamanho da população. Já as emissões devidas ao tratamento de resíduos industriais foram detalhadas por tipo de indústria, fazendo parte desse rol as indústrias de cervejas, leite cru e leite pasteurizado, associadas ao setor de Alimentos e Bebidas (0301), de aves, bovinos e suínos, alocadas no setor de Pecuária e Pesca (0102), de algodão, relacionadas ao setor de Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal (0101) e, finalmente de papel, alocadas no setor de Celulose e Produtos de Papel (0307).

No inventário contam também como emissões de Tratamento de Resíduos as originadas à prática de incineração de resíduos. Essa prática vem sendo considerada com maior frequência em grandes metrópoles à medida que o custo do transporte do resíduo, para aterros cada vez mais distantes das regiões metropolitanas, aumenta. Porém, ela é aplicada a uma fração pequena do resíduo total tratado, sendo mais utilizada para o tratamento de resíduos industriais perigosos e resíduos dos serviços de saúde que, em geral, não podem ser dispostos em aterros comuns. Como a origem das emissões de incineração de resíduos é muito pulverizada e não detalhada no relatório de referência, além de representarem uma pequena parcela das emissões totais de Tratamento de Resíduos (menos de 1% das emissões totais em CO₂eq) elas não foram consideradas nesta dissertação.

3.2.Observações sobre a alocação das emissões

A consolidação final das emissões foi feita no último inventário nacional, publicado em novembro de 2010. Como as fontes de dados de emissão utilizadas nesta dissertação foram os relatórios de referências publicados ao longo do ano, houve alguma diferença entre os totais de emissões por gases de efeito estufa aferidos nesta dissertação e os recentemente consolidados.

Os dois principais gases de efeito estufa, CO₂ e CH₄, apresentaram uma diferença pequena entre as emissões consolidadas no último inventário e as consolidadas nesta dissertação a partir dos relatórios de referência, respectivamente iguais, a -2% e +1%.

A diferença mais preocupante é a das emissões de N₂O, de cerca de +20%. Como a maior parte dessa diferença é relacionada às emissões do setor de tratamento de resíduos, devidas ao tratamento de esgotos domésticos, se torna custoso demais investigar o porquê da discrepância. Todas as emissões alocadas diretamente para as famílias não foram consideradas para os fins desta dissertação, cujo foco foi o volume de emissões geradas durante as atividades produtivas e não durante o consumo final.

Após a alocação das emissões nos setores conforme a classificação da matriz de insumo-produto, 17 setores foram definidos. A tabela A em anexo mostra a correspondência desses setores com os originais da matriz de insumo-produto.

3.3. Compatibilização entre unidades

Além da compatibilização entre as classificações das atividades econômicas, também foi necessária a conversão das unidades dos gases de efeito estufa inventariados. Não é possível simplesmente somar os volumes emitidos de cada um dos gases para chegar às emissões totais, pois os gases de efeito estufa diferem entre si em influência sobre o aquecimento da atmosfera. Esse problema é resolvido fazendo a conversão dos volumes dos diferentes gases para emissão equivalente em CO₂ (CO₂eq), definido como a quantidade de CO₂ emitida capaz de causar o mesmo efeito sobre o aquecimento da atmosfera, num determinado horizonte de tempo, que o causado por um gás de efeito estufa qualquer. A conversão para CO₂eq é feita multiplicando-se o volume emitido de um gás de efeito estufa por seu Potencial de Aquecimento Global relativo a um certo prazo (SILVA, 2001). A equação abaixo esclarece como essa conversão é feita para os gases de efeito estufa considerados nesta dissertação (apenas a Indústria de Alumínio emite CF₄ e C₂F₆):

$$\begin{aligned} \text{Emissões em toneladas de CO}_2\text{eq} = & 1 * \text{Emissões em toneladas de CO}_2 + \\ & 21 * \text{Emissões em toneladas de CH}_4 + 310 * \text{Emissões em toneladas de N}_2\text{O} + \\ & 6.500 * \text{Emissões em toneladas de CF}_4 + 9.200 * \text{Emissões em toneladas de C}_2\text{F}_6 \end{aligned}$$

CAPÍTULO 4: Resultados

4.1. Emissões diretas e indiretas

No ano de 2005, as emissões brasileiras totais de gases de efeito estufa associadas à atividade produtiva, medidas em toneladas de CO₂eq, foram de $2,04 \times 10^9$, divididas em $1,47 \times 10^9$ em CO₂, $0,39 \times 10^9$ em CH₄, $0,21 \times 10^9$ em N₂O e $0,20 \times 10^9$ em CF₄ e C₂F₆.

Essa quantidade de emissões esteve associada à produção necessária a atender a demanda final da economia (vetor Y) em 2005, demanda esta equivalente a 2,16 trilhões de reais correntes (R\$₂₀₀₅). Através da multiplicação da matriz de Leontief com o vetor das demandas finais setoriais (17 linhas), foi possível obter os requisitos de produção (vetor X) para responder à demanda de cada um dos setores. A soma desses requisitos foi de 3,8 trilhões R\$₂₀₀₅.

Cada um dos setores possui uma tecnologia de produção que determina a quantidade de gases de efeito estufa emitidos para cada real produzido na indústria. É o chamado coeficiente de emissão (vetor Z, ver tabela 4.4). Tal coeficiente foi calculado a partir da razão entre as emissões das fontes associadas às atividades produtivas do setor em questão e o valor de produção dado na matriz de insumo-produto. Esses coeficientes foram multiplicados pelos requisitos de produção de cada um dos setores, resultando nas emissões totais de cada setor. Dessa forma, obtém-se novamente o vetor de emissões original cuja soma das linhas resulta no valor total de emissões anteriormente citado de $2,04 \times 10^9$ de toneladas de CO₂eq.

A metodologia apresentada no capítulo 2 permitiu que fossem calculados os requisitos de produção associados à demanda de cada componente da demanda final, ou seja, exportações, consumo das famílias, consumo da administração pública, consumo das instituições sem fins lucrativos a serviço das famílias (ISFLSF) e investimentos. As importações também podem utilizar da mesma metodologia, num cálculo do quanto seria necessário em recursos da economia se o país decidisse substituir todas as compras externas utilizando a tecnologia nacional. Dessa forma, a partir do vetor Z de coeficiente de emissão, é fácil chegar às emissões de gases de efeito estufa necessárias ao atendimento de cada item da demanda final e comparar a intensidade de emissão de cada uma.

Tabela 4.1. Requisitos de produção e emissões associadas de gases de efeito estufa por componente da demanda. 2005.

Componente da demanda e importações	Requisitos de Produção		Emissões		Intensidade de Emissão
	Milhões de R\$ ₂₀₀₅	%	Ton de CO ₂ eq	%	Ton de CO ₂ eq/ milhão de R\$2005
	(A)		(B)		(B)/(A)
Exportações	646.459	17%	553.970.022	27%	857
Consumo da Adm Pública	655.699	17%	61.633.993	3%	94
Consumo das ISFLSF	43.772	1%	6.473.449	0%	148
Consumo das Famílias	1.878.954	50%	1.175.521.038	58%	626
Investimentos	561.799	15%	241.256.080	12%	429
Demanda Final	3.786.683	100%	2.038.854.582	100%	538
Importações	475.576		190.015.593		400

Fonte: Elaboração própria. Resultados da aplicação da metodologia.

A importância relativa de cada componente na demanda final, no que se refere aos requisitos de produção, é diferente da mesma quando se trata das emissões totais, o que se manifesta nas diferentes intensidades de emissão (razão entre emissões totais e valor da produção).

O consumo das famílias é o componente de maior peso tanto no total de requisitos de produção (50%) como no das emissões (57%), embora apresente uma maior participação sobre o segundo total. O investimento e os demais itens de consumo interno, a saber, o consumo da administração pública e o consumo das ISFLSF, contribuem mais com os requisitos de produção do que com as emissões totais.

Quanto às exportações, observa-se um comportamento parecido com o do consumo das famílias, mas numa magnitude maior. Esse componente da demanda final ligado ao comércio exterior tem um peso sobre o total de emissões (27%) bem maior que o sobre o total de requisitos de produção da economia necessários para atender à sua demanda (17%). Tal discrepância é coerente com a intensidade de emissão das exportações, bem maior que a de qualquer outro item da demanda no Brasil em 2005.

A partir da intensidade de emissão calculada para as importações (na hipótese de indústrias domésticas produzirem os bens em vez de comprá-los do exterior), pode-se inferir qual impacto ambiental uma restrição ao comércio exterior causaria no país. Para o ano de 2005, manter a balança comercial em equilíbrio deixando de importar um

milhão de reais e de produzir o mesmo valor de exportações evitaria a emissão de 457 toneladas de CO₂eq (857 toneladas de CO₂eq menos 400 toneladas de CO₂eq). Logo, o Brasil é um país que prejudica mais o meio ambiente na questão do aquecimento global como exportador do que como importador.

Essa conclusão é válida partindo-se do pressuposto de que a composição setorial do valor de um milhão de reais reduzido das exportações é o mesmo do vetor original. No caso extremo de substituir um milhão de reais de importações, com a mesma estrutura setorial de 2005, e manter o equilíbrio da balança comercial deixando de produzir um milhão de reais em produtos agropecuários, o país, na verdade, deixaria de emitir 9.272 toneladas de CO₂eq (ver tabela 4.4) em gases de efeito estufa. É claro que, reduzindo as exportações proporcionalmente à composição setorial original da mesma, a emissão evitada será igual à diferença entre a intensidade de emissão das exportações menos a das importações, ou seja de 457 toneladas de CO₂eq.

Por outro lado, se o país deslocar recursos do consumo presente para o consumo futuro, transferindo um milhão de reais de produção do consumo das famílias para atender aos investimentos, deixará de emitir 197 toneladas de CO₂eq (626 toneladas de CO₂eq menos 429 toneladas de CO₂eq).

A justificativa para a participação de cada item da demanda ser diferente no total dos requisitos de produção e no total das emissões resulta da composição setorial do vetor em questão, uma vez que os coeficientes de emissão dos setores compõem um vetor único, utilizado em todos os cálculos para todos os itens da demanda final. Por exemplo, se as exportações são mais intensivas em emissão de gases de efeito estufa que o consumo da administração pública é porque setores mais poluentes do ponto de vista da produção participam mais na pauta das exportações do que na do consumo do governo, e não porque a tecnologia de produção de um mesmo bem seja mais poluente quando destinado à exportação, comparado com o mesmo destinado ao consumo interno.

A tabela 4.2 mostra a composição setorial dos requisitos de produção e a tabela 4.3, a composição setorial das emissões para cada componente da demanda final. Logo depois, a tabela 4.4 mostra os coeficientes ambientais. Os comentários são feitos na sequência, tomando os dados das três tabelas em conjunto.

Tabela 4.2. Composição setorial dos requisitos de produção, por item da demanda. 2005.

Setor	Exportação	Consumo da Adm Pública	Consumo das ISFLSF	Consumo das famílias	Investimentos	Demanda Final	Importações
Agropecuária	7,3%	0,7%	1,3%	5,7%	3,5%	4,7%	2,7%
Petróleo e gás natural	3,8%	0,6%	0,5%	1,7%	1,6%	1,9%	7,0%
Extração mineral	4,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,9%	1,0%	2,9%
Alimentos e bebidas	9,7%	1,4%	2,6%	10,0%	1,2%	7,0%	2,4%
Têxteis	1,5%	0,2%	0,4%	0,9%	1,0%	0,9%	1,4%
Celulose e produtos de papel	2,1%	0,3%	0,4%	0,9%	0,9%	1,0%	1,3%
Refino de petróleo e coque	4,9%	1,3%	1,0%	3,6%	2,8%	3,3%	5,5%
Produtos químicos	3,2%	0,5%	0,5%	1,3%	2,1%	1,6%	5,4%
Minerais não metálicos	1,6%	0,3%	0,3%	0,6%	1,6%	0,8%	1,5%
Fabricação de aço e derivados	5,3%	0,4%	0,3%	0,9%	3,2%	1,9%	2,8%
Metalurgia de metais não-ferrosos	2,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,9%	0,6%	1,6%
Eletricidade e gás, água, esgoto	3,2%	2,0%	1,8%	4,5%	2,8%	3,6%	3,9%
Indústrias não emissoras	28,2%	6,4%	6,2%	15,9%	57,0%	22,4%	36,1%
Comércio	5,8%	1,7%	2,2%	10,5%	8,7%	7,8%	4,0%
Transporte, armazenagem e correio	5,5%	1,5%	2,0%	6,1%	4,0%	4,8%	4,5%
Serviços públicos	0,0%	63,4%	0,0%	0,0%	0,0%	11,0%	0,0%
Serviços não emissores	11,9%	19,2%	80,3%	36,8%	8,0%	25,7%	17,1%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Elaboração própria. Resultados da aplicação da metodologia.

Tabela 4.3. Composição setorial das emissões totais, por item da demanda. 2005.

Setor	Exportação	Consumo da Adm Pública	Consumo das ISFLSF	Consumo das famílias	Investimentos	Demanda Final	Importações
Agropecuária	82,6%	74,7%	82,7%	88,0%	79,0%	85,1%	66,2%
Petróleo e gás natural	0,7%	1,0%	0,5%	0,4%	0,6%	0,5%	2,8%
Extração mineral	1,8%	0,5%	0,3%	0,2%	0,8%	0,7%	2,7%
Alimentos e bebidas	0,4%	0,5%	0,6%	0,5%	0,1%	0,4%	0,2%
Têxteis	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Celulose e produtos de papel	0,3%	0,4%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,4%
Refino de petróleo e coque	2,2%	5,4%	2,6%	2,3%	2,5%	2,4%	5,4%
Produtos químicos	1,6%	2,0%	1,3%	0,8%	2,0%	1,2%	5,6%
Minerais não metálicos	2,1%	3,0%	2,0%	1,0%	4,0%	1,7%	4,0%
Fabricação de aço e derivados	3,7%	2,2%	1,4%	0,8%	4,5%	2,1%	4,2%
Metalurgia de metais não-ferro:	1,3%	0,6%	0,5%	0,2%	1,1%	0,6%	2,2%
Eletricidade e gás, água, esgoto	0,3%	1,8%	1,0%	0,6%	0,5%	0,5%	0,8%
Indústrias não emissoras	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Comércio	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Transporte, armazenagem e corr	3,1%	7,7%	6,6%	4,8%	4,5%	4,4%	5,5%
Serviços públicos	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Serviços não emissores	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Elaboração própria. Resultados da aplicação da metodologia.

Tabela 4.4. Coeficientes de emissão, em ordem crescente, por setor (vetor Z). 2005.

Coeficiente de Emissão	
Ton de CO ₂ eq/ milhão de R\$2005	
Indústrias não emissoras	-
Serviços não emissores	-
Serviços públicos	0,00
Comércio	6,70
Alimentos e bebidas	31,04
Têxteis	36,81
Eletricidade e gás, água, esgoto	81,06
Celulose e produtos de papel	115,62
Petróleo e gás natural	156,97
Extração mineral	368,97
Refino de petróleo e coque	393,07
Produtos químicos	411,87
Transporte, armazenagem e correio	486,40
Metalurgia de metais não-ferrosos	551,70
Fabricação de aço e derivados	596,66
Minerais não metálicos	1.080,96
Agropecuária	9.671,88

Fonte: Elaboração própria. Resultados da aplicação da metodologia.

O componente da demanda final menos nocivo em termos de emissão de gases de efeito estufa de acordo com a tabela 4.1 é o consumo das ISFLSF. A maior parte dos requisitos de produção necessários para atender ao consumo das ISFLSF (80,3%) origina-se no setor de serviços não emissores. Outros 6,2% são fornecidos pelo setor de indústrias não emissoras. Não surpreende, portanto, que as emissões associadas ao esse tipo de consumo sejam insignificantes (0%, na tabela 4.1)

O consumo da administração pública depende de uma composição setorial diferente. A maior parte de seus requisitos de produção vem dos serviços públicos, mas, como este setor apresenta o mais baixo de todos os coeficientes de emissão (0,004 tonCO₂eq/milhão R\$₂₀₀₅, aproximado para 0,00 na tabela 4.4), as emissões advindas desse item do consumo também é muito baixo em relação à economia como um todo (3%, na tabela 4.1).

Os investimentos respondem por 12% das emissões totais da economia e por 15% dos requisitos totais de produção. Desses requisitos de produção necessários a atender a demanda por investimentos, 65% originam-se de indústrias que produzem bens e serviços sem emitir diretamente quantidade alguma de gases de efeito estufa.

As exportações devem aos setores não emissores cerca de 40% do seu total de requisitos de produção, mas os outros 60% originam-se de maneira bem diversificada em relação aos setores. Destaca-se a participação de 7,3% da agropecuária, de 5,3% da

fabricação de aço e derivados e de 4,9% do refino de petróleo e coque nesses 60% de requisitos de produção restantes, participações essas que são as maiores entre todos os itens da demanda final. Esses três setores, segundo a tabela 4.4, estão entre os de maiores coeficientes de emissão. Portanto, se justifica a diferença entre a contribuição das exportações para o total de requisitos de produção e a mesma para o total de emissões.

A composição setorial das famílias não é tão diversificada como a das exportações. Mais da metade dos requisitos de produção para atender ao consumo das famílias vem dos setores cujo coeficiente de emissão é zero. O grande volume de emissões atribuído a esse item da demanda justifica-se mais pelo seu tamanho do que pela maior participação de setores altamente poluentes em sua composição. No entanto, há uma diferença de 8% na participação das famílias sobre o total da produção e sobre o total de emissões. De fato, alguns setores cujos coeficientes de emissão são bem altos têm participações significativas no total de requisitos de produção, como agropecuária (5,7%) e transporte (6,1%).

4.2.Elasticidade demanda-emissão

As observações sobre a composição setorial da produção podem ser complementadas através do cálculo das chamadas elasticidades de demanda-emissão. Com o objetivo de encontrar os setores-chave no que concerne às emissões, Carvalho e Perobelli (2009) construíram uma matriz de elasticidades inter-setoriais da demanda finais em relação às emissões totais de poluentes, cujos elementos representam o aumento percentual nas emissões de GEE em um setor devido a um aumento de 1% na demanda final de outro.

A tabela a seguir, resume os resultados das elasticidades demanda-emissão dos setores com números mais expressivos. Esta é a matriz ϵ para o caso brasileiro em 2005, com sete setores (os outros onze foram agregados em “demais setores” por não apresentarem números muito significativos individualmente).

Tabela 4.5. Matriz de elasticidades demanda-emissão. 2005.

	Agropecuária	Alimentos e bebidas	Indústrias não emissoras	Transporte, armazenagem e correio	Serviços públicos	Serviços não emissores	Demais Setores	Impacto Distributivo
Agropecuária	30,74%	37,10%	7,37%	0,21%	2,15%	5,25%	2,23%	85,05%
Alimentos e bebidas	0,01%	0,33%	0,01%	0,00%	0,01%	0,04%	0,00%	0,41%
Indústrias não emissoras	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Transporte, armazenagem e correio	0,08%	0,40%	0,77%	1,88%	0,23%	0,42%	0,61%	4,37%
Serviços públicos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Serviços não emissores	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Demais Setores	0,28%	0,63%	3,70%	0,36%	0,50%	0,64%	4,05%	10,17%
Impacto Total	31,10%	38,46%	11,86%	2,44%	2,90%	6,35%	6,89%	100,00%

Fonte: Elaboração própria.

A derivação da equação que origina os números apresentados na tabela 4.5 é apresentada a seguir.

Considere Γ um escalar que denota o uso de energia total pelo sistema produtivo e Z' , um vetor-linha da emissão de gases de efeito estufa por unidade de produto setorial. No nosso caso, $\Gamma = 2,04 \times 10^9$ (tabela 4.1) e Z' é o vetor-linha cujos elementos são os coeficiente de emissão. A partir do modelo de Leontief, pode-se escrever:

$$\Gamma = Z'(I - A)^{-1}Y \quad (10)$$

Considerando que o volume emitido de gases de efeito estufa depende da demanda final linearmente, pode-se escrever:

$$\Delta\Gamma = Z'\Delta X = Z'(I - A)^{-1}Y\lambda \quad (11)$$

onde λ é um escalar que representa o aumento proporcional da demanda final.

Seja s um vetor de participação das demandas finais setoriais em suas respectivas produções efetivas. O valor de s de determinado setor será maior quanto maior for a destinação de suas vendas finais forem para o atendimento à demanda final da economia. O sinal circunflexo representa a diagonalização do vetor, ou seja, a transformação do vetor em uma matriz diagonal em cuja diagonal principal os valores de suas linhas se localizam.

$$\begin{aligned}
s &= \hat{X}^{-1} Y \\
&\text{ou} \\
Y &= \hat{X} s
\end{aligned} \tag{12}$$

Substituindo (13) em (12), tem-se que:

$$\Delta \Gamma = Z' \Delta X = Z' (I - A)^{-1} \hat{X} s \lambda \tag{13}$$

Multiplicando ambos os lados por Γ :

$$\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = \Gamma^{-1} Z' (I - A)^{-1} \hat{X} s \lambda \tag{14}$$

A expressão acima representa a elasticidade das emissões em relação à demanda final. Dada a natureza linear do modelo, essa expressão não traz informação adicional alguma, pois $\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = \hat{\lambda}$. Dessa forma, é necessário fazer uma desagregação da elasticidade.

Seja d' um vetor de distribuição das emissões totais entre os setores produtivos da economia, tal que $\sum_{i=1}^n d_i = 1$. Assim, o vetor de coeficientes de emissão setorial Z pode ser escrito como:

$$Z' = \Gamma d' \hat{X}^{-1} \tag{15}$$

Substituindo (16) em (15):

$$\begin{aligned}
&\Gamma^{-1} \Delta \Gamma \\
&= \Gamma^{-1} \Gamma d' \hat{X}^{-1} \Delta \hat{X} \\
&= \Gamma^{-1} \Gamma d' \hat{X}^{-1} (I - A)^{-1} \hat{X} s \lambda \\
&= d' \hat{X}^{-1} (I - A)^{-1} \hat{X} s \lambda \tag{16}
\end{aligned}$$

Fazendo $\lambda=1$, diagonalizando os vetores d' e s , e representando a elasticidade $\Gamma^{-1} \Delta \Gamma$ pela letra grega ε , tem-se:

$$\varepsilon = \hat{d}\hat{X}^{-1}(I - A)^{-1}\hat{X}\hat{s} \quad (17)$$

O elemento ε_{ij} da matriz de elasticidades será da seguinte forma (seja μ_{ij} o elemento da matriz de Leontief):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} &= s_j X_j \mu_{ij} \frac{d_i}{X_i} \\ \rightarrow \varepsilon_{ij} &= \frac{Y_j}{X_j} X_i \mu_{ij} \frac{1}{X_i} \frac{E_i}{E} \\ \rightarrow \varepsilon_{ij} &= \mu_{ij} \frac{Y_j E_i}{X_i E} \quad (18) \end{aligned}$$

O resultado do produto $\mu_{ij} \frac{Y_j}{X_i}$ é a parcela da produção do setor i destinado a atender a demanda final do setor j. A razão $\frac{E_i}{E}$ representa o quão poluente é o setor i.

O elemento ε_{ij} da matriz de elasticidades expressa a variação percentual de aumento na emissão de GEE do setor i em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j. A soma das colunas fornece o impacto total (ε_t), mostrando o aumento percentual no consumo de energia causado por um aumento de 1% na demanda final do setor j. Por outro lado, a soma das linhas fornece o impacto distributivo (ε_d) e mostra o aumento das emissões de GEE pelo setor i resultante de um aumento de 1% na demanda final experimentada por todos os setores da economia.

Os setores podem ser classificados de acordo com sua elasticidade utilizando como parâmetros as medianas do impacto total e do impacto distributivo. A matriz abaixo mostra os quatro possíveis grupos onde os setores da economia podem ser analisados:

Figura 4.1. Matriz de identificação dos setores-chave:

	$\sum_i \varepsilon_{ij} < \varepsilon_t$	$\sum_i \varepsilon_{ij} > \varepsilon_t$
$\sum_j \varepsilon_{ij} > \varepsilon_d$	Grupo 1:	Grupo 2:
	Setores relevantes do ponto de vista da oferta	Setores-chave, pois pressionam as emissões da economia como um todo e são pressionados a emitir pelos demais setores.
$\sum_j \varepsilon_{ij} < \varepsilon_d$	Grupo 3:	Grupo 4:
	Setores não-relevantes	Setores relevantes do ponto de vista da demanda

Fonte: Carvalho e Perobelli (2009)

A soma dos efeitos distributivos e totais de todos os setores é igual a 100%, ou seja, aumentar a demanda final da economia em 100% provoca o mesmo aumento percentual nas emissões de gases de efeito estufa. A metodologia anteriormente apresentada foi capaz de separar a contribuição de cada setor nesse total, considerando o caso de dado setor ser a origem das emissões, quando ofertante de insumos, (efeito distributivo), e no caso de ser o demandante de recursos (efeito total).

Na tabela a seguir, são mostradas as somas das colunas e das linhas da matriz de elasticidades, isto é, o impacto total e o impacto distributivo de cada um dos setores. Observa-se que a coluna do impacto distributiva é exatamente igual a coluna referente a composição setorial das emissões totais da demanda final da economia.

Tabela 4.6. Impacto total e impacto distributivo dos setores da economia. 2005.

	Impacto Distributivo	Impacto Total
Agropecuária	85,05%	31,10%
Petróleo e gás natural	0,54%	0,22%
Extração mineral	0,70%	0,55%
Alimentos e bebidas	0,41%	38,46%
Têxteis	0,06%	0,62%
Celulose e produtos de papel	0,21%	1,00%
Refino de petróleo e coque	2,40%	1,29%
Produtos químicos	1,21%	0,20%
Minerais não metálicos	1,70%	0,35%
Fabricação de aço e derivados	2,10%	0,99%
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,62%	0,39%
Eletricidade e gás, água, esgoto	0,54%	0,35%
Indústrias não emissoras	0,00%	11,86%
Comércio	0,10%	0,94%
Transporte, armazenagem e correio	4,37%	2,44%
Serviços públicos	0,00%	2,90%
Serviços não emissores	0,00%	6,35%
	100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração própria

A agropecuária é o setor que apresenta o maior impacto distributivo. Dobrar a demanda final da economia significa aumentar em mais de 85% as emissões do setor agropecuário. Esta variação é motivada principalmente pela variação da demanda do setor de alimentos e bebidas (37,1%) e da própria agropecuária (30,7%). A variação de 100% da demanda de Indústrias e Serviços não emissores provoca a variação de 9,5% dos 85% do aumento das emissões do setor agropecuário. Esta é a prova de que, mesmo um setor cujo coeficiente de emissão seja zero, ou seja, que não contribua diretamente com sua produção para o aquecimento global, pode ter um papel relevante em termos indiretos.

O setor que apresenta o segundo maior valor de impacto distributivo (embora muito menor que o da agropecuária) é o de transportes, com um aumento de 7,37% em suas emissões dado um aumento de 100% da demanda final. Nenhum setor se destaca na contribuição dessa variação, pois o serviço de transporte tem o uso muito pulverizado na economia.

Os valores do impacto total se comportam de maneira diferente, com números menos extremos. Entretanto, os dois setores que se destacam novamente são a agropecuária e a indústria de alimentos e bebidas, com impactos totais iguais a 31,1% e

38,5%, respectivamente. Isso quer dizer que dobrar a demanda por bens agropecuários provoca um aumento das emissões totais em 31,1% e dobrar a demanda por alimentos e bebidas, um aumento das emissões totais em 38,5%, ou seja, aumentar em 100% a demanda de todos os setores, exceto esses dois, provoca uma variação de 30,1% (100 - 31,1 - 38,5).

Agora, pode-se utilizar a matriz de identificação de setores-chave (figura 4.1) a partir dos impactos distributivos e impactos totais calculados e apresentados na tabela 4.6. A mediana do vetor de impacto distributivo é 0,54% e a do vetor de impacto total é 0,99%. A classificação dos setores na matriz da figura 4.1, para os dados brasileiros de 2005 fica da seguinte forma:

Tabela 4.7. Matriz de identificação de setores-chave da economia brasileira. 2005.

Setores relevantes do ponto de vista da oferta	Setores-chave
Extração mineral	Agropecuária
Produtos químicos	Refino de petróleo e coque
Minerais não metálicos	Transporte, armazenagem e correio
Fabricação de aço e derivados	
Metalurgia de metais não-ferrosos	
Setores não-relevantes	Setores relevantes do ponto de vista da demanda
Petróleo e gás natural	Alimentos e bebidas
Têxteis	Celulose e produtos de papel
Eletricidade e gás, água, esgoto	Indústrias não emissoras
Comércio	Serviços públicos
	Serviços não emissores

Fonte: Elaboração Própria.

A classificação dos setores da maneira como foi apresentada acima permite uma visão completa da contribuição de cada setor nas emissões de gases de efeito estufa. É interessante notar, principalmente, os setores relevantes do ponto de vista da demanda. São setores que podem não apresentar emissões diretas muito significativas, mas, por demandarem insumos de setores cujos coeficientes de emissão são muito altos,

contribuem indiretamente para o aumento desse tipo de poluição diante de um acréscimo da própria produção.

Hilgemberg (2005) e Carvalho e Perobelli (2009) encontraram também o setor de transportes como setor-chave. A agropecuária também foi classificada como setor-chave pelos autores, embora o primeiro autor tenha encontrado esse resultado apenas no estado de São Paulo, e não em nível nacional. No mais, a comparação entre esses trabalhos e o atual fica prejudicada, pois os dados são de épocas diferentes e são consideradas outras origens de emissões de gases de efeito estufa nesta dissertação.

CAPÍTULO 5

Políticas públicas do aquecimento global

O Brasil, como vários outros países do mundo, tende a adotar cada vez mais políticas que reduzam os efeitos do aquecimento global no planeta, principalmente no que se refere às emissões causadas por mudanças de uso de terras e florestas e pela atividade agropecuária.

Em 2009, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009). Entre os objetivos desse plano estão a redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes, ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros⁹ de gases de efeito estufa no território nacional e ao estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE. A diretriz principal do referido plano são os compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, no Protocolo de Kyoto e nos demais documentos sobre mudança do clima dos quais vier a ser signatário.(BRASIL,2009)

No artigo 9º da referida lei, define-se que o

Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários - CVM, onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa evitadas certificadas.

No parágrafo único do art.11, se estabelece que:

Decreto do Poder Executivo estabelecerá, em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima, os Planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono, na geração e distribuição de energia elétrica, no transporte público urbano e nos sistemas modais de transporte interestadual de cargas e passageiros, na indústria de transformação e na de bens de consumo duráveis, nas indústrias químicas fina e de base, na indústria de papel e celulose, na mineração, na indústria da construção civil, nos serviços de saúde e na agropecuária, com vistas em atender metas gradativas de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis,

⁹sumidouro: processo, atividade ou mecanismo que remova da atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa (Lei nº 12.187/2009)

considerando as especificidades de cada setor, inclusive por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL e das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - NAMAs.

Finalmente, no artigo 12, são estabelecidas as metas voluntárias de redução de gases de efeito estufa adotadas pelo Brasil e a importância do Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa para a política pública brasileira relacionada ao aquecimento global.

Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020.

Parágrafo único. A projeção das emissões para 2020 assim como o detalhamento das ações para alcançar o objetivo expresso no caput serão dispostos por decreto, tendo por base o segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, a ser concluído em 2010.

Este último parágrafo foi regulamentado pelo decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Nele, foram considerados os seguintes planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas e planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas: Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal, Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado, Plano Decenal de Expansão de Energia, Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura; e Plano de Redução de Emissões da Siderurgia. Tais planos devem ser elaborados até o fim de 2011, contendo metas de redução, a serem implantadas e indicadores de efetividade e impacto econômico.

O decreto também estabelece que as metas setoriais devam ser expressas em percentuais de redução das emissões em relação a 2020 e definiu as previsões de quanto será emitido por cada fonte principal daqui a dez anos: Mudança de Uso da Terra: 1.404 milhões de tonCO₂eq; Energia: 868 milhões de tonCO₂eq; Agropecuária: 730 milhões de tonCO₂eq; e IV - Processos Industriais e Tratamento de Resíduos: 234 milhões de tonCO₂eq.

O Brasil, como primeiro país emergente a adotar metas voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa, estabelece, no referido decreto que, para alcançar o

compromisso, serão implementadas ações que almejem reduzir entre 1.168 milhões de tonCO₂eq e 1.259 milhões de tonCO₂eq do total das emissões estimadas para 2020. As medidas tomadas para isso incluem, por exemplo, a redução de oitenta por cento dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005 e a expansão da oferta hidroeétrica, da oferta de fontes alternativas renováveis, notadamente centrais eólicas, pequenas centrais hidroeétricas e bioeletricidade, da oferta de biocombustíveis, e incremento da eficiência energética.

Tanto a política internacional como as políticas domésticas adotadas pelo Brasil encontram respaldo teórico.

Kolstad (2000) define a situação de poluição transfronteiriça como aquela que migra para além das fronteiras da jurisdição com o poder de controlá-la. Uma situação em que isso ocorre é quando um grupo de países se depara com um problema ambiental comum, no qual cada país polui e sofre danos por causa dos níveis agregados do poluente em questão. Os gases de efeito estufa são os melhores exemplos desse tipo de poluente global.

Numa situação dessas apenas um acordo internacional entre os países pode oferecer esperança de resolver a questão. Apesar de não fazer diferença qual a origem das emissões, alguns países não de sofrer mais danos que outros devido à intensificação do aquecimento global. Por exemplo, cidades litorâneas sofrem risco de inundação por causa do aumento do nível do mar. (KOSTALD, 2000)

O problema básico em estabelecer um acordo ambiental internacional efetivo é a ausência de um órgão supranacional capaz de garantir seu cumprimento. Isso fica claro quando se constata a dificuldade de se chegar a metas de redução de emissões adequadas à realidade de todos os países que produzem um volume representativo de gases de efeito estufa. Os Estados Unidos e a China, por exemplo, os maiores emissores mundiais de gases de efeito estufa, não assumiram meta alguma.

Do ponto de vista da política interna, as iniciativas adotadas (atuais ou planejadas) pelo Brasil revelam que o país escolheu a maneira mais eficiente para controlar as emissões de gases de efeito estufa dentro de seu território, pois foca em medidas capazes de internalizar as externalidades causadas por este tipo de poluição.

CONCLUSÃO

O Brasil é um grande emissor de gases de efeito estufa e tem tomado medidas, seja através de políticas internas, seja participando de acordos internacionais, para reduzir as emissões originadas no seu território.

Ao aplicar a metodologia de EIO-LCA, chega-se à conclusão, em consonância com trabalhos anteriores, de que as exportações são o item da demanda final que mais contribuem para as emissões nacionais de gases de efeito estufa. Vale lembrar que os resultados deste com outros trabalhos da literatura brasileira resenhados não são exatamente comparáveis, esses últimos consideraram apenas o setor energético como fonte de gases e dados da metade da década de 1990.

Em termos de política, o resultado não implica em restringir o comércio exterior para melhorar a qualidade ambiental do planeta. É muito mais eficiente adotar medidas domésticas que incentivem as indústrias mais poluentes a adotar tecnologias mais limpas, internalizando as externalidades ambientais causadas durante a produção. O estudo mais detalhado da origem dessas emissões de acordo com as atividades econômicas é essencial para a eficiência da política pública ambiental adotada.

A recente adoção de metas voluntárias brasileiras suscitará mais discussões sobre quais políticas setoriais incentivar, de forma a maximizar os ganhos de bem-estar e minimizar os custos para atingi-los.

BIBLIOGRAFIA

ALCANTARA, V. E PADILLA, E. *Key sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case*. Energy Policy, volume 31, Issue 15, pages 1673-1678. December 2003.

ANTWEILER, W., COPELAND, B.R., M., TAYLOR, M.S. *Is Free Trade Good for the Environment?*, American Economic Review, American Economic Association, vol. 91(4), pages 877-908, setembro de 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: *Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 21p.

BHAGWATI, J. *The case for free trade*. Scientific American. Volume 269 N° 5 Novembro de 1993

BJOM A, MACLEAN HL (2003): *A comparison of U.S. and Canadian industry environmental performance using EIO-LCA models*. INLCA/LCM Conference, Seattle, WA. September 23-25

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /CETESB. *Relatório de Referência Tratamento de Resíduos - Emissões de Gases de Efeito Estufa no Tratamento e Disposição de Resíduos*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /FUNCATE. *Relatório de Referência Emissões de CO₂ pelo Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA. *Relatório de Referência N₂O Solos - Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e de Manejo de Dejetos*, 2010a.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA. *Relatório de Referência Pecuária - Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais*, 2010b.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /EMBRAPA. *Relatório de Referência Arroz- Emissões de Metano do Cultivo de Arroz*, 2010c.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / Economia e Energia (OSCIP). *Relatório de Referência das Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem Bottom-up*, 2010a.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / Economia e Energia (OSCIP). *Relatório de Referência das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Rodoviário*, 2010b.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /ANAC. *Relatório de Referência das Emissões de gases de Efeito Estufa no setor Energia Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Aéreo*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia / ABAL. *Relatório de Referência Emissões de gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais – Produção de Metais – Alumínio*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /Instituto Aço Brasil. *Relatório de Referência Emissões de gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais - Indústria Metalúrgica Emissões de CO₂ na Indústria do Aço*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /SNIC. *Relatório de Referência Emissões de gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais - Produtos Minerais (Parte I) - Produção de Cimento*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia. *Relatório de Referência Emissões de gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais - Produtos Minerais (Parte II) Produção de Cal - Outros Usos do Calcário e Dolomita Produção e Uso de Barrilha*, 2010d.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /ABIQUIM. *Relatório de Referência das Emissões de gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais: Indústria Química*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /ABCM. *Relatório de Referência das Emissões de gases de Efeito Estufa no Setor Energético: Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do Carvão Mineral*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia /Petrobrás. *Relatório de Referência das Emissões de gases de Efeito Estufa no Setor Energético: Emissões Fugitivas na Indústria de Petróleo e Gás Natural*, 2010.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia. *Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Informações Gerais e valores Preliminares*, 2009.

BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009 (edição extra). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>

BULLARD, C. W.; HERENDEEN, R. A. *The energy cost of goods and services*. Energy Policy, v. 3 n. 4, p. 268-278, 1975

CALDEIRA-PIRES, NOGUEIRA e ROJAS. *Integration of the Input-output approach into the life cycle framework: State of the Art ISEE 2010 Conference 22-25 de Agosto de 2010*. Alemanha.

CARNEIRO, A.C.G. *Avaliação das Mudanças Recentes na Matriz Energética Brasileira e nas Emissões de CO₂ Através do Modelo Insumo-Produto*. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Economia) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

CARVALHO, T.C., PEROBELLI, F.S. *Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: um modelo interregional de insumo-produto São Paulo/ restante do Brasil*, Economia Aplicada, v.13, n.1, p.p. 99-124, São Paulo, jan-mar 2009.

COPELAND, B.R. & TAYLOR, M.S., *Trade, Growth and the Environment*. Julho de 2003. NBER Working Paper No. W9823. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=421784>

DAVAR, Ezra. *Leontief and Walras: input-output and reality*, 13o International Conference on Input-Output Techniques, Mecerata, Itália, 21-25 August, 2000.

GILJUM, S., JUNG NITZ, A., LUTZ, C. *Quantifying indirect material flows of traded products with a multi-regional environmental input-output model* petrE Work Package 5, Version 4, May 2007.

GROSSMAN, G. M. & KRUEGER, A.. "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement," in Peter M. Garber, ed., *The Mexico-U.S. Free Trade Agreement*, Cambridge, MA: MIT Press, pp. 13-56. 1993

HAWKINS, T.R. *A Mixed-unit input-output model for life cycle assessment: development, uncertainty and application*. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Carnegie Institute of Technology, Carnegie Mellon University. 2007.

HENDRICKSON, C., HORVATH, A., JOSHI, S., LAVE, L. *Economic Input-Output for Environmental Life-Cycle Assessment*. Environmental Science & Technology Policy Analysis, vol. 32, issue 7, pp. 184-191, 1998.

HILGEMBERG, E. M. *Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto*. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Matriz de insumo-produto para a economia brasileira, 2005*. Rio de Janeiro (arquivo eletrônico), 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: Synthesis Report/ Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.).2007

JOSHI, Satish. *Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques* Journal of Industrial Ecology, vol 3, number 2&3, p.p. 95-120, 2000.

KOLSTAD, Charles. *Environmental Economics*, Chapter 13: International and Interregional Competition. Oxford University Press, 2000.

LEITE, M. . Pacote de Cancún. **Folha de São Paulo**, 13 dez. 2010 Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/marceloleite/844965-pacote-de-cancun.shtml>> Acesso em 13 Dez.2010.

LEONTIEF, Wassily. *The Structure of the American Economy*. Oxford University Press. [1941] 1953

LEONTIEF, W.W. *Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach*, The Review of Economics and Statistics, MIT Press, vol. 52(3), pages 262-71, August.1970.

LEWANDOWSKA, A., FOLTYNOWICZ, Z.: *New Direction of Development in Environmental Life Cycle Assessment*, Polish J Env Studies 13 (5), pp. 463-466. 2004.

MACHADO, G. V. *Meio ambiente e comércio exterior: impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país*. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MACHADO, G.SCHAEFFER, R., e WORRELL, E. *Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: An Input-Output Approach*, Ecological Economics 39 pp.409-424, 2001.

MCT, 2010 disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3996.html>> Acesso em 4 out. 2010.

MILLER, R.; BLAIR, P. *Input-Output Analysis: foundations and extensions*. Prentice-Hall, EnglewoodCliffs, N.J., 1985

MUNASINGHE, M.; O'RYAN, R. ;MOTTA, R. S. ; De MIGUEL, C. ; YOUNG, C. E. F. ; MILLER, S. ; FERRAZ, C. . *Macroeconomic policies for sustainable growth: analytical framework and policy studies of Brazil and Chile*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2006. 347 p. capítulo 4: Trade and the Environment: linkages between competitiveness and the industrial pollution in Brazil.

OCDE, *Measuring Material Flows and Resource Productivity Synthesis Report*, OCDE, 2008

SILVA, M.A.S. *Environmental Input-Output Analysis: Application to Portugal*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão de Tecnologia, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2001.

SUH, S & HUPPES, G. (2005). *Methods for Life Cycle Inventory of a product*. *Journal of Cleaner Production* Volume 13, Issue 7, Pag. 687-697, June 2005

TAVARES JÚNIOR, J.M. *Uma aplicação da metodologia de análise do valor na verificação dos valores ambientais do processo produtivo numa empresa do setor cerâmico catarinense*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia. Florianópolis, 1997

ANEXO

ANEXO 1:

Países incluídos no Anexo I:

Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Croácia, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Latvia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Ucrânia, Reino Unido e Estados Unidos.

Países não incluídos no Anexo I:

Afeganistão, Albânia, Algéria, Angola, Antígua e Barbuda, Argentina, Armênia, Azerbaijão, Bahamas, Bahrain, Bangladesh, Barbados, Belize, Benin, Butão, Bolívia, Bósnia Hezergovina, Botswana, Brasil, Brunei, Burkina Faso, Burundi, Camboja, Comores, Cabo Verde, República Centro-Africana, Chade, Chile, China, Colômbia, Camarões, Congo, Ilhas Cook, Costa Rica, Cuba, Chipre, Costa do Marfim, Coreia do Sul, Congo, Djibouti, República Dominicana, Dominica, Equador, Egito, El Salvador, Guiné Equatorial, Eritreia, Etiópia, Fiji, Macedônia, Gabão, Gâmbia, Geórgia, Gana, Granada, Guatemala, Guiné, Guiné-Bissau, Guiana, Haiti, Honduras, Índia, Indonésia, Irã, Iraque, Malta, Israel, Jamaica, Jordânia, Cazaquistão, Quênia, Kiribati, Kuwait, Quirquístão, Laos, Líbano, Lesoyho, Libéria, Líbia, Madagascar, Malawi, Malásia, maldivas, Mali, Ilhas Marshall, Mauritânia, Ilhas Maurício, México, Micronésia, Mongólia, Montenegro, Marrocos, Moçambique, Myanmar, Namíbia, Nauru, Nepal, Nicarágua, Niger, Nigéria, Niue, Omã, Paquistão, Palau, Panamá, Papua Nova Guiné, Paraguai, Peru, Filipinas, Qatar, Coreia do Norte, República da Moldova, Ruanda, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, Saint Vincent and the Grenadines, Samoa, San Marino, São Tomé e Príncipe, Arábia Saudita, Senegal, Sérvia, Seichelles, Serra Leoa, Cingapura, Ilhas Salomão, Somália, África do Sul, Sri Lanka, Sudão, Suriname, Suíça, Síria, Tadjiquistão, Tailândia, Iugoslávia, Timor Leste, Togo, Tonga, Trinidad e Tobago, Tunísia, Turquemenistão, Tuvalu, Uganda, Emirados Árabes Unidos, Tanzânia, Uruguai, Uzbequistão, Vanuatu, Venezuela, Vietnam, Iêmen, Zâmbia e Zimbábue.

Tabela A: Compatibilização entre setores da classificação da matriz de insumo-produto

Agropecuária	0101	Agricultura, silvicultura, exploração florestal
	0102	Pecuária e pesca
Petróleo e gás natural	0201	Petróleo e gás natural
Extração mineral	0202	Minério de ferro
	0203	Outros da indústria extrativa
Alimentos e bebidas	0301	Alimentos e bebidas
Têxteis	0303	Têxteis
Celulose e produtos de papel	0307	Celulose e produtos de papel
Refino de petróleo e coque	0309	Refino de petróleo e coque
Produtos químicos	0311	Produtos químicos
Minerais não metálicos	0319	Cimento
	0320	Outros produtos de minerais não-metálicos
Fabricação de aço e derivados	0321	Fabricação de aço e derivados
Metalurgia de metais não-ferrosos	0322	Metalurgia de metais não-ferrosos
Eletricidade e gás, água, esgoto	0401	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
Comércio	0601	Comércio
Transporte, armazenagem e correio	0701	Transporte, armazenagem e correio
Serviços públicos	1200	Serviços Públicos

(continua)

Tabela A: Compatibilização entre setores da classificação da matriz de insumo-produto (continuação)

Indústrias não emissoras	0302	Produtos do fumo
	0304	Artigos do vestuário e acessórios
	0305	Artefatos de couro e calçados
	0306	Produtos de madeira - exclusive móveis
	0308	Jornais, revistas, discos
	0310	Álcool
	0312	Fabricação de resina e elastômeros
	0313	Produtos farmacêuticos
	0314	Defensivos agrícolas
	0315	Perfumaria, higiene e limpeza
	0316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
	0317	Produtos e preparados químicos diversos
	0318	Artigos de borracha e plástico
	0323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos
	0324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
	0325	Eletrodomésticos
	0326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
	0327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
	0328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
	0329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
	0330	Automóveis, camionetas e utilitários
	0331	Caminhões e ônibus
	0332	Peças e acessórios para veículos automotores
0333	Outros equipamentos de transporte	
0334	Móveis e produtos das indústrias diversas	
	0501	Construção
Serviços não emissores	0801	Serviços de informação
	0901	Intermediação financeira e seguros
	1001	Serviços imobiliários e aluguel
	1101	Serviços de manutenção e reparação
	1102	Serviços de alojamento e alimentação
	1103	Serviços prestados às empresas
	1104	Educação mercantil
	1105	Saúde mercantil
	1106	Outros serviços

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto