**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**

EMERSON MARTINS HILGEMBERG

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Ciências, Área de Concentração:
Economia Aplicada.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Julho - 2004

**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**

EMERSON MARTINS HILGEMBERG

Bacharel em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Dr. **JOAQUIM JOSÉ MARTINS GUILHOTO**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Ciências, Área de Concentração:
Economia Aplicada.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Julho - 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Hilgemberg, Emerson Martins

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 / Emerson Martins Hilgemberg. -- Piracicaba, 2004. 151 p.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. Bibliografia.

1. Economia regional 2. Efeito estufa 3. Poluição ambiental – aspectos econômicos I. Título

CDD 330.9

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Para Cleise.

AGRADECIMENTOS

Devo agradecer em primeiro lugar ao Professor Joaquim Guilhoto. Com ele aprendi muito mais que conhecimento técnico. Agradeço sua confiança – inclusive nos momentos em que ela a mim faltou – e sua generosidade intelectual.

A Cleise devo dizer que os momentos difíceis teriam sido muito mais difíceis e aqueles felizes certamente muito mais pálidos sem a sua companhia e apoio.

Ao pessoal do CEPEA, em especial ao Grupo de Projeções Econômicas, onde aprendi o valor de uma equipe de pessoas motivadas para o trabalho.

A todo o pessoal da República, Humberto, Mauro, Lucílio e Sérgio pelos momentos de conversa nos raros momentos em que pudemos desfrutá-las.

A Carlos Eduardo Silva – o Cadu – pela paciência em deixar suas atividades de lado e ajudar procurando por *papers* na biblioteca da Universidade em Illinois.

Aos professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ, em especial àqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao CNPq e UEPG por terem possibilitado o apoio financeiro para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema de pesquisa	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Organização do trabalho	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
3 METODOLOGIA	22
3.1 O modelo de insumo-produto	22
3.2 Modelos inter-regionais de insumo-produto	28
3.3 Modelos de insumo-produto e o meio-ambiente	32
3.3.1 Mensuração da intensidade de energia e da emissão de CO ₂	33
3.4 Análise da estrutura da economia	41
3.4.1 Elasticidade da demanda do consumo final de energia	41
3.4.2 Setores-chave na emissão de CO ₂	43
3.4.3 Efeito de uma restrição quantitativa à emissão de CO ₂	47
3.4.4 Efeito sobre os preços de um imposto sobre a emissão de CO ₂	49
3.4.5 As emissões de CO ₂ e o emprego	51
3.5 Preparação dos dados	54
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.1 Panorama do consumo de energia no Brasil	60
4.2 A intensidade de carbono na economia brasileira	65
4.2.1 Efeitos direto, indireto e induzido nas emissões de um aumento na demanda final	65
4.2.2 Elasticidades de emissão e identificação dos setores-chave .	72
4.3 Os efeitos do controle de emissões de CO ₂	83

4.3.1	Os efeitos econômicos de uma restrição do volume de emissões.....	83
4.3.2	Efeitos nos preços de um imposto sobre as emissões	91
4.3.3	A relação entre o nível de emprego e as emissões	93
4.4	A intensidade de carbono na economia brasileira sob a ótica regional	98
4.4.1	Efeitos direto, indireto e induzido sob a ótica regional	99
4.4.2	Elasticidades inter-regionais de emissão e identificação de setores-chave	115
4.5	Os efeitos regionais do controle de emissões de CO ₂	127
4.5.1	Os efeitos econômicos da restrição ao volume de emissões na ótica regional	127
4.5.2	A relação entre o nível de emprego e as emissões no nível regional.....	130
4.5.3	Síntese dos resultados	139
5	CONCLUSÕES	143
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

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

Autor: EMERSON MARTINS HILGEMBERG

Orientador: Prof. Dr. JOAQUIM JOSÉ MARTINS GUILHOTO

RESUMO

Este trabalho quantifica as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo tanto no nível nacional quanto regional e avalia os impactos de eventuais políticas de controle de emissões. Os resultados do trabalho apontaram tanto para o Brasil como um todo quanto para as seis regiões estudadas a ligação entre o nível de atividade e as emissões de CO₂, detalhando para cada um dos energéticos considerados, a parcela das emissões totais devida à demanda final, ao consumo interindustrial e ao efeito induzido. Esta análise foi complementada pelo cálculo das elasticidades das emissões a uma variação na demanda final, a qual possibilitou, por meio dos impactos totais e distributivos identificar os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos insumos energéticos tanto para o Brasil como um todo quanto para cada uma das regiões estudadas. Foram também realizadas simulações no intuito de avaliar os efeitos na economia tanto no nível nacional quanto no nível regional de um eventual controle sobre as emissões imposto sobre os vários setores da economia. O trabalho também investigou os efeitos sobre os preços de um imposto hipotético sobre emissões e o *trade off* entre geração de empregos e emissões.

QUANTIFICATION AND ECONOMIC EFFECTS OF THE CONTROL OF CO₂ EMISSIONS FROM NATURAL GAS, ALCOHOL AND OIL DERIVED PRODUCTS IN BRAZIL: AN INTERREGIONAL INPUT-OUTPUT MODEL

Author: EMERSON MARTINS HILGEMBERG

Adviser: Prof. Dr. JOAQUIM JOSÉ MARTINS GUILHOTO

SUMMARY

This work quantifies the CO₂ emissions from energy use of natural gas, alcohol and oil derived products at a national and regional level and evaluates the impacts of eventual policies for emissions control. The results pointed the connection between the activity level and the emissions of CO₂ for each energy input considered for Brazil as a whole and for its six regions detailing the portion of the total emissions caused by final demand, interindustry consumption and household consumption. This analysis was complemented by the calculation of the emissions elasticities related to a percent change in final demand, which made possible to access the total and distributive impacts on each sector. Through these impacts were possible to identify the key-sectors regarding to the emissions from each one of the energy inputs in Brazil as a whole and in each one of its regions. The model was also used to make simulations in order to evaluating the economic effects (in each sector located in each area) of a hypothetical control on emissions. The work also investigated the effects on prices of a hypothetical emissions tax and the trade off between employment generation and emissions.

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema de pesquisa

Desde o final do século XVIII, quando Thomas Malthus escreveu seu conhecido ensaio sobre os princípios da população, os economistas vêm se preocupando com a necessidade de que o desenvolvimento econômico de hoje não comprometa o desenvolvimento econômico das gerações futuras.

A questão da sustentabilidade do desenvolvimento, antes confinada ao ambiente acadêmico, foi gradualmente crescendo em importância até entrar definitivamente na agenda política e social mundial na década de 1970, particularmente após a publicação do estudo *Limites do crescimento*, encomendado pelo Clube de Roma. O trabalho mostrava que mantida a trajetória observada do crescimento econômico, o esgotamento de importantes recursos naturais dentro de um período relativamente curto de tempo seria inevitável e defendia a tese do crescimento industrial e populacional zero.

A partir daí estabeleceu-se um debate entre as visões ecocentristas e tecnocentristas sobre o meio ambiente. Os primeiros consideravam necessárias certas restrições ao crescimento econômico frente aos limites físicos e sociais, enquanto os tecnocentristas mais extremados contra-argumentavam afirmando que a inovação tecnológica e os mecanismos de mercado seriam capazes de propiciar infinitas possibilidades de substituição de fatores de produção, evitando a escassez de longo prazo dos recursos naturais. Havia ainda os tecnocentristas moderados, que apesar da descrença na solução de mercado, acreditavam na possibilidade de conciliar crescimento econômico com equilíbrio ecológico, desde que houvesse um

correto planejamento que permitisse um melhor gerenciamento do uso dos recursos naturais (Almeida, 1998).

No final da década de 1980, um novo passo no tratamento das questões ambientais foi dado a partir do estudo da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), criada pela Organização das Nações Unidas (ONU), intitulado *Nosso Futuro Comum*. Além da proposição do conceito de desenvolvimento sustentável como contraposição ao crescimento zero, o trabalho enfatizava a idéia de que os problemas ambientais, tais como a perda da biodiversidade, o aquecimento global, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio, o problema da destinação do lixo tóxico, a contaminação radioativa e os acidentes com risco ambiental, possuíam um caráter global e não apenas nacional.

Outro marco importante na discussão da sustentabilidade foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em junho de 1992 no Rio de Janeiro.

Nesta Conferência, além de outros temas, as **mudanças climáticas** foram extensamente debatidas em caráter oficial e a Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou para adesão e assinatura dos países membros as bases da Convenção Quadro Sobre Mudança do Clima (*UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change*) (CEBDS, 2002a).

Tal convenção foi motivada pela crescente preocupação com o efeito estufa e seus potenciais danos ao meio ambiente. O aumento da concentração dos gases de efeito estufa (*GHG – Greenhouse gases*) tende a reduzir a eficiência com que a terra se resfria, alterando as temperaturas atmosféricas e oceânicas e os correspondentes padrões de circulação e tempo, bem como o ciclo hidrológico. Os principais efeitos adversos decorrentes disto são o aumento do nível do mar, a alteração no suprimento de água doce, o maior número de ciclones, aumento na frequência e na intensidade das tempestades de chuva e de neve, além do forte e rápido ressecamento do solo (BNDES, 2002a).

A Convenção, cuja meta é reduzir, ou ao menos, estabilizar a concentração de *GHG*, buscou fortalecer o trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudança

do Clima (*IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*), dando início a um processo regular de reuniões entre os países signatários da Convenção, visando a implementação destas medidas (CEBDS, 2002a). Estas reuniões são conhecidas como Conferência das Partes (*COP – Conference of Parts*).

A terceira Conferência das Partes, realizada em 1997, celebrou, com o compromisso de 39 países desenvolvidos, o Protocolo de Quioto. Por intermédio dele, os países desenvolvidos comprometeram-se a reduzir, no período entre 2008 e 2012, suas emissões de *GHG* para que elas se tornem, em média, 5,2% inferiores aos níveis de emissão observados em 1990¹. Para que se transforme em lei e comece a produzir seus efeitos, o protocolo deve ser aceito por 55 países que representem pelo menos 55% das emissões de *GHG*.

Em fevereiro de 2002, no entanto, o Presidente dos EUA rejeitou o Protocolo de Quioto e lançou sua própria estratégia para enfrentar a mudança do clima. Segundo os EUA, o Protocolo de Quioto falha ao estabelecer um objetivo de longo prazo baseado na ciência, estabelece riscos sérios e desnecessários para as economias dos EUA e do mundo e é ineficaz quanto às mudanças climáticas ao excluir a maior parte do mundo.

A chamada *Iniciativa Bush* é baseada na premissa que o crescimento econômico não é a causa e sim a solução do problema da mudança no clima porque ele faz com seja possível separar os recursos de produção das emissões de *GHG*. Ao contrário das metas quantitativas estabelecidas no Protocolo de Quioto, a *Iniciativa Bush* aponta para uma redução da **intensidade** de *GHG*, ou seja, da quantidade de *GHG* emitido por dólar do PIB (van Vuuren et al., 2002).

No âmbito do Protocolo de Quioto, o Brasil não integra o Anexo I, ou seja, o conjunto de países desenvolvidos que, de acordo com o conceito de

¹ Os 39 países que compõem o Anexo I do Protocolo de Quioto devem promover, no período de 2008 a 2012, reduções diferenciadas, tomando por base as emissões registradas em 1990. Os EUA devem reduzir suas emissões em 7%, A União Européia em 8%, O Japão em 6% e assim sucessivamente, de tal modo que a soma das reduções resulte numa redução líquida de 5,2%.

"responsabilidades comuns, mas diferenciadas" teriam que restringir suas emissões de *GHG*.

No entanto, as negociações internacionais para a restrição das emissões, decorrentes da posição norte-americana e o fato de que, a longo e médio prazos, o país dependerá cada vez mais de combustíveis fósseis (particularmente o gás natural) à medida que novos aproveitamentos de energia hidrelétrica vão se tornando mais custosos, tornam relevante a análise da intensidade das emissões de CO₂ na economia brasileira.

Além disso, como aponta Ribeiro (1997, p. 26) “ao comparar o Brasil com países desenvolvidos, nota-se que ele é responsável pela maior taxa de crescimento de emissões desses gases [gases de efeito estufa], entre 1970 e 1989 (...). Entre 1970 e 1989, observa-se um aumento de emissão de 22% *per capita* no Brasil”.

Neste sentido, é bastante pertinente considerar a aplicação de modelos ampliados de insumo-produto² para melhor compreender os problemas ambientais, examinando as relações entre a atividade econômica e a poluição, tendo em vista que a solução, ou ao menos parte dela, está bastante relacionada com o funcionamento das economias (Forssell e Polenske, 1998).

Para Forssell e Polenske (1998, p. 93),

A energia desempenha um papel vital na economia, e esta bastante relacionada tanto com o uso de recursos naturais não renováveis, quanto com a emissão de gases de efeito estufa. Portanto, a anatomia do padrão de consumo de energia na economia e as emissões de dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxido nitroso relacionadas são importantes objetos de pesquisa.

Do mesmo modo, Forsund (1985, p. 339) argumenta que,

² Como será mostrado em maior detalhe adiante, o modelo ampliado de insumo-produto adiciona a emissão setorial de poluentes às transações monetárias de insumo-produto no intuito de capturar as interrelações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia e as emissões de poluentes.

É necessário colocar considerações ambientais no mapa quando decisões macroeconômicas, que têm repercussões ambientais, são tomadas. Vários dados sobre impactos ambientais, coletados por organismos de gerenciamento ambiental, podem ser sistematizados e organizados consistentemente, ligando as atividades econômicas e o ambiente. Tais esforços podem aumentar a consciência das possíveis consequências ambientais das atividades econômicas.

É preciso também considerar que, no caso do Brasil, a distribuição espacial da atividade econômica não é homogênea em todo o território. Enquanto o estado de São Paulo sozinho respondia por praticamente 35% do PIB em 1999, a região Nordeste, que concentrava algo em torno de 28% da população, respondia por cerca de 13% do PIB. No que se refere aos segmentos da atividade econômica, a região Sul era responsável por quase um terço da atividade agropecuária do país, enquanto São Paulo e o Resto do Sudeste por cerca de 38% e 35%, respectivamente, da atividade industrial, medida pelo valor adicionado. Tomadas em conjunto, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste não chegavam a representar 17% do valor adicionado na indústria e menos de um quarto do PIB do país (IBGE, 2003).

Por conta disso, o presente trabalho pretende avaliar a intensidade de carbono (emissões totais de CO₂ por unidade monetária), a elasticidade da poluição em relação a variações na demanda final e os setores-chave no que concerne às emissões, além do efeito sobre a produção e o emprego de eventuais restrições à emissão de CO₂ contemplando seis diferentes regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, Resto do Sudeste e Sul).

1.2 Objetivos

O **objetivo geral** desta pesquisa é avaliar a intensidade de carbono³ em dezoito setores, localizados em seis regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-

³ A intensidade de carbono é o total de carbono emitido direta e indiretamente para produzir uma unidade monetária de produção de um dado setor.

Oeste, São Paulo, Resto do Sudeste e Sul), bem como a elasticidade da poluição em relação a variações na demanda final e os setores-chave no que concerne às emissões de carbono, além de verificar os efeitos sobre a produção e o emprego de eventuais restrições à emissão de CO₂.

Os **objetivos específicos** consistem em:

- a. Efetuar uma revisão da literatura que trata da aplicação do modelo de insumo-produto para o estudo de problemas relacionados à poluição e ao meio-ambiente;
- b. Construir e operacionalizar um modelo inter-regional generalizado de insumo-produto, tendo como base a revisão da literatura;
- c. Avaliar, com base nos resultados empíricos do modelo construído, a intensidade de carbono em seis regiões brasileiras e os efeitos econômicos de restrições à emissão de CO₂.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Esta introdução apresenta o problema de pesquisa a ser estudado e explicita ainda os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo faz uma revisão da literatura acerca dos modelos de insumo-produto que tratam de questões ambientais e sua aplicação problemas relacionados com a poluição e meio-ambiente.

O terceiro capítulo trata do método utilizado para estudar o problema proposto, descrevendo a construção e operacionalização do modelo inter-regional de insumo-produto.

O quarto capítulo avalia, com base nos resultados empíricos do modelo construído, a intensidade de carbono na economia brasileira e os impactos de restrições à emissão de CO₂.

Finalmente, o quinto capítulo resume as conclusões do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo traça um breve histórico do desenvolvimento de modelos que tratam das questões ambientais, mostrando também algumas de suas aplicações encontradas na literatura.

Sob a ótica da teoria econômica, o problema da poluição é um caso típico de externalidade negativa, ou seja, o consumo ou a produção de um dado bem por um determinado agente econômico gera efeitos adversos (perda de bem-estar) sobre outros agentes, mas este efeito não é compensado por intermédio do mercado.

No caso da poluição, as externalidades ocorrem porque o meio ambiente é um bem público e, como tal, nenhum agente específico pode exigir direitos sobre ele. Logo, o poluidor não paga nenhum preço específico pela poluição gerada, ou, de modo equivalente, o agente que sofre uma perda de bem-estar causada por ela não é compensado monetariamente. Esta situação faz com que o poluidor, por livre iniciativa, não tenha nenhuma motivação para controlar ou, eventualmente, cessar sua ação.

Como os custos sociais diferem dos custos privados, o mecanismo de preços falha na solução dos problemas relativos à poluição e mecanismos de "correção" devem ser utilizados para internalizar as externalidades, fazendo o poluidor arcar com um preço pela degradação do ambiente.

Uma vez que a poluição é um sub-produto da atividade produtiva, a questão relevante é identificar o nível socialmente ótimo de poluição, o qual será diferente de zero, pois há um custo externo envolvido na produção da quantidade socialmente ótima. O nível ótimo de poluição é obtido confrontando-se o lucro privado marginal líquido (lucro líquido extra por unidade de produção), que

decrece com o nível de atividade econômica, com os custos externos marginais (valor do dano ambiental extra provocado por unidade de poluição), que é crescente.

Como o objetivo da sociedade é maximizar o total de ganhos menos o total de custos, a interseção das duas curvas corresponde ao ponto ótimo de produção. Para uma dada tecnologia, a única forma de diminuir o nível de poluição é reduzir o nível da atividade econômica.

Pode-se também levar em conta a capacidade de absorção do meio ambiente, ou o que alguns chamam de capacidade suporte. Neste caso, se o nível de poluição estiver abaixo da capacidade de absorção do meio, continua havendo a presença de externalidade, porém, ela tem um caráter apenas temporário, pois o meio ambiente retorna ao normal depois do período necessário de regeneração. Por conta disso, os custos externos marginais somente existem efetivamente a partir do nível de atividade que excede a capacidade de absorção do meio. Quando isto acontece, ocorre um processo de degradação e o lançamento de resíduos além da capacidade de absorção do meio reduz sua capacidade de lidar com mais resíduos, acarretando custos externos marginais crescentes (Almeida, 1998).

Quando a idéia de capacidade suporte é levada em consideração, a noção de poluição zero não é completamente absurda. Pode-se alcançar um nível de produção positivo com poluição zero se a hipótese de desenvolvimento de tecnologias não poluentes for levada em conta (o que implicaria num deslocamento para a direita da curva de custo externo marginal). Logo seria possível dissociar o nível de atividade econômica do nível de poluição (Almeida, 1998).

Do ponto de vista da aplicação da teoria, existe a dificuldade da mensuração monetária dos danos ambientais, dado que o nível ótimo de poluição pressupõe a existência de informações não apenas sobre os lucros marginais líquidos da firma, mas também acerca dos custos externos marginais da poluição. A dificuldade é que tais custos não podem ser diretamente observados, pois, por definição, não existe um mercado para externalidades (Almeida, 1998).

Logo, métodos alternativos para mensuração dos danos ambientais precisam ser utilizados. Dentre eles, existe a abordagem da produção sacrificada,

que consiste em mensurar o custo de oportunidade de uso do meio ambiente, ou seja, do valor da produção medida a preços de mercado da produção que se deixou de realizar por causa do dano provocado ao meio ambiente.

A intensidade da poluição (quantidade de poluição por unidade monetária de produto) e os efeitos da aplicação de determinadas políticas de controle da poluição sobre a economia, bem como o custo de oportunidade de uso do meio ambiente no que se refere a emissões de carbono, podem ser bastante bem visualizados por intermédio de modelos de insumo-produto.

De acordo com Miller e Blair (1985), os modelos de insumo-produto que tratam do meio ambiente podem ser classificados em três categorias:

- a. modelos econômico-ecológicos, resultantes da extensão do instrumental de insumo-produto para incluir setores do ecossistema, onde os fluxos entre a economia e o ecossistema são expressos como num modelo inter-regional;
- b. modelos produto $\times$ setor que expressam os fatores ambientais como produtos em uma tabela insumo-produto do tipo produto $\times$ setor;
- c. modelos aumentados de Leontief, nos quais as emissões setoriais de poluentes são consideradas em conjunto com as transações monetárias de insumo-produto com o objetivo de capturar as interrelações entre a produção de bens pelos setores e as emissões de poluentes.

Os modelos econômico-ecológicos contabilizam os fluxos entre o ecossistema e a economia definindo uma sub-matriz ecológica, conectada com os fluxos interindustriais do mesmo modo que regiões num modelo interregional (figura 1). Estes modelos são chamados de modelos totalmente integrados (Miller e Blair, 1985).

	Indústrias	Processos ecológicos
Indústrias	Fluxos entre os setores econômicos	Fluxos da indústria para o ecossistema
Processos ecológicos	Fluxos do ecossistema para a indústria	Fluxos dentro do ecossistema

Figura 1 - Estrutura básica dos modelos econômico-ecológicos.

O modelo apresentado por Cumberland foi um dos primeiros a incorporar variáveis ambientais no modelo de insumo-produto tradicional (Abdallah e Montoya, 1998).

Trata-se de um modelo do tipo setor $\times$ setor que considera as interações econômicas associadas a variáveis representativas de custos e benefícios da atividade econômica para o meio-ambiente, ou dito de outro modo, considera as externalidades, tanto positivas quanto negativas das atividades econômicas sobre o meio-ambiente. No entanto, Cumberland não indicou **como** tais externalidades deveriam ser avaliadas, pois há uma grande dificuldade para identificar onde terminam as externalidades de uma atividade produtiva e onde se iniciam as outras (Abdallah e Montoya, 1998).

Utilizando uma abordagem semelhante, Daly formulou um modelo mais avançado, procurando retratar as inter-relações puramente econômicas (que envolvem apenas fluxos entre variáveis econômicas), inter-relações puramente ambientais (envolvendo apenas fluxos entre variáveis ambientais) e as relações entre variáveis econômicas e ambientais (figura 2) (Abdallah e Montoya, 1998).

A economia é dividida em setores humanos e setores não humanos. As transações que ocorrem inteiramente dentro do setor humano são descritas como econômicas. O setor não humano representa o setor ecológico, no qual as relações entre entidades não humanas são vistas como uma transferência de produtos ecológicos, os quais são considerados como bens livres, ou seja, tem preço zero. Os fluxos de produtos do setor econômico para o setor ecológico são chamados de **externalidades** e quando vão na direção oposta, de **bens livres** (Abdallah e Montoya, 1998).

Produtos de	Insumo para										Total
	Agricultura	Indústria	Demanda final	Animais	Plantas	Bactérias	Atmosfera	Hidrosfera	Litosfera	Demanda final	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Agricultura	q_{11}	...	...	q_{14}	...	...	...	q_{18}	...	...	Q_1
2 Indústria	...	...	...	q_{24}	...	...	...	q_{28}	...	...	...
3 Famílias (serviços primários)	q_{31}	...	...	q_{34}	...	...	...	q_{38}	...	...	Q_3
4 Animais	...	...	...	q_{44}	...	...	...	...	...	q_{410}	...
5 Plantas	...	...	...	...	...	...	...	q_{58}	...	...	...
6 Bactérias	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7 Atmosfera	q_{71}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Q_7
8 Hidrosfera	...	...	...	...	...	...	...	...	...	q_{810}	...
9 Litofera	...	...	...	q_{94}	...	...	...	...	...	...	...
10 Sol (serviços primários)	q_{101}	...	q_{103}	...	...	...	...	...	...	q_{1010}	Q_{10}

Figura 2 – O modelo insumo-produto de Daly.

Fonte: adaptado de Abdallah e Montoya (1998)

O modelo, tal como proposto, apresenta algumas dificuldades de implementação (Abdallah e Montoya, 1998):

- a. A primeira grande dificuldade deste tipo de modelo é o substancial volume de dados necessários sobre as relações que se processam dentro do ecossistema, no caso do modelo de Daly, no setor ecológico.
- b. O quadrante 1 corresponde a um modelo tradicional de insumo-produto no qual os fluxos são medidos em unidades monetárias e vigora a hipótese de que cada setor produz apenas um produto. Esta simplificação não pode ser feita quando se consideram os fluxos em produtos ecológicos, dado que não faz sentido falar em “a produção da atmosfera usada como insumo pela bactéria”;
- c. Os coeficientes técnicos são calculados somando-se ao longo das linhas, agregando produtos econômicos e ecológicos, dando como resultado os Q's (total, na figura 2). Estes valores são então usados para o cálculo dos coeficientes técnicos de produção para os setores econômicos e ecológicos, os quais são, por construção, desprovidos de sentido.

Por conta disso, Abdallah e Montoya (1995, p.348) afirmam que “essa formulação do modelo de insumo-produto de Daly, na forma como se encontra, somente pode ser considerada como sugestão para a formulação de um modelo real por tornar mais claras as interdependências entre o mundo humano e o biológico”.

Da mesma forma, Forssell e Polenske (1998) afirmam que o modelo de Daly é útil para propósitos descritivos, mas não para propósitos analíticos.

Os modelos da segunda categoria (que expressam os fatores ambientais como produtos em uma tabela insumo-produto do tipo produto $\times$ setor) procuram resolver o problema de unidades não comparáveis permitindo que as indústrias produzam não apenas seu próprio produto, mas também um resíduo (*waste product*) associado a ele. Tanto neste modelo como no modelo de Daly, as descargas de poluentes são associadas com a produção da economia, enquanto que os insumos originados do meio ambiente são mostrados como insumos dentro do setor econômico (Forssell e Polenske, 1998).

De acordo com a descrição de Miranda (1980), os setores econômicos e ecológicos são categorizados dentro de cada quadrante de acordo com sua origem, por exemplo, terrestre ou marinha (figura 3):

Quadrante I: expressa os coeficientes relacionados aos fluxos entre as atividades e mercadorias econômicas e ecológicas terrestres;

Quadrante II: expressa os fluxos das mercadorias econômicas e ecológicas terrestres, absorvidas pelas atividades econômicas e ecológicas marinhas;

Quadrante III: expressa os coeficientes econômicos e ecológicos das mercadorias marinhas absorvidas pelas atividades terrestres; e

Quadrante IV: expressa as relações entre as atividades e mercadorias econômicas e ecológicas marinhas.

		ATIVIDADES			
		TERRA		MARINHAS	
		ECONOMIA	ECOLOGIA	ECONOMIA	ECOLOGIA
MERCADORIAS	TERRA	ECONOMIA ECOLOGIA	I	II	
	MARINHAS	ECONOMIA ECOLOGIA	III	IV	

Figura 3 - Estrutura do modelo de Isard.

Fonte: Miranda (1980)

Segundo Abdallah e Montoya (1995, p. 350), "a inovação no modelo de Isard está na determinação dos coeficientes. Os coeficientes econômicos são derivados dentro da própria estrutura de insumo-produto, ao passo que os coeficientes referentes ao meio ambiente são derivados de forma exógena, diretamente a partir dos dados técnicos".

Os coeficientes relativos às matrizes que dizem respeito aos insumos ecológicos (bens livres) destinados para a produção econômica e aos produtos

ecológicos (despejos) originados dos processos de transformação econômica são obtidos derivando relações entre as quantidades físicas ecológicas (de insumo ou produção) e os valores da produção econômica (Miranda, 1980).

A aplicação do modelo de Isard enfrenta duas críticas principais (Miranda, 1980):

- a. A excessiva necessidade de dados, sobretudo aqueles relacionados às inter-relações ecológicas torna difícil sua aplicabilidade; e
- b. A hipótese de funções lineares é bastante forte quando se trata de relações entre variáveis ambientais.

Uma alternativa a este modelo foi proposta por Victor. Sua abordagem limita o escopo do modelo de Isard contemplando apenas os fluxos de bens ecológicos do meio ambiente para a economia e os resíduos da economia para o meio ambiente (Miller e Blair, 1985).

De acordo com Abdallah e Montoya (1998, p. 353), "o procedimento de Victor consistiu em adicionar à estrutura econômica tradicional variável ambientais, introduzindo os insumos ecológicos (terra, ar e água) requisitados pelo processo produtivo econômico, bem como as descargas de resíduos (ou subprodutos ecológicos) resultantes do processo de transformação econômica" (figura 4).

Destino Origem	Produto	Setor	Demanda final	Total	Meio ambiente
Produto		insumo do produto ofertado para o setor	insumo do produto para a demanda final		descarga de resíduos pelo produto
Setor	insumo do setor ofertado para o produto				descarga de resíduos pelo setor
Insumos primários					
Importação					
Total					
Meio ambiente (terra, ar, água)	insumo ambiental ofertado	insumo do meio ambiente ofertado para o setor	insumo do meio ambiente para a demanda final		

Figura 4 - Tabela de insumo-produto de Victor.

Fonte: Abdallah e Montoya (1998)

Conforme Miranda (1980, p.609),

“A utilização de tabelas retangulares produto-setor permitiu que fosse superada a maior dificuldade deste tipo de abordagem, qual seja, a tentativa de valorar monetariamente os insumos e produtos ecológicos. Como, por este critério, a hipótese da produção de produtos conjuntos, isto é, produção principal e resíduos equivalentes é explicitada, pode-se abrir mão da tentativa de medir toda a produção numa mesma unidade”.

As críticas a abordagem apontam para a omissão da metodologia proposta por Victor quanto ao *feedback* que os impactos sobre o meio ambiente geram sobre os setores econômicos (Miranda, 1980).

Na categoria dos modelos de insumo-produto aumentados, nos quais as

emissões setoriais de poluentes são consideradas em conjunto com as transações monetárias de insumo-produto, Leontief apresenta um modelo que leva em conta a inter-relação entre as repercussões ambientais e a estrutura econômica.

Nesta abordagem,

a poluição e outros efeitos externos indesejáveis - ou desejáveis - das atividades de produção ou consumo devem ser considerados para todos os propósitos práticos parte do sistema econômico. A dependência quantitativa de cada tipo de produto (ou insumo) externo no nível de uma ou mais atividades econômicas convencionais ao qual ele sabidamente é relacionado deve ser descrito por um coeficiente técnico apropriado e todos estes coeficientes devem ser incorporados na matriz estrutural da economia em questão (Leontief, 1970, p. 264).

Deste modo, um aumento ou redução do nível de determinado poluente pode ser relacionado com mudanças na demanda final por bens e serviços específicos, com mudanças em um ou mais setores da economia, ou com alguma combinação dos dois casos, de tal sorte que é possível explicar ou mesmo antecipar os efeitos de dada mudança tecnológica sobre a emissão de poluentes (bem como de todos os outros bens e serviços), além de determinar os efeitos de tal mudança sobre a demanda setorial, e, conseqüentemente, sobre a demanda total de determinado insumo (tabela 1) (Leontief, 1970).

Tabela 1. Fluxos no modelo expandido de Leontief.

<i>Setores vendedores</i>	<i>Setores compradores</i>		Demanda final	Produção total
	A	B		
A	z_{11}	z_{12}	Y_1	X_1
B	z_{21}	z_{22}	Y_2	X_2
Geração de poluição	z_{p1}	z_{p2}	Y_p	X_p

Fonte: Leontief (1970)

Mais recentemente, ainda considerando os modelos que consideram as emissões setoriais de poluentes em conjunto com as transações monetárias de

insumo-produto, há os trabalhos empíricos que buscam identificar os impactos de políticas de abatimento de *GHG* sobre as emissões totais.

Tais trabalhos adotam como procedimento estimar o uso de combustíveis fósseis pelas indústrias e consumidores finais e, por meio de coeficientes de conversão, obter as emissões de CO₂ decorrentes. Isto permite modelar como tais gases são incorporados, isto é, usados na produção industrial possibilitando informar os formuladores de política acerca da emissão de poluição tanto direta quanto indireta.

O consumo de combustíveis fósseis pode ser calculado por meio de um modelo insumo-produto de energia, o qual determina o total de energia (neste caso, combustíveis fósseis) requerido para entregar um bem ou serviço para a demanda final. Nesta abordagem considera-se tanto a energia consumida no processo de produção de uma indústria, quanto à energia utilizada na produção dos insumos utilizados por ela (Miller e Blair, 1985).

Uma característica necessária neste modelo é a inclusão da **condição de conservação de energia**, isto é, o montante de energia primária necessária para a produção de um bem ou serviço de uma indústria deve ser igual ao total de energia secundária (indireta) do produto mais o montante de energia perdido na conversão de energia (por exemplo, na conversão do carvão em energia elétrica).

A condição de conservação de energia torna necessária a utilização de **unidades híbridas** no modelo de insumo-produto. Enquanto no modelo tradicional de Leontief todas as transações da economia são expressas em unidades monetárias, no modelo insumo-produto de energia as transações de energia (combustíveis fósseis) são medidas em **unidades físicas**. Deste modo, a matriz estrutural da economia terá transações em unidades físicas e em unidades monetárias.

Hetherington (1996) apresentou, por meio de um modelo insumo-produto em unidades híbridas, as intensidades de CO₂ (medida das emissões diretas e indiretas de CO₂ para cada unidade monetária de produto) de 101 grupos industriais no Reino Unido utilizando dados de 1984.

Os combustíveis fósseis considerados por ele foram carvão, coque e cinzas, óleo para motores, combustível de aviação, gasolina e óleo diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, óleo para aquecimento e óleo combustível.

Os resultados mostraram que a intensidade de CO₂ foi maior nos setores de Eletricidade, Cimento, Ferro e Aço, Fibras Sintéticas e Extração de Carvão. As emissões totais, considerando as emissões domésticas mais as causadas pelas importações, foram maiores nos setores Construção, Distribuição, Motores de Veículos e Peças, Hotéis e Suprimentos, Transporte Aéreo, Eletricidade e Processamento de Óleo Mineral.

Em termos gerais, o trabalho mostrou que nas indústrias primárias (Extração de Óleo e Gás, Processamento de Óleo Mineral) a maioria das emissões é direta, nas indústrias de manufaturas as emissões são predominantemente indiretas e nos serviços elas são quase todas indiretas.

Casler e Blair (1997) utilizam a abordagem de unidades híbridas para considerar as emissões de poluentes geradas pela queima de combustíveis fósseis nos Estados Unidos em 1985. O estudo considerou sete poluentes (particulados, óxido sulfúrico, óxido de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, monóxido de carbono, chumbo e dióxido de carbono) emitidos a partir da queima de carvão, óleo cru e gás natural, produtos refinados de petróleo, GLP e outros.

Os resultados deste trabalho mostraram que as atividades mais intensivas em poluição foram encontradas nos setores de mineração, Produtos de Madeira, Produtos de Papel, Produtos de Pedra e de Barro, Manufatura Primária de Ferro e Aço, Metais Primários Não-Ferrosos e setores de transporte. Os setores que mais emitiram CO₂ foram os setores de mineração, Transporte Aéreo, o de Produtos Químicos e o de Manufatura Primária de Ferro e Aço.

Lenzen (1998) descreveu os requerimentos primários diretos e indiretos de energia e *GHG* incorporados no consumo final da Austrália em 1992/1993 utilizando o modelo insumo-produto na sua representação usual (todas as transações em unidades monetárias) e a abordagem das unidades híbridas. Foram consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O e também as de CF₄ e C₂F₆.

Os resultados indicaram que as menores intensidades de *GHG* associadas com a demanda final encontram-se nos setores de serviços, enquanto as maiores foram observadas nos setores de Agricultura, Silvicultura e Pesca e indústrias relacionadas. Segundo o autor, isto acontece por conta das grandes emissões associadas com o desmatamento e fermentação entérica na criação de gado. Outras fontes importantes de emissão não relacionadas ao uso de energia são os aterros sanitários no setor Serviços Comunitários, atividades de produção do setor Mineração de Carvão e Extração de Gás e os vazamentos no setor de Produção e Distribuição de Gás.

Os requerimentos de *GHG* em CO₂-e (em unidades equivalentes de CO₂) no consumo final estão relacionadas na sua maioria às compras de bens e serviços pelas famílias (47%), exportações dos setores Agricultura, Silvicultura e Pesca, Carne e Produtos de Consumo Diário, Produtos Metalúrgicos Básicos, Mineração, e Outros (32%), ao consumo de energia das famílias (11%) e ao consumo do governo (10%).

Labandeira e Labeaga (2002) utilizaram um modelo de insumo-produto com unidades híbridas para obter as intensidades de carbono para a Espanha em 1992 e para examinar os efeitos nos preços de um possível imposto de carbono (*carbon tax*). O modelo considerou 57 setores produtivos e cinco tipos de combustíveis fósseis (carvão, lignito, combustíveis líquidos, gás natural e gás manufacturado).

De modo similar aos estudos citados, os setores com maior intensidade de CO₂ foram Extração de Carvão, Eletricidade, Gás Natural, Refino de Petróleo, Gás Manufacturado, Cimento, Transporte Marítimo e Cerâmicas e Tijolos.

Especificamente no caso brasileiro, Young (2000) utilizou um modelo de insumo-produto para estimar as emissões industriais resultantes das atividades orientadas à exportação no Brasil no período de 1985 a 1996. Foram consideradas as emissões de poluentes da água (demanda bioquímica de oxigênio e metais pesados) e do ar (particulados, SO₂, NO_x e hidrocarbonetos), além das emissões de CO₂ originadas da queima de combustíveis fósseis.

Os resultados mostraram que as cadeias orientadas para a exportação são mais intensivas em emissões que a média da economia brasileira. Para o autor, isto está relacionado com a expansão dos setores intensivos em recursos na base das cadeias produtivas orientadas para a exportação (metalurgia, químicos, papel e celulose e calçados) e os resultados sugerem que há uma associação entre os esforços de expansão das exportações a qualquer custo, dadas as restrições do balanço de pagamentos, e piora dos padrões ambientais.

No período 1990 - 1994 as emissões de carbono cresceram significativamente o que, segundo o autor, sugere que as mudanças estruturais na economia brasileira neste período, associadas com o objetivo de aumentar a participação das exportações brasileiras no comércio internacional, encorajaram as indústrias que são mais intensivas em emissões.

Machado, Schaeffer e Worrell (2001) também utilizaram um modelo produto $\times$ setor de insumo-produto em unidades híbridas para estimar a energia e o carbono incorporado no comércio internacional do Brasil em 1995. Tendo em vista que a agregação das tabelas de insumo-produto do IBGE e das estatísticas de energia é diferente, os autores construíram uma matriz com 19 produtos e 14 setores. A intensidade de carbono em cada um dos setores foi obtida considerando a utilização de lenha, óleo cru e gás natural, carvão e outros, produtos energéticos da cana-de-açúcar, eletricidade primária e resíduos.

A intensidade de carbono é maior nos setores de Ferro e Aço, Transporte, Produtos Minerais Não-Metálicos e Papel e Celulose. No que se refere ao comércio internacional, o estudo mostrou que o país não só é um exportador líquido de energia e carbono, mas que cada dólar ganho com as exportações incorpora 40% mais energia e 56% mais carbono que cada dólar gasto em importações.

Diante disto, os autores argumentam que os formuladores de política deveriam estar conscientes destes impactos extras que a política de comércio externo exerce sobre o uso de energia e emissão de carbono do país.

Nenhum destes estudos, particularmente os que foram realizados para o Brasil, procurou investigar as emissões de CO₂ sob uma ótica inter-regional, nem

tampouco os resultados de uma política de controle da poluição. Neste contexto, esta tese tem por objetivo contribuir para investigar as emissões de CO_2 a partir da queima de combustíveis fósseis dentro de uma ótica inter-regional, verificando não só a intensidade de CO_2 na economia brasileira, mas também determinando as elasticidades da poluição em relação a variações na 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.

Tendo em mente este objetivo, o capítulo seguinte trata da construção e operacionalização do modelo inter-regional de insumo-produto utilizado no presente trabalho.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo detalhar a metodologia adotada para calcular a emissão de CO₂ proveniente do uso energético do gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões brasileiras, além de mostrar os procedimentos de preparação dos dados usados no presente trabalho.

A primeira seção faz uma revisão do modelo de insumo-produto de Leontief. A segunda trata da versão inter-regional deste modelo, a qual serve como base para o desenvolvimento do modelo aumentado de insumo-produto da terceira seção.

Este modelo permite efetuar uma análise da estrutura da economia do ponto de vista das emissões de CO₂ originada da queima dos insumos energéticos acima mencionados. Os procedimentos adotados para tal análise são mostrados em detalhe na quarta seção.

A quinta seção, por sua vez, trata de explicitar os procedimentos adotados na preparação dos dados que alimentaram o modelo descrito nas seções anteriores.

3.1 O modelo de insumo-produto

Segundo Leontief (1986, p.5), “a análise de insumo-produto é uma extensão prática da teoria clássica de interdependência geral, que vê a economia inteira de uma região, de um país ou inclusive do mundo como um só sistema e se propõe interpretar todas as suas funções em termos das propriedades específicas mensuráveis de sua estrutura.”

Trata-se de uma tentativa de aplicar a teoria neoclássica de equilíbrio geral ao estudo empírico da interdependência das diferentes partes de uma economia.

A informação fundamental da análise insumo-produto consiste nos fluxos de produto de cada setor industrial produtor para cada um dos setores consumidores. Esta informação é representada por intermédio de uma tabela de relações interindustriais na qual as linhas descrevem a distribuição da produção de um setor através de toda a economia e as colunas mostram a composição dos insumos requeridos por uma indústria particular para desenvolver sua produção (Miller e Blair, 1985).

As relações do modelo de insumo-produto são representadas, de modo esquemático, na figura 5. De acordo com ela pode-se observar que as vendas de um dado setor são utilizadas como insumo no processo produtivo de outro setor ou podem também ser consumidas pelos vários componentes da demanda final. De outro lado, observando-se as colunas nota-se que o processo produtivo de um determinado setor exige uma determinada quantidade de insumos que podem ser originados da própria economia ou importados. Este mesmo processo produtivo é responsável tanto pelo pagamento de impostos quanto pela geração de valor adicionado, na forma de geração de salários e de excedentes.

		SETORES COMPRADORES				DEMANDA FINAL					PRODUÇÃO TOTAL
		X_1	X_2	X_j	X_n	Investimento	Exportações	Variação de estoques	Consumo do Governo	Consumo das Famílias	
SETORES VENDEDORES	X_1										
	X_2										
	X_i										
	X_n										
Importações											
Impostos ind. líq.											
VALOR ADICIONADO	Remunerações										
	Excedente Operacional Bruto										
PRODUÇÃO TOTAL											

Figura 5 - Tabela de insumo-produto.

A estrutura matemática de um sistema de insumo-produto para uma região consiste em um conjunto de n equações lineares com n incógnitas.

Neste conjunto, a demanda de um dado setor j por insumos originados de outros setores é relacionada com o montante de bens produzidos por este mesmo setor j e a demanda final, isto é, a demanda das famílias, do governo ou de outros países (exportações) é determinada por considerações relativamente não relacionadas com o montante produzido nestas unidades (Miller e Blair, 1985).

Deste modo, assumindo que a economia é dividida em n setores,

$$X_i = z_{i1} + z_{i2} + \cdots + z_{in} + C_i + I_i + G_i + E_i \quad (1)$$

onde:

X_i é a produção total do setor i

z_{ij} é o valor monetário do fluxo do setor i para o setor j

C_i é a produção do setor i consumida domesticamente pelas famílias

I_i é a produção do setor i destinada ao investimento

G_i é a produção do setor i destinada para as administrações públicas

E_i é a produção do setor i exportada

Dado que cada um dos n setores terá uma equação semelhante, pode-se escrever

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} + C_i + I_i + G_i + E_i \equiv X_i \quad (2)$$

O modelo de insumo-produto assume que os fluxos interindustriais do setor i para o setor j obedecem a uma relação exata, dada por um coeficiente técnico a_{ij} , definido como

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (3)$$

Os coeficientes técnicos são medidas fixas das relações entre a produção de um setor e seus insumos. Em outras palavras, ignora-se a presença de economias de escala no processo produtivo, assumindo-se a hipótese de retornos constantes.

Substituindo-se (3) em (1) e considerando que $Y = C + I + G + E$ obtém-se

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1i}X_i + \cdots + a_{1n}X_n + Y_1 \quad (4)$$

De modo análogo, para os n setores que compõem a economia pode-se escrever

$$\begin{aligned}
X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1i}X_i + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 \\
X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2i}X_i + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 \\
&\vdots \\
X_i &= a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ii}X_i + \dots + a_{in}X_n + Y_i \\
&\vdots \\
X_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{ni}X_i + \dots + a_{nn}X_n + Y_n
\end{aligned} \tag{5}$$

Trazendo todos os termos X das equações (5) para a esquerda e colocando em evidência os termos comuns

$$\begin{aligned}
(1 - a_{11})X_1 - a_{12}X_2 - \dots - a_{1i}X_i - \dots - a_{1n}X_n &= Y_1 \\
-a_{21}X_1 + (1 - a_{22})X_2 - \dots - a_{2i}X_i - \dots - a_{2n}X_n &= Y_2 \\
&\vdots \\
-a_{i1}X_1 - a_{i2}X_2 - \dots + (1 - a_{ii})X_i - \dots - a_{in}X_n &= Y_i \\
&\vdots \\
-a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - \dots - a_{ni}X_i - \dots + (1 - a_{nn})X_n &= Y_n
\end{aligned} \tag{6}$$

As equações (6) podem ser escritas na forma matricial como

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{X} = \mathbf{Y} \tag{7}$$

onde

$$(I - A) = \begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1i} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & (1 - a_{22}) & \dots & -a_{2i} & \dots & -a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ -a_{i1} & -a_{i2} & \dots & (1 - a_{ii}) & \dots & -a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & -a_{ni} & \dots & (1 - a_{nn}) \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \text{ e } Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se a equação (7) pode-se obter a produção total necessária para suprir a demanda final, ou seja

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{Y} \tag{8}$$

onde $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, também conhecida como matriz de Leontief ou inversa de Leontief, a qual indica os requerimentos diretos (provenientes da demanda final) e indiretos (provenientes da demanda intermediária) para a produção de bens e serviços na economia, isto é, cada elemento da matriz corresponde aos requisitos diretos e indiretos da produção total do setor i necessários para produzir uma unidade de demanda final do setor j .

É possível também considerar a inter-relação que existe entre o consumo das famílias e a renda originada do trabalho e da produção de cada setor, acrescentando uma nova linha e uma nova coluna à matriz $\mathbf{X}$, cuja dimensão passa a ser $(n + 1)$.

Os coeficientes técnicos para o setor consumo das famílias são dados por

$$a_{i,n+1} = \frac{z_{i,n+1}}{X_{n+1}} \quad \text{ou} \quad z_{i,n+1} = a_{i,n+1} X_{n+1} \quad (9)$$

Em notação matricial, este modelo pode ser escrito como

$$\overline{\mathbf{A}} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{A} & \mathbf{H}_c \\ \hline \mathbf{H}_R & 0 \end{array} \right], \quad \overline{\mathbf{X}} = \left[\begin{array}{c} X \\ X_{n+1} \end{array} \right] \quad \text{e} \quad \overline{\mathbf{Y}} = \left[\begin{array}{c} Y^* \\ Y_{n+1}^* \end{array} \right] \quad (10)$$

onde:

$\overline{\mathbf{A}}$ é a matriz dos coeficientes técnicos com o setor consumo das famílias endogeneizado, cuja dimensão é $(n+1 \times n+1)$;

$\mathbf{H}_c$ é o vetor coluna dos n coeficientes técnicos $[a_{i,n+1} \ (i = 1, \dots, n)]$ que representam a estrutura do consumo das famílias, ou seja, quanto as famílias consomem de cada um dos n setores da economia;

$\mathbf{H}_R$ é o vetor linha dos n coeficientes técnicos $[a_{n+1,j} \ (j = 1, \dots, n)]$ que mostram como o trabalho das famílias é usado como insumo em cada um dos n setores ou, dado que o pagamento dos n setores às famílias constitui sua remuneração, o vetor coluna $\mathbf{H}_R$ representa os valores recebidos pelas famílias em pagamento por seu trabalho;

$\bar{\mathbf{X}}$ é o vetor do valor bruto da produção, com dimensão $(n + 1) \times 1$;

$\mathbf{Y}^*$ é o vetor coluna da demanda final excluindo o setor consumo das famílias para os outros n setores;

$\bar{\mathbf{Y}}$ é a demanda final incluindo o consumo das famílias.

Logo, tornando endógeno o consumo das famílias, o modelo de Leontief é representado por

$$\bar{\mathbf{X}} = (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}})^{-1} \bar{\mathbf{Y}} \quad (11)$$

ou

$$\begin{bmatrix} X \\ \hline X_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A & | & -H_C \\ \hline -H_R & | & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y^* \\ \hline Y_{n+1}^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.2 Modelos inter-regionais de insumo-produto

A primeira apresentação de um modelo insumo-produto multi-regional que buscava capturar os *feedbacks* entre as várias regiões foi feita por Isard no início da década de 1950 (Miller e Blair, 1985).

De modo sucinto, um modelo inter-regional pode ser apresentado supondo-se uma economia com fluxos intersetoriais e inter-regionais de bens entre suas duas regiões L e M, cada uma delas com dois setores, conforme representado na tabela 2.

Tabela 2. Fluxos interindustriais e inter-regionais

Setor comprador

Setor		<i>Região L</i>		<i>Região M</i>	
Vendedor		1	2	1	2
<i>Região L</i>	1	z_{11}^{LL}	z_{12}^{LL}	z_{11}^{LM}	z_{12}^{LM}
	2	z_{21}^{LL}	z_{22}^{LL}	z_{21}^{LM}	z_{22}^{LM}
<i>Região M</i>	1	z_{11}^{ML}	z_{12}^{ML}	z_{11}^{MM}	z_{12}^{MM}
	2	z_{21}^{ML}	z_{22}^{ML}	z_{21}^{MM}	z_{22}^{MM}

Fonte: Miller e Blair (1985)

Em termos matriciais,

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}^{LL} & \mathbf{Z}^{LM} \\ \mathbf{Z}^{ML} & \mathbf{Z}^{MM} \end{bmatrix} \quad (13)$$

onde:

$\mathbf{Z}^{LL}$ é o fluxo monetário do setor i para o setor j dentro da região L ;

$\mathbf{Z}^{LM}$ é o fluxo monetário do setor i da região L para o setor j da região M ;

$\mathbf{Z}^{MM}$ é o fluxo monetário do setor i para o setor j dentro da região M ;

$\mathbf{Z}^{ML}$ é o fluxo monetário do setor i da região M para o setor j da região L .

Para o caso de duas regiões, com dois setores em cada, a produção total do setor 1 na região L é dada por

$$X_1^L = z_{11}^{LL} + z_{12}^{LL} + z_{11}^{LM} + z_{12}^{LM} + Y_1^L \quad (14)$$

Logo, equações semelhantes podem ser obtidas para o outro setor da região L e para os dois setores da região M .

O modelo multi-regional também adota a hipótese de que os fluxos interindustriais do setor i para o setor j dentro de uma determinada região e entre as regiões obedecem a uma relação exata, expressa por um coeficiente técnico.

Logo, os coeficientes intra-regionais são dados por

$$a_{ij}^{LL} = \frac{z_{ij}^{LL}}{X_j^L} \quad (15)$$

e

$$a_{ij}^{MM} = \frac{z_{ij}^{MM}}{X_j^M} \quad (16)$$

onde

a_{ij}^{LL} representa quanto o setor j na região L compra do setor i , também da região L ; e

a_{ij}^{MM} representa quanto o setor j na região M compra do setor i , também da região M .

De modo análogo, os coeficientes inter-regionais são expressos por

$$a_{ij}^{ML} = \frac{z_{ij}^{ML}}{X_j^L} \quad (17)$$

e

$$a_{ij}^{LM} = \frac{z_{ij}^{LM}}{X_j^M} \quad (18)$$

onde

a_{ij}^{ML} representa quanto o setor j na região M compra do setor i da região L ; e

a_{ij}^{LM} representa quanto o setor j na região L compra do setor i da região M .

Substituindo estes coeficientes em (14), obtém-se

$$X_1^L = a_{11}^{LL} X_1^L + a_{12}^{LL} X_2^L + a_{11}^{LM} X_1^M + a_{12}^{LM} X_2^M + Y_1^L \quad (19)$$

O mesmo por ser feito para os demais setores e regiões.

Trazendo todos os termos X para o lado esquerdo e colocando em evidência os termos comuns, a equação (19) pode ser expressa por

$$(1 - a_{11}^{LL})X_1^L - a_{12}^{LL}X_2^L - a_{11}^{LM}X_1^M - a_{12}^{LM}X_2^M = Y_1^L \quad (20)$$

Novamente, equações semelhantes podem ser obtidas para as outras demandas finais.

Definindo-se a matriz $\mathbf{Z}^{LL}$ como a matriz $n \times n$ dos fluxos intra-regionais e $\hat{\mathbf{X}}^L$ a matriz diagonal dos totais das produções regionais, a matriz $n \times n$ dos coeficientes técnicos intra-regionais pode ser representada por

$$\mathbf{A}^{LL} = \mathbf{Z}^{LL}(\hat{\mathbf{X}}^L)^{-1} \quad (21)$$

Ou seja,

$$\mathbf{A}^{LL} = \begin{bmatrix} a_{11}^{LL} & a_{12}^{LL} \\ a_{21}^{LL} & a_{22}^{LL} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Procedendo-se de modo similar, é possível obter as matrizes $\mathbf{A}^{LM}$, $\mathbf{A}^{MM}$ e $\mathbf{A}^{ML}$.

Utilizando estas quatro matrizes, as quatro equações, das quais a primeira é (20) podem ser representadas por meio de

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^{LL})\mathbf{X}^L - \mathbf{A}^{LM}\mathbf{X}^M &= \mathbf{Y}^L \\ -\mathbf{A}^{ML}\mathbf{X}^L + (\mathbf{I} - \mathbf{A}^{MM})\mathbf{X}^M &= \mathbf{Y}^M \end{aligned} \quad (23)$$

Se

$$\mathbf{A} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{A}^{LL} & \mathbf{A}^{LM} \\ \hline \mathbf{A}^{ML} & \mathbf{A}^{MM} \end{array} \right] \quad ; \quad \mathbf{X} = \left[\begin{array}{c} \mathbf{X}^L \\ \hline \mathbf{X}^M \end{array} \right] \quad \text{e} \quad \mathbf{Y} = \left[\begin{array}{c} \mathbf{Y}^L \\ \hline \mathbf{Y}^M \end{array} \right]$$

o modelo inter-regional de insumo-produto pode ser representado, na forma matricial, por

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{X} = \mathbf{Y} \quad (24)$$

que equivale a

$$\left\{ \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{I} & 0 \\ \hline 0 & \mathbf{I} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{cc} \mathbf{A}^{LL} & \mathbf{A}^{LM} \\ \hline \mathbf{A}^{ML} & \mathbf{A}^{MM} \end{array} \right] \right\} \left[\begin{array}{c} \mathbf{X}^L \\ \hline \mathbf{X}^M \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \mathbf{Y}^L \\ \hline \mathbf{Y}^M \end{array} \right] \quad (25)$$

Resolvendo-se a equação (25) pode-se obter a produção total em ambos os setores e em ambas as regiões que satisfaz uma determinada demanda final em uma região específica, isto é

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}^L \\ \mathbf{X}^M \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} \mathbf{I} & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{LL} & \mathbf{A}^{LM} \\ \mathbf{A}^{ML} & \mathbf{A}^{MM} \end{bmatrix} \right\}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{Y}^L \\ \mathbf{Y}^M \end{bmatrix} \quad (26)$$

que também pode ser escrita como

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{Y} \quad (27)$$

3.3 Modelos de insumo-produto e o meio-ambiente

O modelo inter-regional de insumo-produto apresentado acima pode ser estendido para possibilitar a análise de problemas relacionados à poluição, pois muitas das emissões de poluentes resultam da atividade econômica e as inter-relações entre as indústrias afetam significativamente sua natureza e magnitude.

A demanda por automóveis, por exemplo, gera poluição não apenas na planta montadora, mas também na fábrica de pneus e na de usina siderúrgica produtora de aço. Mudanças nas relações de oferta e demanda, tais como mudanças na tecnologia ou na balança comercial com outras regiões ou nações, também podem mitigar ou exacerbar as emissões. A substituição de um alto forno a coque pela energia elétrica na produção de aço, por exemplo, pode, ao contrário do que se imagina num primeiro momento, aumentar a poluição total do ar se a eletricidade for gerada a partir de uma termelétrica (Casler e Blair, 1997).

A interdependência dos setores econômicos, tanto na esfera da produção quanto na emissão de poluição torna praticamente impossível identificar os verdadeiros emissores considerando apenas um único setor, de tal sorte que a abordagem insumo-produto parece ser a mais adequada para esta finalidade (Labandeira e Labeaga, 2002).

Especificamente, para identificar os impactos de políticas de controle de emissões de *GHG*, é necessário modelar como tais gases são incorporados, isto é,

usados na produção industrial (Lenzen, 1998). Isto é, para informar adequadamente a política, é necessária uma medida da emissão de poluição tanto direta quanto indireta (Casler e Blair, 1997). A metodologia utilizada para tal propósito é detalhada na subseção seguinte.

3.3.1 Mensuração da intensidade de energia e da emissão de CO₂

Conforme apontado na revisão da literatura, o procedimento usual para avaliar as emissões de CO₂ tem sido estimar o uso de energia pelas indústrias e consumidores finais por meio de um modelo insumo-produto de energia e, a partir de coeficientes de conversão, estimar as emissões de CO₂ decorrentes. Logo, o cálculo da emissão de CO₂ é feito aplicando-se coeficientes de emissão sobre as intensidades do consumo de energia.

Embora seja possível obter os fluxos de energia simplesmente calculando a inversa de Leontief da maneira convencional convertendo, em seguida, estes valores para unidades físicas, este procedimento leva a inconsistências. No modelo tradicional de insumo-produto, a intensidade de energia calculada a partir da técnica dos coeficientes de impacto direto é estimada por meio de

$$\Pi = c(I - A)^{-1} \quad (28)$$

onde cada coluna de c representa um dado tipo de energia e cada um de seus elementos mede a intensidade de energia por unidade monetária de produto de cada setor. Como os elementos de $(I - A)^{-1}$ medem o total (em unidades monetárias) de insumo necessário para produzir uma unidade monetária de produto, os elementos de Π representam o uso de energia derivado do uso de insumo em cada setor. Esta abordagem, contudo, pressupõe que os fatores de conversão sejam os mesmos entre os setores e que os preços da energia sejam os mesmos para os vários setores que a utilizam.

Tais hipóteses não são necessárias quando da utilização de unidades híbridas. Este modelo considera tanto a energia consumida no processo de produção de uma indústria, quanto a energia utilizada na produção dos insumos utilizados por ela (Miller e Blair, 1985).

Em outras palavras, é realizada uma **análise de processo**, isto é, para determinado bem ou serviço identificam-se os insumos diretamente utilizados na sua produção. Estes insumos incluem combustíveis (energia direta) e bens e serviços não energéticos (não combustíveis). Estes são então analisados para determinar os insumos requeridos para sua produção, os quais novamente incluem combustíveis e bens e serviços não energéticos (não combustíveis) e assim por diante (Miller e Blair, 1985).

Este processo rastreia os insumos até os recursos primários utilizados na sua produção. O primeiro *round* dos insumos de energia revela os **requerimentos diretos de energia**. Os *rounds* subsequentes de insumos energéticos definem os **requerimentos indiretos de energia**. Logo, a soma destes dois requerimentos é o **requerimento total de energia**⁴, cujo cálculo é algumas vezes chamado de **intensidade de energia** (Miller e Blair, 1985).

No cálculo da intensidade de energia de um produto deve-se distinguir entre setores de energia **primária** (extração de petróleo e gás, por exemplo) e setores de energia **secundária** (refino de petróleo e eletricidade). Estes últimos recebem energia primária como insumo e a convertem em formas secundárias de energia. Logo, o montante total de energia primária requerido para produzir um determinado produto deve ser igual ao montante necessário de energia secundária (deduzido de eventuais perdas de conversão) (Miller e Blair, 1985).

O modelo de energia em unidades híbridas é baseado em um conjunto de matrizes **análogo** ao do modelo convencional, isto é, numa matriz de transações ou fluxo de energia (medida em unidades físicas), numa matriz de requerimentos diretos de energia e numa matriz de requerimentos totais de energia (Miller e Blair, 1985).

⁴ Por exemplo, a energia usada numa planta montadora de automóveis é o requerimento direto de energia, enquanto que a energia usada na produção dos materiais usados (pneus, motores, etc.) seria englobada no requerimento indireto de energia.

Numa economia composta por n setores, dos quais m são setores de energia, a matriz de fluxos de energia será $\mathbf{E}$ ($m \times n$).

Assumindo que a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) é dada por e_y , o consumo total de energia na economia é representado por F (onde e_y e F são ambos vetores-coluna com m elementos) e $\mathbf{i}$ é um vetor ($n \times 1$) cujos elementos são todos números "um",

$$\mathbf{E}\mathbf{i} + \mathbf{e}_y = \mathbf{F} \quad (29)$$

ou seja, a soma da energia consumida pelos setores interindustriais mais o consumo da demanda final é o montante de energia consumido (e produzido) pela economia.

De posse da matriz $\mathbf{E}$, é possível construir a matriz de transações interindustriais em unidades híbridas. O procedimento consiste em substituir na matriz de transações interindustriais ($\mathbf{Z}$) as linhas que representam os fluxos de energia em unidades monetárias pelas linhas que representam os fluxos **físicos** de energia, obtidos a partir da matriz $\mathbf{E}$. Ou seja, após esta substituição, tem-se uma nova matriz de fluxos interindustriais ($\mathbf{Z}^*$), a qual representa os fluxos interindustriais de energia em unidades físicas e os demais fluxos em unidades monetárias.

Considere-se o modelo inter-regional, apresentado anteriormente. Neste modelo, o setor 1 de cada uma das duas regiões é, por hipótese, um setor de energia primária (extração de petróleo, por exemplo), cujos fluxos de produção para os demais setores são medidos em tEP (tonelada equivalente de petróleo). Nos demais setores não-energéticos, as transações são medidas em \$ (unidades monetárias). Assim, as matrizes de energia e de transações interindustriais serão, respectivamente

$$E = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ tEP & tEP & tEP & tEP \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (31)$$

e a matriz em unidades híbridas será

$$\mathbf{Z}^* = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (32)$$

Adotando-se o mesmo procedimento para as matrizes $\mathbf{Y}$ e $\mathbf{X}$, ter-se-á

$$\mathbf{Y}^* = \begin{bmatrix} tEP \\ \$ \\ tEP \\ \$ \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$\mathbf{X}^* = \begin{bmatrix} tEP \\ \$ \\ tEP \\ \$ \end{bmatrix} \quad (34)$$

De maneira esquemática, se E_k, e_{ky} e F_k representarem elementos das matriz de energia (30) e dos vetores definidos em (29), pode-se definir esquematicamente $\mathbf{Z}^*, \mathbf{X}^*$ e $\mathbf{Y}^*$ como

$$\mathbf{Z}_i^* = \begin{cases} Z_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ E_k & \text{para as linhas de fluxos de energia} \end{cases} \quad (35)$$

$$\mathbf{Y}_i^* = \begin{cases} Y_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ e_{ky} & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (36)$$

$$\mathbf{X}_i^* = \begin{cases} X_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (37)$$

A partir de (32) e (34) pode-se obter

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{Z}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} \\ \frac{\$}{tEP} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{tEP} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{tEP} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{tEP} \\ \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix} \quad (38)$$

A matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}$ terá as mesmas unidades de (37), porém, ela representa os requerimentos (em tEP ou unidades monetárias) por unidade (tEP ou unidades monetárias) de demanda final (requerimento total), enquanto $\mathbf{A}^*$ representa o requerimento por unidade de produto total (requerimento direto).

A **matriz de requerimentos diretos** de energia e a **matriz de requerimentos totais de energia** são obtidas extraindo-se, respectivamente, as linhas dos fluxos de energia de $\mathbf{A}^*$ e $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}$.

Para isto é necessário criar a matriz $\hat{\mathbf{F}}^*$ com dimensão $m \times n$ na qual os elementos de $\mathbf{F}^*$ que representam fluxos de energia são colocados ao longo da diagonal principal e os demais elementos são zeros.

$$\mathbf{F}^* = \begin{bmatrix} tEP & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & tEP & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (39)$$

Ou, esquematicamente,

$$\mathbf{F}_i^* = \begin{cases} 0 & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (40)$$

Dito de outro modo, a matriz $\mathbf{F}^*$ teria n elementos (representando o número de setores da economia, inclusive os setores energéticos) onde os elementos representando os setores de energia (m de n elementos) representariam o total

produzido de energia (em unidades físicas) por estes setores e os demais elementos seriam zero.

Fazendo $\mathbf{F}^*(\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1}$, obtém-se um vetor de zeros e números "um", no qual os números "um" denotam a localização dos setores de energia.

Deste modo, pós multiplicando as matrizes de requerimentos diretos e de requerimentos totais de energia por $\mathbf{F}^*(\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1}$ **recuperam-se apenas os coeficientes de energia, ou seja, a intensidade de energia.**

Logo, se δ representa os requerimentos diretos e α os requerimentos totais:

$$\delta = \mathbf{F}^*(\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \mathbf{A}^* \quad (41)$$

$$\alpha = \mathbf{F}^*(\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (42)$$

Os requerimentos indiretos de energia, γ , são obtidos da diferença entre (41) e (42), ou seja:

$$\gamma = \mathbf{F}^*(\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} - \mathbf{A}^* \right] \quad (43)$$

Assumindo que as emissões de CO₂ estão linearmente relacionadas com os requerimentos de energia fornecidos por (41), (42) e (43), é possível obter tanto as emissões diretas de carbono, como também as emissões indiretas e totais.

Seja $\mathbf{c}$ a matriz dos coeficientes que convertem a utilização de energia em emissões, tal que os elementos na diagonal principal sejam os coeficientes de conversão para cada setor e os demais elementos sejam zero.

No caso do exemplo aqui adotado:

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (44)$$

Logo, as emissões diretas, totais e indiretas serão, respectivamente:

$$\delta_{CO_2} = \mathbf{cF}^* \left(\hat{\mathbf{X}}^* \right)^{-1} \mathbf{A}^* \quad (45)$$

$$\alpha_{CO_2} = \mathbf{cF}^* \left(\hat{\mathbf{X}}^* \right)^{-1} \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}^* \right)^{-1} \quad (46)$$

$$\gamma_{CO_2} = \mathbf{cF}^* \left(\hat{\mathbf{X}}^* \right)^{-1} \left[\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}^* \right)^{-1} - \mathbf{A}^* \right] \quad (47)$$

Ou seja, enquanto no modelo de energia, obtinha-se uma matriz-produto $\mathbf{F}^* \left(\hat{\mathbf{X}}^* \right)^{-1}$, composta por zeros e números "um" (indicando a localização dos setores de energia) que pré multiplicava as matrizes de requerimentos totais, diretos e indiretos, no modelo de emissão de CO₂ aplica-se o mesmo princípio, com a diferença que a matriz-produto $\mathbf{cF}^* \left(\hat{\mathbf{X}}^* \right)^{-1}$ não apenas extrai a intensidade de energia como também a transforma em intensidade de emissão de CO₂⁵.

Finalmente, deve-se ressaltar que a formulação deste modelo de energia e sua extensão para dar conta das emissões de CO₂, obedecem à **condição de conservação de energia**. No modelo de energia, a intensidade total de energia primária de um produto iguala a intensidade secundária de energia somada ao montante de energia perdido durante o processo de conversão.

De acordo com Miller e Blair (1985), esta condição será um determinante fundamental para avaliar se um modelo particular de energia (e, por extensão, de emissão de CO₂) representa ou não adequadamente os fluxos de energia na economia.

Mais formalmente, a condição de conservação de energia pode ser representada por (Miller e Blair, 1985):

⁵ Se o modelo estimado considerar a inter-relação que existe entre o consumo das famílias e a renda originada do trabalho e da produção de cada setor, obtém-se também a intensidade de carbono do consumo das famílias.

$$\theta_{kj} X_j = \left(\sum_{i=1}^n \theta_{ki} z_{ij} \right) + f_{kj}^* \quad (48)$$

onde θ_{kj} é o montante de energia requerido para produzir uma unidade monetária de produto do setor j ; X_j é o total, em unidades monetárias, da produção do setor j e z_{ij} é o valor em unidades monetárias do produto do setor i consumido pelo setor j . Assume-se também que f_{kj}^* represente somente a produção total setorial de energia primária, isto é, a energia incorporada no produto de qualquer setor X_j é igual ao montante de energia incorporado em nos insumos de todos os setores, z_{ij} ($i = 1, \dots, n$), mais o insumo de energia primária, f_{kj}^* , que é diferente de zero apenas para os setores produtores de energia primária.

Em termos matriciais, (48) pode ser escrito como

$$\theta \hat{X} = \theta Z + \hat{F}^* \quad (49)$$

Dado que $Z = A\hat{X}$, (48) pode-ser reescrita como

$$\theta \hat{X} = \theta A\hat{X} + \hat{F}^* \quad (50)$$

Logo,

$$\theta = \hat{F}^* (\hat{X})^{-1} (I - A)^{-1} \quad (51)$$

Note-se que, na formulação em unidades híbridas, X e A são substituídas por seus valores correspondentes X^* e A^* , o que faz com que (51) coincida completamente com os requerimentos totais de energia dados por (42).

3.4 Análise da estrutura da economia

Embora a informação acerca da intensidade de carbono na economia seja relevante por si só, a análise de insumo-produto permite obter vários outros indicadores e efeitos na economia de modificações em elementos que são exógenos ao modelo. Na primeira subseção, define-se a elasticidade da demanda do consumo

final de energia, ou seja, o aumento total do consumo de energia (e emissão de CO₂) em relação a um aumento na demanda final. A partir destas elasticidades, a subseção seguinte mostra um método para definir os setores-chave no que se refere à emissão de CO₂. Tais setores são aqueles que levam os outros setores a emitir mais que a mediana das emissões da economia e, ao mesmo tempo, são levados a emitir mais que a mediana das emissões pelos outros setores. Logo, é sobre eles que eventuais políticas de controle de emissão teriam maiores resultados.

O modelo de insumo-produto permite ainda avaliar os efeitos na economia de uma restrição quantitativa da emissão de CO₂ (*emissions cap*), conforme mostrado na terceira subseção, bem como o efeito sobre os preços de um imposto sobre emissões, tal como descrito na subseção quatro.

A subseção cinco mostra a obtenção de multiplicadores que relacionam a geração de empregos às emissões de CO₂.

3.4.1 Elasticidade da demanda do consumo final de energia⁶

Seja Γ um escalar que denota o total de energia usada pelo sistema produtivo e τ' um vetor-linha do uso de energia por unidade de produto setorial. A partir do modelo de Leontief, pode-se então escrever⁷

$$\Gamma = \tau'X = \tau'(I - A)^{-1} Y \quad (52)$$

Como o uso de energia depende da demanda final da economia, pode-se escrever

$$\Delta\Gamma = \tau'\Delta X = \tau'(I - A)^{-1} Y\lambda \quad (53)$$

⁶ Esta seção e a seguinte seguem a apresentação do conceito de elasticidade e da metodologia para identificação de setores-chave no consumo de energia feita em Alcántara e Padilha (2003).

⁷ Tanto a abordagem de unidades híbridas quanto a abordagem definida em (28) fornecem o mesmo requerimento total de energia para os dados básicos. No entanto, quando um **novo** vetor de demanda final é considerado no sistema, apenas o método de unidades híbridas computa corretamente os requerimentos totais de energia consistentemente com a condição de conservação de energia. O método alternativo, utilizando (28) pode (sub) superestimar os requerimentos totais de energia. Porém, de acordo com Miller e Blair (1985, p. 227), é possível utilizar a abordagem alternativa quando a análise de impacto envolve novas demandas finais que não são substancialmente diferentes dos dados básicos (demanda final original).

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

Fazendo $\mathbf{s}$ representar o vetor da participação das demanda finais setoriais em suas respectivas produções efetivas, ou seja:

$$\mathbf{s} = \hat{\mathbf{X}}^{-1} \mathbf{Y} \quad (54)$$

pode-se reescrever (53) como:

$$\Delta \Gamma = \boldsymbol{\tau}' (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{X}} \mathbf{s} \lambda \quad (55)$$

Dividindo por Γ , obtém-se

$$\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = \Gamma^{-1} \boldsymbol{\tau}' (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{X}} \mathbf{s} \lambda \quad (56)$$

que mostra o aumento total de energia final em relação a um aumento na demanda final, isto é, a **elasticidade** de Γ com respeito à demanda final. No entanto, esta expressão não traz nenhuma informação adicional, dada a natureza linear do modelo, pois $\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = \lambda$.

A informação relevante é a desagregação da elasticidade. Para isto, a expressão (55) precisa ser transformada.

Seja $\mathbf{d}' = (d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n)$ um vetor da distribuição da energia final entre os n setores produtivos, tal que $\sum_{i=1}^n d_i = 1$. Logo, o vetor dos coeficientes de consumo setorial de energia final $\boldsymbol{\tau}'$ pode ser expresso por:

$$\boldsymbol{\tau}' = \Gamma \mathbf{d}' \hat{\mathbf{X}}^{-1} \quad (57)$$

Substituindo (57) em (56):

$$\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = \mathbf{d}' \hat{\mathbf{X}}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{X} \mathbf{s} \lambda \quad (58)$$

Considerando que⁸

$$(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} = \hat{\mathbf{x}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}} \quad (59)$$

e diagonalizando o vetor $\mathbf{s}$, pode-se obter a partir de (58) e (59)

$$\varepsilon' = \mathbf{d}'(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}\hat{\mathbf{s}}\lambda \quad (60)$$

que fornece a variação proporcional do consumo setorial de energia em relação a uma mudança proporcional na demanda final.

Diagonalizando o vetor $\mathbf{d}'$ e omitindo-se λ :

$$\mathbf{\Gamma}^y = \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}\hat{\mathbf{s}} \quad (61)$$

onde τ_{ij}^y é o elemento característico da matriz $\mathbf{\Gamma}^y$ e expressa a percentagem de aumento no consumo de energia final do setor i em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j e pode ser interpretado como a elasticidade, dado que a soma dos elementos da coluna do setor j expressa a percentagem de variação do consumo de energia experimentado por toda a economia em resposta a uma mudança de 1% experimentada pelo setor j .

3.4.2 Setores-chave na emissão de CO₂

A idéia de identificar a intensidade das ligações intersetoriais fornece um meio para identificar aqueles setores-chave na promoção de determinada estratégia de política. No caso de uma estratégia de desenvolvimento, por exemplo, se recursos tais como capital e capacidade empresarial fossem concentrados nos setores-chave, a produção e o emprego num determinado país ou região cresceriam mais

⁸ Segundo Miller e Blair (1985, p. 360), quando duas matrizes quaisquer, $\mathbf{P}$ e $\mathbf{Q}$ são conectadas pela relação $\mathbf{P} = \mathbf{MQM}^{-1}$ elas são ditas **similares** e são expressas por $\mathbf{P} \sim \mathbf{Q}$. Logo, o produto no lado direito de (59) torna $(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \sim (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, ou seja, $(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$ pode ser entendida como o valor **aproximado** dos requerimentos totais (diretos e indiretos) para a produção de bens e serviços na economia, os quais são usualmente obtidos da matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$.

rapidamente que se os mesmos recursos fossem utilizados de outro modo (McGilvray, 1977).

O método tradicional para medir tais ligações, que nada mais são que medidas descritivas da interdependência entre as indústrias, foi desenvolvido por Rasmussen e é baseado na matriz inversa de Leontief.

Num sistema composto por n setores, onde a inversa de Leontief é uma matriz $\mathbf{B}$ ($n \times n$), seja

$$R_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (62)$$

tal que $R_{\bullet j}$ representa a soma dos elementos da coluna j da inversa de Leontief, isto é, o efeito no produto de toda a economia gerado por um aumento de uma unidade na demanda final do setor j . Logo, cada elemento da coluna j fornece o impacto direto e indireto de um aumento de uma unidade da demanda final pela produção do setor j em cada um dos n setores.

Para efeito de medidas de política, no entanto, é importante verificar a magnitude relativa de $R_{\bullet j}$, o qual pode ser normalizado como

$$V_j = \frac{\frac{1}{n} R_{\bullet j}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i,j} b_{ij}} \quad (63)$$

onde o numerador é a média dos elementos da coluna j e o denominador é a média de todos os elementos da inversa de Leontief. Esta medida é chamada de índice de ligação para trás na medida que os valores de V_j indicam a resposta dos outros setores a um aumento de seu produto.

Uma outra medida das ligações interindustriais pode ser definida utilizando as linhas da matriz inversa de Leontief:

$$R_{i\bullet} = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (64)$$

Assim, $R_{i\bullet}$ mede o produto que seria gerado no setor i se a demanda final de cada um dos setores fossem aumentada por uma unidade. Assim como em (63), $R_{i\bullet}$ pode ser normalizado, fazendo

$$U_i = \frac{\frac{1}{n} R_{i\bullet}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i,j} b_{ij}} \quad (65)$$

que é conhecido como índice de ligação para frente e mede a dependência do produto do setor i em relação ao produto dos demais setores.

Os chamados setores-chave são aqueles para os quais V_j e U_i são maiores que a unidade, ou seja, um setor-chave é aquele que demanda insumos dos demais setores numa intensidade maior que a média e cuja produção é amplamente usada pelos demais setores (McGilvray, 1977).

De maneira análoga aos índices definidos por Rasmussen, Alcántara e Padilha (2003) propõem um método para determinação de setores-chave na emissão de CO₂. A identificação destes setores, torna possível mostrar sua importância relativa quanto à emissão de CO₂, o que é de grande interesse para o desenho de políticas ambientais de controle da poluição.

Numa economia composta por n setores, o cálculo da expressão (61) resulta numa matriz $n \times n$ cujos elementos são as elasticidades. Assim, a soma dos elementos da coluna do setor j da matriz Γ^y expressa a percentagem de variação do consumo de energia experimentada por toda a economia em resposta a uma mudança de 1% experimentada pelo setor j .

Por sua vez, a soma das linhas da matriz Γ^y reproduz a distribuição setorial do consumo de energia e é um indicador do impacto em cada um dos setores de um aumento global de 1% na demanda final.

Se τ_{ij}^y é um elemento da matriz Γ^y , pode-se definir, tal como em (62) e (64),

$$P_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n \tau_{ij}^y \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (66)$$

e

$$P_{i\bullet} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij}^y \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (67)$$

Alcántara e Padilha (2003) chamam de **impacto total** o aumento percentual no consumo de energia causado por um aumento de 1% na demanda final do setor j , dado por (66) e de **impacto distributivo** o aumento de consumo de energia no setor j que resulta de um aumento de 1% na demanda final de todos os setores da economia, dado por (67).

Definindo Γ_T e Γ_D como os valores medianos dos impactos totais e distributivos ⁹, respectivamente, Alcántara e Padilha (2003) adotam a classificação estabelecida na tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos setores.

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Setores relevantes do ponto de vista da demanda de outros setores A	Setores-chave: pressionam o consumo de energia e são pressionados a consumir energia B
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Setores não-relevantes C	Setores relevantes do ponto de vista de sua demanda D

Fonte: Alcántara e Padilha (2003)

Os setores do quadrante A têm seu consumo de energia determinado, em parte, pela demanda de outros setores. Logo, políticas de restrição de emissões que

⁹ Note-se que os autores optam por utilizar a mediana ao invés da média. Como se sabe, a média é uma medida de tendência central indicada para casos onde a distribuição dos valores é simétrica. Nos casos de distribuição assimétrica, como é o da poluição, a medida de tendência central mais indicada é a mediana.

afetem a magnitude de sua produção podem gerar gargalos na economia (Alcántara e Padilha, 2003).

No quadrante B estão localizados os setores-chave. Por definição, tais setores apresentam um efeito total e distributivo maior que os valores medianos da economia, isto é, eles encorajam o consumo de energia dos outros setores e, ao mesmo tempo, são induzidos a consumir energia pelos outros setores (Alcántara e Padilha, 2003).

No quadrante C estão os setores menos relevantes para o desenho de políticas de controle de emissões, dado que o impacto total e sua participação na distribuição do consumo de energia são, em relação aos valores medianos, baixos (Alcántara e Padilha, 2003).

Finalmente, localizam-se no quadrante D os setores com alto conteúdo de energia (consumo direto e indireto de energia), embora sua participação na distribuição do consumo de energia seja relativamente baixa (Alcántara e Padilha, 2003).

3.4.3 Efeito de uma restrição quantitativa à emissão de CO₂

Dada a função de produção subjacente ao modelo de insumo-produto e considerando a hipótese de que a tecnologia é dada, a única maneira de um determinado setor reduzir sua emissão é reduzir, na mesma proporção, sua produção. Isso fará, necessariamente, que sua demanda pela produção dos demais setores diminua.

O impacto total na economia, contudo, depende de como os demais setores serão capazes de lidar com a queda na demanda do setor que sofreu a restrição. Pode-se imaginar que os demais setores serão capazes de redirecionar sua produção para a demanda final, fazendo com que o impacto na atividade econômica seja menor. Contrariamente, pode-se supor que a demanda final não será capaz de absorver a produção que antes era destinada ao setor afetado, situação que provocará um maior impacto na economia.

O presente trabalho leva em consideração estas duas situações. A análise é feita, primeiramente, assumindo-se que seja imposta uma redução de 1% nas emissões de um dado setor e que os demais setores sejam capazes de redirecionar sua produção para a demanda final.

Para tanto, numa economia com n setores, seja $\mathbf{X}^r$ o vetor-coluna cujos elementos são todos zeros, exceto para o setor que sofre a redução e o elemento x_i^r é o montante da redução exigida. Logo,

$$\Delta \mathbf{X} = \mathbf{X} + \mathbf{X}^r \quad (68)$$

Assim, o custo em termos do PIB, da restrição sobre as emissões em um dado setor pode ser medido por

$$\Delta \mathbf{Y} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}) \Delta \mathbf{X} \quad (69)$$

Neste caso, apenas o setor que sofre a restrição tem sua produção alterada, mas como a demanda final pelo produto dos demais setores será maior, o impacto total na economia é menor.

Pode-se também adotar uma outra hipótese diametralmente oposta, ou seja, admitir que os demais setores não conseguem realocar sua produção para a demanda final. Neste caso, a queda no produto é maior, pois o impacto originado em um setor se espalha com maior intensidade em toda a economia.

Seja $\Delta \mathbf{Y}^0$ um vetor coluna no qual todos os elementos são iguais a zero, com exceção apenas do elemento que corresponde à demanda pelo produto do setor onde a restrição é imposta, cujo valor correspondente é obtido em (69).

O impacto intersetorial é obtido pela diferença entre a matriz de relações interindustriais $\mathbf{Z}$ e a matriz $\mathbf{Z}^0$ obtida após o estabelecimento da restrição.

Esta última é obtida calculando-se inicialmente a variação ocasionada na produção, a qual é obtida de

$$\Delta \mathbf{X}^0 = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \Delta \mathbf{Y}^0 \quad (70)$$

Logo, a nova produção total será

$$\mathbf{X}^0 = \mathbf{X} + \Delta \mathbf{X}^0 \quad (71)$$

Considerando que a tecnologia é dada e expressa pela matriz de coeficientes técnicos $\mathbf{A}$, cujos elementos são definidos em (3), a matriz $\mathbf{Z}^0$ é obtida fazendo

$$\mathbf{Z}^0 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}^0 \quad (72)$$

3.4.4 Efeito sobre os preços de um imposto sobre a emissão de CO₂

A literatura costuma apontar dois tipos principais de impostos: os impostos sobre a quantidade e os impostos sobre o valor (conhecidos como impostos *ad valorem*). O imposto sobre a quantidade é uma taxa que incide sobre cada unidade vendida ou comprada do bem enquanto o imposto *ad valorem* é uma taxa expressa em unidades percentuais.

Os reflexos do estabelecimento destes tipos de impostos são assim resumidos por Varian (2003, p.320):

“(...) os impostos na verdade não devem ser encarados como recaindo sobre as empresas ou sobre os consumidores. Com efeito, os impostos constituem transações *entre* as empresas e os consumidores. Em geral, o imposto elevará o preço pago pelos consumidores e reduzirá o preço recebido pelas empresas. Quanto do imposto será repassado aos consumidores irá depender das características da demanda e da oferta”.

O modelo de insumo-produto permite obter os efeitos nos preços de um imposto hipotético sobre as emissões. A vantagem desta abordagem está em poder avaliar não apenas as emissões causadas diretamente por um determinado setor, mas também as emissões indiretas, as quais não são propriamente emissões do setor mas sim causadas pelas demandas dos outros setores. Logo, caso fosse considerado apenas um setor, não seria possível estimar os verdadeiros setores emissores.

A existência de uma ligação relativamente bem definida entre o consumo de energia e emissões de CO₂ torna possível estabelecer uma alíquota de imposto

sobre a emissão. No entanto, uma hipótese nesta análise é que, ao contrário do que usualmente ocorre, o imposto será totalmente repassado para o consumidor. Além disso, como no modelo de insumo-produto a tecnologia é dada, também não há nenhuma substituição de fatores de produção após a adoção do imposto.

Logo, a análise das mudanças nos preços após o imposto deve ser considerada uma análise de impacto, ou de curto prazo, pois no médio e longo prazos, mantido o imposto, os produtores irão migrar para tecnologias mais eficientes.

Em resumo, numa economia onde é estabelecida uma alíquota geral μ , expressa em unidades monetárias por tonelada de CO₂ emitido e não há possibilidade de substituição de fatores após sua entrada em vigor, o imposto será totalmente repassado ao consumidor, ou seja, **os preços aumentarão na mesma proporção do conteúdo de carbono dos bens produzidos** (Labandeira e Labeaga, 2002).

Logo, fazendo

$$\mathbf{t} = \mu \cdot \alpha_{CO_2} \quad (73)$$

onde α_{CO_2} é a intensidade total de CO₂ definida em (46), μ é a alíquota sobre a emissão de CO₂ e $\mathbf{t}$ é o aumento percentual nos preços decorrente do estabelecimento do imposto, pode-se interpretar $\mathbf{t}$ como o vetor das diferentes alíquotas *ad valorem* sobre os produtos, derivadas da aplicação de uma alíquota μ .

3.4.5 As emissões de CO₂ e o emprego

É usual na análise insumo-produto estimar as relações entre a produção de um setor e número de empregos nele existentes. Esta análise permite quantificar os impactos que variações na produção de um determinado setor, seja ela causada pela demanda final ou pelas demandas inter-setoriais, exercem sobre seu nível de emprego.

A partir desta análise, esta subseção desenvolve a relação existente entre os empregos e as emissões de CO₂ no intuito de avaliar o *trade off* existente entre a geração de empregos e geração de poluição.

Conforme já visto na seção anterior, uma unidade monetária adicional de demanda final pela produção do setor j implica num aumento na produção não só neste setor, mas em toda a economia. Este aumento nada mais é que o efeito direto e indireto na produção e é dado por (70).

Neste caso, como $\Delta Y = 1$, o efeito total será dado pelos elementos da matriz inversa de Leontief.

Formalmente, se b_{ij} representar um elemento da matriz inversa de Leontief, tem-se

$$O_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (74)$$

que é conhecido como multiplicador da produção.

Dito de outro modo, o efeito de uma unidade monetária adicional de demanda final sobre a produção do setor j , O_j , é dado pela soma dos elementos da coluna correspondente na matriz ΔX dividido pelo aumento correspondente na demanda (neste caso, $\Delta Y = 1$). Ou seja, o valor no denominador representa o efeito inicial na produção do setor j da demanda final adicional pela sua produção.

Não obstante, dada a função de produção utilizada no modelo de insumo-produto, o efeito sobre a produção de um setor terá necessariamente impactos sobre o emprego.

Se ρ_i representar o número de empregos no setor i e X_i a produção do setor i , os empregos por unidade monetária de produto no setor i serão

$$w_{n+1,i} = \frac{\rho_i}{X_i} \quad (75)$$

A geração de empregos, ou seja, o número de empregos criados no setor j por unidade monetária de produto adicional (decorrente de um aumento de uma unidade monetária na demanda final pelo produto do setor) será então definido por

$$M_j = \sum_{i=1}^n w_{n+1,i} b_{ij} \quad (76)$$

É possível também relacionar o efeito no emprego em relação a uma mudança inicial **no próprio emprego** e não na demanda final (e produção) em termos monetários. Em outras palavras, pode-se calcular os empregos gerados na economia a partir de um emprego adicional gerado no setor j .

Dado que uma unidade monetária adicional de produto do setor j significa empregos adicionais neste setor no montante $w_{n+1,j}$, o multiplicador de emprego será

$$W_j = \frac{M_j}{w_{n+1,j}} = \sum_{i=1}^n \frac{w_{n+1,i} b_{ij}}{w_{n+1,j}} \quad (77)$$

Isto é, para cada **novo emprego** criado no setor i há um total W_j de empregos criados em todos os setores da economia.

Tomando-se por base (75), (76) e (77), é possível avaliar as interações entre o emprego e a emissão de CO₂. Pode-se relacionar as emissões não só à produção, como feito quando da discussão das elasticidades (particularmente na definição da matriz Γ^y [eq. 61]), mas também analisar o *trade off* existente no curto prazo entre controle da poluição e emprego, pois a função de produção de Leontief faz com que a redução das emissões implique numa redução da produção a qual, por sua vez, impacta o emprego.

Do mesmo modo, a geração de emprego depende do aumento da produção na economia, o que implica num aumento das emissões de carbono¹⁰.

Fazendo ρ_i representar o número de empregos no setor i e P_i a poluição (emissões) do setor i , pode-se definir a intensidade de empregos por unidade de poluição no setor i como

$$w_{n+1,i}^p = \frac{\rho_i}{P_i} \quad (78)$$

No entanto, o interesse maior é descobrir como o emprego reage a mudanças nas emissões de modo que seja possível avaliar o *trade off* entre o aumento das emissões e o montante de emprego na economia.

Conforme definido em (61), a matriz Γ^y mostra a percentagem de aumento no consumo final de energia de um dado setor em resposta a uma mudança de 1% na demanda final de um outro setor. A elasticidade medida por meio daquela equação indica o valor aproximado das emissões totais (diretas e indiretas) realizadas por cada um dos setores a partir de uma variação na demanda final.

Ora, uma vez que o coeficiente de empregos por unidade de poluição é dado, um aumento na demanda final irá acarretar um aumento na produção, o qual irá, por sua vez, levar a um aumento das emissões.

Logo, a geração de empregos, ou seja, o número de empregos criados no setor j por unidade adicional de emissão (decorrente de um aumento de um ponto percentual na demanda final) será então definido por

$$CO_j = \sum_{i=1}^n w_{n+1,j}^p \cdot \tau_{ij}^y \quad (79)$$

¹⁰ Deve ser lembrado que a análise de insumo-produto pressupõe uma **dada** tecnologia sendo, portanto, uma análise de curto prazo. No longo prazo, mudanças tecnológicas podem alterar não só coeficientes técnicos de produção, mas também os coeficientes de emprego e de geração de emissão.

onde CO_j representa a poluição adicional por emprego criado (decorrente do gasto de uma unidade monetária adicional demanda final pelo produto do setor) e τ_{ij}^y é um elemento da matriz de elasticidades definida em (61).

É possível também obter o efeito multiplicador do emprego decorrente da variação inicial no emprego do setor j motivado por um aumento de um ponto percentual na demanda final, tal que

$$WCO_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_{n+1,j}^p \cdot \tau_{ij}^y}{w_{n+1,j}^p} \quad (80)$$

3.5 Preparação dos dados

Este trabalho fez uso de duas bases de dados principais: o Balanço Energético Brasileiro (BEN), publicado pelo Ministério de Minas e Energia e a matriz inter-regional de insumo-produto estimada pelo grupo de Projeções Econômicas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) com base nas tabelas de recursos e usos do IBGE para o ano de 1999 (Guilhoto, 2003).

Como as duas bases contemplam um número diferente de setores, o primeiro passo foi no sentido de compatibilizar os setores. A agregação adotada é mostrada no quadro 1 e teve como objetivo preservar, tanto quanto possível, as informações quanto ao uso de energia fornecidas pelo BEN e, ao mesmo tempo, atender ao foco principal do presente estudo, na medida em que a atenção é concentrada em setores mais importantes no que diz respeito às emissões de CO₂. Os números em negrito indicam os setores considerados e os números em cinza denotam os setores que abrigados por eles.

O balanço energético consolidado é uma síntese das diversas etapas de produção, transformação e consumo do processo energético. Tal processo, como pode ser visto na figura 6, leva em consideração a obtenção de energia primária (produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, carvão mineral, gás natural, etc.), o processo de transformação em energia secundária (produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação) e o consumo final (Brasil, 2002).

1	Agropecuária	12	Outros produtos
1	<i>Cana-de-açúcar</i>	21	<i>Máquinas e Implementos Agrícolas</i>
2	<i>Soja</i>	22	<i>Outras Máquinas e Equipamentos</i>
3	<i>Milho</i>	23	<i>Material elétrico</i>
4	<i>Fruticultura</i>	24	<i>Equipamentos Eletrônicos</i>
5	<i>Outras Culturas</i>	25	<i>Automóveis</i>
6	<i>Aves</i>	26	<i>Caminhões e Ônibus</i>
7	<i>Bovinos</i>	27	<i>Peças e outros Veículos</i>
8	<i>Suínos</i>	55	<i>Indústrias Diversas</i>
9	<i>Outros Pecuária</i>	13	S.I.U.P.
10	<i>Extrativismo Vegetal</i>	56	<i>Prod. de Energia Elétrica Hidráulica</i>
11	<i>Silvicultura</i>	62	<i>Distribuição de Energia Elétrica</i>
12	<i>Extrativismo Animal (Pescas)</i>	63	<i>Saneamento e Abastecimento D'Água</i>
2	Mineração e pelotização	64	<i>Coleta e Tratamento de Lixo</i>
13	<i>Extrativa Mineral</i>	14	Produção de energia não hidráulica
3	Petróleo e outros	57	<i>Prod. de Energia Elétrica Óleo Combustível</i>
14	<i>Petróleo e Outros</i>	58	<i>Prod. de Energia Elétrica Carvão</i>
15	<i>Gás natural</i>	59	<i>Prod. de Energia Óleo Diesel</i>
4	Minerais não metálicos	60	<i>Prod. de Energia Elétrica Gás Natural</i>
16	<i>Carvão Mineral</i>	61	<i>Prod. de Energia Outras Fontes</i>
17	<i>Minerais não metálicos</i>	15	Comércio e serviços
5	Metalurgia básica	65	<i>Construção Civil</i>
18	<i>Siderurgia</i>	66	<i>Atacado</i>
19	<i>Metalúrgicos não ferrosos</i>	67	<i>Comércio varejista de combustíveis</i>
20	<i>Outros Metalúrgicos</i>	68	<i>Comércio varejista de veículos, peças e acessórios</i>
6	Papel e celulose	69	<i>Supermercados</i>
28	<i>Indústria da Madeira</i>	70	<i>Outros comércios varejistas</i>
29	<i>Indústria do Mobiliário</i>	76	<i>Serviços de telefonia móvel</i>
30	<i>Fabricação de Celulose e Pasta Mecânica</i>	77	<i>Serviços de telefonia fixa</i>
31	<i>Fabricação de Papel, Papelão e Artefatos de Papel</i>	78	<i>Correios</i>
32	<i>Indústria Editorial e Gráfica</i>	79	<i>Instituições Financeiras</i>
7	Química	80	<i>Saúde Mercantil</i>
35	<i>Outros Elementos Químicos</i>	81	<i>Educação Mercantil</i>
37	<i>Aduos e Fertilizantes</i>	82	<i>Serviços de Alojamento e Alimentação</i>
38	<i>Químicos Diversos</i>	83	<i>Outros Serviços Prestados à Família</i>
39	<i>Farmac. e veterinária</i>	84	<i>Serviços. Prestados à Empresa</i>
40	<i>Artigos plásticos</i>	85	<i>Aluguel de Imóveis</i>
8	Álcool	90	<i>Serviços Privados não Mercantis</i>
34	<i>Álcool</i>	16	Transporte rodoviário
9	Refino de petróleo	71	<i>Transporte Rodoviário</i>
36	<i>Refino do petróleo</i>	17	Outros transportes
10	Têxtil e vestuário	72	<i>Transporte Aéreo</i>
33	<i>Indústria da borracha</i>	73	<i>Transporte Ferroviário</i>
41	<i>Indústria têxtil</i>	74	<i>Transporte Aquaviário</i>
42	<i>Artigos do vestuário</i>	75	<i>Atividades Auxiliares dos Transportes</i>
43	<i>Fabricação calçados</i>		
11	Alimentos e bebidas	18	Administração pública
44	<i>Indústria do Café</i>	86	<i>Saúde Pública</i>
45	<i>Benef. de outros produtos vegetais</i>	87	<i>Educação Pública</i>
46	<i>Abate de Aves</i>	88	<i>Segurança Pública</i>
47	<i>Abate de Bovinos</i>	89	<i>Outros Serviços da Administração Pública</i>
48	<i>Abate de Suínos e Outros</i>		
49	<i>Indústria de Laticínios</i>		
50	<i>Fabricação de Açúcar</i>		
51	<i>Fabricação de Óleos Vegetais</i>		
52	<i>Rações</i>		
53	<i>Outros Produtos Alimentares</i>		
54	<i>Bebidas</i>		

Quadro 1 - Compatibilização dos setores do BEN e da matriz insumo-produto.

Figura 6 – Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional.

Fonte: Brasil (2002)

Na matriz do Balanço Energético, o fluxo de energia de cada fonte primária e secundária é representado por ¹¹

$$\text{OFERTA TOTAL} = \text{PRODUÇÃO} + \text{IMPORTAÇÃO} \pm \text{VARIAÇÃO DE ESTOQUES} \quad (81)$$

$$\text{OFERTA INTERNA BRUTA} = \frac{\text{OFERTA TOTAL} - \text{EXPORTAÇÃO} - \text{ENERGIA NÃO APROVEITADA} - \text{REINJEÇÃO}}{\quad} \quad (82)$$

A energia não aproveitada é aquela parcela que, devido a condições técnicas ou econômicas não é aproveitada. A reinjeção consiste no gás natural que é reinjetado nos poços de petróleo para melhor aproveitamento deste.

A oferta interna bruta pode também ser representada por ¹²

$$\text{OFERTA INTERNA BRUTA} = \frac{\text{TOTAL DA TRANSFORMAÇÃO} + \text{CONSUMO FINAL} + \text{PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM} \pm \text{AJUSTE}}{\quad} \quad (83)$$

As perdas durante as atividades de produção são aquelas que ocorrem nas atividades de produção, transporte, distribuição e armazenamento de energia, tais como as perdas em gasodutos e oleodutos. Não se incluem aqui as perdas nos centros de transformação. Os ajustes dão conta dos eventuais erros estatísticos no processo de ajuste da oferta e consumo de energia provenientes de fontes estatísticas diferentes (Brasil, 2002). No presente trabalho, estas perdas e ajustes foram atribuídas aos setores consumidores utilizando como parâmetro seu consumo final.

Foram consideradas as emissões provenientes do consumo de gás natural, álcool e produtos energéticos originados do refino de petróleo (óleo diesel, óleo combustível, gasolina, querosene, gás liquefeito de petróleo e outras fontes secundárias de petróleo).

¹¹ Diferentemente do que ocorre com a notação utilizada pelo IBGE para as matrizes de insumo-produto, o Balanço Energético Nacional considera o valor absoluto da variação de estoques. Daí que seu valor deve ser acrescido ou subtraído da oferta total conforme o caso.

¹² Da mesma forma que ocorre com a variação de estoques, o Balanço Energético Nacional também considera os ajustes em valores absolutos.

O consumo destes produtos pelos vários setores da economia dá origem a um determinado montante de poluição. A quantidade total de CO₂, medido em toneladas de carbono por tera joule¹³ (tC/TJ), emitida na atmosfera pela utilização destas fontes de energia foi obtida aplicando-se coeficientes de conversão do consumo dos produtos considerados em emissão de CO₂, conforme mostrado na tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de conversão (tC/TJ) de consumo em emissões de CO₂.¹⁴

Refino do petróleo							
Gás Natural	Álcool	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Outras sec. de petróleo
17.2	18.9	20.2	21.1	18.9	17.2	19.6	20.0

O total das emissões geradas na economia foi alocado nas várias células da matriz de insumo-produto por meio de um procedimento que envolveu duas etapas. Primeiramente, partindo-se da hipótese de que a emissão de CO₂ está linearmente relacionada à produção, alocou-se o total das emissões nas seis regiões do modelo utilizando como critério o valor da produção em cada região. Em seguida, procedeu-se a alocação entre os setores, utilizando para tanto a matriz de uso de bens e serviços. Os valores obtidos foram então inseridos na matriz insumo-produto.

Os resultados obtidos da aplicação desta metodologia são apresentados no capítulo seguinte.

¹³ 1 TJ corresponde a 10¹² joules. O joule é utilizado como medida de trabalho, energia e de quantidade de calor. Em termos formais, o joule é o trabalho produzido por uma força de 1 Newton cujo ponto de aplicação se desloca 1 metro na direção da força (Brasil, 2002, p. 105).

¹⁴ SEROA DA MOTTA, R. (IPEA, Diretoria de Estudos Macroeconômicos, Brasília). Comunicação pessoal, 2003.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo trata da apresentação dos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior. Antes, porém, a primeira seção apresenta um breve panorama do consumo de energia no Brasil a fim de contextualizar a análise que é feita na sequência.

A segunda seção trata de analisar a intensidade de carbono na economia brasileira em termos do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo, mostrando os efeitos diretos, indiretos e induzidos nas emissões de um aumento na demanda final. Também são mostrados os valores para as elasticidades das emissões em relação a um aumento marginal (em termos percentuais) na demanda final. A partir destas elasticidades são identificados os setores-chave no que se refere às emissões de CO₂.

A terceira seção trata dos efeitos na economia do controle de emissões, seja por intermédio de tetos para emissões em determinados setores, seja por estabelecimento de um imposto sobre as emissões. É feita também uma análise das relações entre o emprego e as emissões no intuito de mostrar o *trade off* existente entre aumento de emissões e aumento de nível de emprego na economia brasileira.

A quarta seção trata dos mesmos aspectos abordados na segunda seção, porém sob um enfoque regional, o qual possibilita verificar as inter-relações entre as seis regiões contempladas pelo modelo de insumo-produto.

De modo semelhante, a quinta seção trata dos efeitos na economia do controle das emissões, abordando, também sob uma ótica regional, os mesmos tópicos da terceira seção.

4.1 Panorama do consumo de energia no Brasil

As fontes renováveis de energia primária e secundária que compõem a matriz energética brasileira são a lenha, o carvão vegetal, a energia hidráulica, o bagaço e o álcool de cana-de-açúcar.

Até o início da década de 1970, a principal fonte de energia do país (medida em milhões de toneladas equivalentes de petróleo - *Mtep*) era a lenha extraída de florestas nativas e destinada para a produção de carvão vegetal e para o consumo do setor residencial (cozimento de alimentos), industrial (geração de vapor e calor direto) e agropecuário (secagem de grãos). Naquela década a lenha representava 42,5%, o petróleo 34% e a energia hidráulica 15,6% da oferta interna bruta de energia (Rosa et al., 2002).

A exaustão das florestas nativas próximas aos mercados consumidores e o surgimento de outras fontes fizeram com que a participação da lenha na matriz energética diminuísse e já no final daquela mesma década a energia hidráulica tornou-se a principal fonte primária de energia. No período que vai de 1970 a 1994, o consumo de lenha destinado à conversão em carvão vegetal se expandiu em 190%, enquanto seu consumo final, na forma primária, sofreu uma redução de 50% (Rosa et al., 2002).

A cana-de-açúcar tornou-se uma importante fonte primária de energia a partir de 1975 com a criação do Programa Nacional do Álcool, o qual incrementou a produção de álcool hidratado para uso automotivo. O consumo atingiu seu pico em 1989, quando os automóveis movidos a álcool chegaram a participar com 90% das vendas de veículos leves novos. Além do álcool, o bagaço da cana-de-açúcar também se tornou uma fonte importante no consumo energético final nacional (Rosa et al., 2002).

No que diz respeito às fontes primárias não renováveis empregadas no país destaca-se o petróleo, o gás natural, o carvão mineral e, em menor medida, o urânio.

O aumento da utilização do petróleo no Brasil ocorreu por conta da expansão do parque industrial nacional e da opção pelo transporte rodoviário no escoamento da produção e nos transportes de massa e individual. A utilização do carvão mineral compreende o carvão vapor, utilizado predominantemente na

geração termelétrica e na indústria e o carvão metalúrgico que, como o nome indica, é destinado à siderurgia (Rosa et al., 2002).

O urânio é utilizado como combustível nuclear nas usinas Angra I e Angra II. Assim como o urânio, o gás natural participava timidamente da matriz energética, correspondendo, em 1999, a cerca de 4,13% da oferta interna bruta de energia. Ele é consumido nos setores residencial, industrial e para geração de energia termelétrica (Rosa et al., 2002).

A composição da oferta interna bruta de energia primária e energia secundária pode ser observada na figura 7.

Figura 7 - Composição da oferta interna bruta de energia primária e secundária no Brasil em 1999.

Fonte: Brasil (2002)

No que se refere ao consumo, uma grande parte da produção de energia primária é destinada aos centros de transformação, onde é convertida em uma ou mais formas de energia secundária. Porém, nem todo combustível consumido no país destina-se ao uso energético. Uma pequena parte dele é utilizado como insumo na produção de produtos não energéticos, tais como a nafta, o asfalto e os

lubrificantes. Por conta disto, o consumo final de energia é dividido em consumo final energético e não energético. O perfil do consumo final energético no Brasil é mostrado figura 8.

Figura 8 - Consumo final de energia primária e secundária no Brasil em 1999.

Fonte: Brasil (2002)

A energia secundária consumida é predominantemente originada de derivados de petróleo, seguido pelo consumo de eletricidade.

Quanto a esta última, cabe ressaltar uma característica peculiar do sistema energético brasileiro. Enquanto que no mundo a eletricidade é gerada principalmente por usinas termelétricas movidas a carvão mineral, no Brasil mais de 92% da energia provém de usinas hidrelétricas. Desta forma, o país acaba por se destacar em relação ao padrão energético mundial tanto pela maior utilização de energias renováveis, quanto pela geração de eletricidade.

A figura 9 mostra que no caso brasileiro, o consumo de energia com origem em fontes renováveis é praticamente o dobro do padrão mundial, embora o consumo de energia com origem no petróleo seja praticamente igual ao padrão internacional.

Figura 9 - Composição do consumo de energia no Brasil e no mundo.

Fonte: Brasil (2002)

No que se refere ao consumo de energia que origina as emissões analisadas neste trabalho, a figura 10 mostra a evolução do consumo dos derivados de petróleo (óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP e querosene), do álcool e do gás natural ao longo da década de 1990. Nota-se que o gás natural experimentou um crescimento mais acentuado a partir da segunda metade do período.

Figura 10 – Evolução do consumo final de energia no Brasil.

Fonte: Brasil (2002)

Nos anos imediatamente seguintes a estabilização econômica, o maior crescimento da economia brasileira¹⁵ parece ter impulsionado o consumo de todas as fontes de energia aqui consideradas, não obstante o posterior arrefecimento da atividade econômica no final da década parece ter afetado mais o consumo de derivados de petróleo.

Quando se compara a evolução da utilização destes combustíveis com a evolução do PIB real do período outra informação aparece. A figura 11 mostra o consumo final de energia descontado da taxa de crescimento anual do produto. Nota-se um expressivo crescimento na utilização do gás natural, mas também uma queda relativa na utilização do álcool.

Figura 11 – Taxas reais de crescimento do consumo de energia em relação ao crescimento do PIB no Brasil na década de 1990.

É a partir desta estrutura de utilização de gás natural, derivados de petróleo e álcool observada em 1999 que a seção seguinte investiga a intensidade de carbono na economia brasileira, os efeitos diretos, indiretos e induzidos de variações na demanda final sobre as emissões e a elasticidade das emissões, identificando os setores-chave no que se refere às emissões. A seção também mostra os efeitos de

duas destas políticas na economia, além de avaliar o *trade off* existente entre geração de emprego e poluição.

4.2 A intensidade de carbono na economia brasileira

Esta seção trata de analisar a intensidade de carbono na economia brasileira, mensurando inicialmente os efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre as emissões de um aumento na demanda final. Em seguida quantificam-se as elasticidades das emissões, isto é, os efeitos de uma variação percentual da demanda final sobre as emissões. A partir delas, a terceira subseção identifica os setores-chave na emissão de CO₂.

4.2.1 Efeitos direto, indireto e induzido nas emissões de um aumento na demanda final

De acordo com o IBGE (2003b), no ano de 1999 a Agropecuária representou 8,25% do valor adicionado a preços básicos, a Indústria 34,62% e os Serviços 60,86%. As relações interindustriais, medidas pelo consumo intermediário que deram origem a estes números são mostradas na figura 12, considerando os 18 setores enumerados no capítulo anterior.

¹⁵ O período de maior crescimento do PIB na década de 1990 ocorreu entre 1993 e 1995. Nestes anos o crescimento do PIB foi da ordem de 4,92%, 5,85% e 4,22%, respectivamente (IPEA, 2004).

Figura 12 – Matriz de relações interindustriais do Brasil em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

No entanto, mais interessante que observar apenas os valores absolutos das transações interindustriais, medidos em unidades monetárias, é verificar a dependência tecnológica entre os setores, expressa pelos coeficientes técnicos.

A figura 13 mostra estes coeficientes, refletindo a forte dependência relativa dos demais setores em relação ao setor Comércio e Serviços.

Figura 13 – Matriz dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

Para avaliar a relação desta estrutura de produção com as emissões originadas do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo, foi realizada uma simulação de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final.

A figura 14 mostra que as emissões adicionais totais na economia. Considerando que a média por setor é da ordem de 200 toneladas de CO₂ adicionais, pode-se observar que os setores Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo são aqueles que mais contribuem para o total.

Figura 14 – Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

Desagregando-se as emissões totais por combustível utilizado, os resultados mostraram que maior parte do efeito total nas emissões é originada do consumo de derivados de petróleo (figura 15). Dado que a média das emissões adicionais de gás

natural, álcool e derivados de petróleo é de 19 toneladas, 8,3 toneladas e 173 toneladas de CO₂, respectivamente, são basicamente os mesmos setores enumerados acima aqueles que mais contribuem para estes valores.

Figura 15 – Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) por combustível utilizado de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

Não obstante, para efeitos de política é necessário efetuar uma análise de processo. As emissões adicionais totais, mostradas nas figuras 14 e 15, representam o **resultado** desta análise. Um determinado setor que aparece com um volume de emissões importante pode não ser o responsável direto por elas, ou seja, as emissões adicionais geradas pelo aumento da produção para atender a um aumento na demanda final são inferiores, por exemplo, às geradas pelo aumento da produção para atender ao consumo dos demais setores, os quais também necessitam atender a esta demanda final maior.

Logo, é importante avaliar não apenas os efeitos totais, mas identificar os efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre as emissões causados por uma variação de R\$ 1 milhão na demanda final, levando em conta cada uma das categorias de combustíveis analisadas. Esta análise torna possível atribuir as emissões aos seus verdadeiros responsáveis, ou seja, demanda final (efeito direto), consumo

intermediário (efeito indireto) e consumo das famílias originado da sua interação com a atividade econômica (efeito induzido).

No caso do gás natural, as emissões adicionais dos setores Mineração e Pelotização, Minerais não Metálicos, Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes são determinadas na sua maior parte pelo consumo intermediário. Em outras palavras, nestes setores não é a produção adicional para atender diretamente o aumento da demanda final o que determina as emissões e sim aquela parcela da produção adicional destinada aos demais setores, os quais utilizam o produto destes setores para aumentar a sua produção a fim de atender ao aumento inicial da demanda final. Nos demais setores, excetuando o setor Refino de Petróleo, é o consumo das famílias que parece determinar a maior parte das emissões adicionais. Ocorre que o aumento da produção da economia para atender ao aumento da demanda final faz aumentar a renda das famílias, as quais passam também a consumir mais e a produção destinada a satisfazer este aumento do consumo é a responsável maior pelas emissões adicionais nestes setores.

Figura 16 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de gás natural.

Fonte: dados da pesquisa.

No caso do álcool, o primeiro resultado relevante é que o volume das emissões é menor que no caso do gás natural (figura 17). No entanto, isto pode ser parcialmente explicado pelo fato do álcool ter um coeficiente de emissão menor, conforme mostrado na tabela 5 do capítulo anterior e não por eventuais abatimentos de emissão por seqüestro de carbono, na medida em que o presente trabalho não considera este efeito proporcionado pela cana-de-açúcar.

Em geral, os resultados indicaram que as emissões adicionais totais originadas do consumo do álcool são predominantemente causadas pelo efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias, o qual tem um impacto mais forte nos setores Petróleo e Outros, Álcool e Administração Pública.

Figura 17 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de álcool.

Fonte: dados da pesquisa.

Para as emissões com origem no consumo de derivados de petróleo, verificou-se o predomínio das emissões devidas ao efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias. Porém, nos setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes é a produção adicional

destinada diretamente a satisfazer a demanda final que mais influencia as emissões (figura 18).

Figura 18 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de derivados de petróleo.

Fonte: dados da pesquisa.

Em resumo, o modelo indicou que as emissões de CO₂ originadas do consumo de gás natural nos setores de mineração, produção de energia não hidráulica e transportes são mais influenciados pelo consumo intermediário. Nos demais setores, excetuando Refino de Petróleo, é o efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias que parece determinar a maior parte das emissões adicionais. As emissões adicionais totais originadas do consumo do álcool são predominantemente causadas por este mesmo efeito e as emissões com origem no consumo de derivados de petróleo também, exceto nos setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes onde a produção adicional destinada diretamente a satisfazer a demanda final determina as emissões.

Não obstante, esta análise foi feita a partir de uma variação da demanda final em termos monetários e é possível complementá-la por meio da quantificação das elasticidades de emissão, ou seja, das emissões resultantes de uma variação **percentual** na demanda final. Isto é feito na subseção seguinte.

4.2.2 Elasticidades de emissão e identificação dos setores-chave

Conforme visto no capítulo anterior, o cálculo das elasticidades utiliza a matriz insumo-produto convencional, onde todos os valores são medidos em unidades monetárias. Embora o procedimento envolva o consumo relativo dos três energéticos aqui considerados, estes valores entram no cálculo como ponderadores e não como valores em unidades físicas.

Deste modo, esta análise tende a apresentar resultados que são semelhantes, porém não idênticos, aos resultados obtidos do cálculo dos efeitos diretos, indiretos e induzidos feito na subseção anterior.

A figura 19 mostra as matrizes de elasticidades das emissões originadas do consumo de gás natural, álcool, derivados de petróleo e total. Os valores de cada um dos elementos das matrizes dos combustíveis citados são encontrados nas tabelas 5, 6 e 7.

Figura 19 – Matrizes das elasticidades das emissões.

Fonte: dados da pesquisa.

O cálculo das elasticidades fornece uma matriz na qual cada elemento de uma determinada coluna mostra a parcela do impacto direto e indireto de um aumento de um ponto percentual na demanda final pela produção de um setor específico em cada um dos setores. Logo, a soma dos elementos de uma dada coluna permite identificar o impacto total nas emissões, ou seja, o efeito nas emissões da economia gerado por um aumento de um ponto percentual na demanda final de um dado setor.

De modo semelhante, cada elemento de uma determinada linha da matriz de elasticidades representa a contribuição de um dado setor no aumento das emissões do setor analisado e a soma ao longo de uma dada linha fornece o impacto distributivo, ou seja, a emissão que seria gerada em um setor caso a demanda final de cada um dos setores fosse aumentada em um ponto percentual.

Um exame da figura 19 mostra que, para o caso do gás natural, os impactos distributivos superam em muito os impactos totais. Dito de outra forma, pela ótica das elasticidades, as emissões de CO₂ derivadas do consumo de gás natural devem-se muito mais à demanda final que ao consumo intermediário.

No que se refere às elasticidades de emissão do uso do álcool, o leitor deve estar atento para o fato de que a avaliação fica prejudicada pela precariedade das informações sobre sua utilização nos vários setores da atividade econômica, dado que o Balanço Energético Nacional atribui a totalidade da utilização deste energético ao setor Transporte Rodoviário. Por outro lado, a Tabela de Usos de Bens e Serviços do IBGE concentra mais de 80% do uso do álcool no setor Comércio¹⁶.

Dada a informação disponível, optou-se por utilizar a estrutura de consumo do álcool da Tabela de Usos do IBGE. Tal estrutura resultou na matriz de elasticidades apresentada na figura 19 e detalhada na tabela 6. A maior elasticidade das emissões encontra-se no setor Comércio e Serviços predominantemente pelo fato da atividade de comércio varejista de combustíveis estar ali incluída.

Isto posto, percebe-se também neste caso que os impactos distributivos superaram os impactos totais, de sorte que a demanda final parece determinar as emissões adicionais de CO₂.

No caso das emissões com origem nos derivados de petróleo, os resultados revelaram uma concentração maior das elasticidades no canto inferior direito da matriz, mais precisamente nos setores Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Outros Transportes e Administração Pública. Pode-se perceber também que os impactos tanto totais quanto distributivos estão mais distribuídos na economia por conta da ampla utilização deste insumo.

¹⁶ Considerando a existência dos 42 setores-padrão utilizados pelo Instituto.

Tabela 5. Matriz das elasticidades das emissões em relação ao consumo de gás natural.

	Agropec.	Min. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metal.	Metalurg .	Papel e Celulose	Química	Álcool	Ref. de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alim. e Bebidas	Outros Produtos	S.I.U.P.	Prod. Energia não Hidraul.	Com. e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Admin. Pública
Agropecuária	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Min. e Pelotização	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Min. não Metálicos	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Metalurgia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Papel e Celulose	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Química	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Álcool	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Refino de Petróleo	0,04375	0,00692	0,00001	0,00341	0,01195	0,01789	0,05513	0,00201	0,09587	0,04427	0,08467	0,05446	0,00590	0,00203	0,41116	0,07556	0,02771	0,05591
Têxtil e Vestuário	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Alimentos e Bebidas	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Outros Produtos	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S.I.U.P.	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Prod. Energia não Hidráulica	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00004	0,00003	0,00002	0,00000	0,00001	0,00003	0,00010	0,00009	0,00013	0,00045	0,00031	0,00001	0,00001	0,00013
Comércio e Serviços	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Transp. Rodoviário	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Outros Transportes	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Admin. Pública	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 6. Matriz das elasticidades das emissões em relação ao consumo de álcool.

	Agropec.	Min. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metal.	Metalurg .	Papel e Celulose	Química	Álcool	Ref. de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alim. e Bebidas	Outros Produtos	S.I.U.P.	Prod. Energia não Hidraul.	Com. e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Admin. Pública
Agropecuária	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Min. e Pelotização	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Min. não Metálicos	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00004	0,00000	0,00000	0,00000
Metalurgia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00006	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00005	0,00000	0,00000	0,00006	0,00000	0,00000	0,00001
Papel e Celulose	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00029	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001	0,00004	0,00003	0,00000	0,00000	0,00016	0,00000	0,00000	0,00006
Química	0,00098	0,00004	0,00000	0,00002	0,00015	0,00029	0,00422	0,00004	0,00004	0,00030	0,00136	0,00066	0,00002	0,00000	0,00215	0,00013	0,00006	0,00070
Álcool	0,00007	0,00001	0,00000	0,00000	0,00002	0,00004	0,00008	0,00194	0,00002	0,00005	0,00023	0,00014	0,00002	0,00000	0,00415	0,00007	0,00002	0,00034
Refino de Petróleo	0,00057	0,00009	0,00000	0,00004	0,00016	0,00023	0,00072	0,00003	0,00125	0,00058	0,00110	0,00071	0,00008	0,00003	0,00535	0,00098	0,00036	0,00073
Têxtil e Vestuário	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00009	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
Alimentos e Bebidas	0,00017	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00002	0,00005	0,00001	0,00000	0,00004	0,00657	0,00003	0,00000	0,00000	0,00066	0,00001	0,00001	0,00017
Outros Produtos	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00045	0,00000	0,00000	0,00008	0,00001	0,00000	0,00002
S.I.U.P.	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00003	0,00002	0,00002	0,00000	0,00000	0,00002	0,00008	0,00006	0,00051	0,00000	0,00023	0,00001	0,00001	0,00012
Prod. Energia não Hidráulica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001	0,00003	0,00002	0,00000	0,00000	0,00001
Comércio e Serviços	0,00755	0,00151	0,00000	0,00053	0,00359	0,00562	0,00510	0,00042	0,00110	0,00659	0,02836	0,02135	0,00264	0,00010	0,79522	0,00618	0,00316	0,05635
Transp. Rodoviário	0,00016	0,00001	0,00000	0,00001	0,00005	0,00006	0,00006	0,00001	0,00001	0,00008	0,00051	0,00021	0,00001	0,00000	0,00097	0,00364	0,00007	0,00025
Outros Transportes	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00002	0,00001	0,00002	0,00000	0,00001	0,00001	0,00007	0,00005	0,00000	0,00000	0,00026	0,00005	0,00043	0,00008
Admin. Pública	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00003	0,00002	0,00000	0,00000	0,00012	0,00000	0,00000	0,00525

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 7. Matriz das elasticidades das emissões em relação ao consumo de derivados de petróleo.

	Agropec.	Min. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metal.	Metalurg	Papel e Celulose	Química	Álcool	Ref. de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alim. e Bebidas	Outros Produtos	S.I.U.P.	Prod. Energia não Hidraul.	Com. e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Admin. Pública
Agropecuária	0,05259	0,00005	0,00000	0,00004	0,00049	0,00158	0,00065	0,00100	0,00004	0,00201	0,04856	0,00101	0,00007	0,00000	0,01114	0,00022	0,00015	0,00432
Min. e Pelotização	0,00039	0,01000	0,00000	0,00017	0,00116	0,00014	0,00039	0,00001	0,00002	0,00010	0,00086	0,00163	0,00004	0,00000	0,00284	0,00007	0,00004	0,00039
Petróleo e Outros	0,00023	0,00004	0,00001	0,00002	0,00006	0,00009	0,00029	0,00001	0,00050	0,00023	0,00045	0,00029	0,00003	0,00001	0,00216	0,00040	0,00015	0,00029
Min. não Metálicos	0,00045	0,00020	0,00000	0,00432	0,00054	0,00032	0,00057	0,00002	0,00007	0,00027	0,00214	0,00252	0,00010	0,00001	0,02211	0,00023	0,00012	0,00229
Metalurgia	0,00023	0,00012	0,00000	0,00005	0,00752	0,00028	0,00031	0,00002	0,00007	0,00023	0,00117	0,00646	0,00010	0,00001	0,00659	0,00019	0,00012	0,00079
Papel e Celulose	0,00020	0,00004	0,00000	0,00004	0,00016	0,01048	0,00031	0,00001	0,00004	0,00029	0,00141	0,00104	0,00007	0,00000	0,00593	0,00015	0,00007	0,00226
Química	0,00145	0,00006	0,00000	0,00003	0,00022	0,00043	0,00624	0,00005	0,00006	0,00044	0,00201	0,00097	0,00003	0,00000	0,00318	0,00019	0,00009	0,00104
Álcool	0,00004	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001	0,00002	0,00005	0,00118	0,00001	0,00003	0,00014	0,00008	0,00001	0,00000	0,00252	0,00004	0,00002	0,00021
Refino de Petróleo	0,00425	0,00067	0,00000	0,00033	0,00116	0,00174	0,00535	0,00020	0,00931	0,00430	0,00822	0,00529	0,00057	0,00020	0,03991	0,00733	0,00269	0,00543
Têxtil e Vestuário	0,00007	0,00001	0,00000	0,00001	0,00004	0,00007	0,00005	0,00000	0,00001	0,00676	0,00033	0,00043	0,00001	0,00000	0,00126	0,00028	0,00006	0,00026
Alimentos e Bebidas	0,00081	0,00001	0,00000	0,00000	0,00003	0,00007	0,00025	0,00006	0,00001	0,00017	0,03037	0,00015	0,00002	0,00000	0,00306	0,00004	0,00006	0,00077
Outros Produtos	0,00009	0,00005	0,00000	0,00001	0,00015	0,00011	0,00009	0,00001	0,00003	0,00011	0,00037	0,01319	0,00013	0,00001	0,00221	0,00019	0,00011	0,00057
S.I.U.P.	0,00027	0,00011	0,00000	0,00005	0,00042	0,00035	0,00028	0,00005	0,00007	0,00033	0,00115	0,00096	0,00766	0,00001	0,00353	0,00014	0,00009	0,00183
Prod. Energia não Hidráulica	0,00020	0,00011	0,00000	0,00004	0,00038	0,00027	0,00021	0,00004	0,00005	0,00026	0,00087	0,00077	0,00116	0,00403	0,00281	0,00010	0,00007	0,00113
Com. e Serviços	0,00080	0,00016	0,00000	0,00006	0,00038	0,00060	0,00054	0,00005	0,00012	0,00070	0,00302	0,00227	0,00028	0,00001	0,08469	0,00066	0,00034	0,00600
Transp. Rodoviário	0,00678	0,00034	0,00000	0,00053	0,00192	0,00266	0,00248	0,00045	0,00027	0,00334	0,02131	0,00868	0,00033	0,00002	0,04019	0,15137	0,00274	0,01041
Outros Transportes	0,00273	0,00132	0,00000	0,00030	0,00214	0,00146	0,00251	0,00015	0,00133	0,00174	0,00815	0,00623	0,00044	0,00004	0,03226	0,00609	0,05327	0,01047
Admin. Pública	0,00014	0,00002	0,00000	0,00001	0,00003	0,00017	0,00008	0,00001	0,00001	0,00006	0,00040	0,00023	0,00003	0,00000	0,00167	0,00006	0,00003	0,07092

Fonte: dados da pesquisa.

A análise dos impactos totais e distributivos da utilização de cada um dos energéticos é feita a partir da soma das colunas e linhas, respectivamente, das matrizes de elasticidades pertinentes.

A soma das linhas nas matrizes de elasticidades (impacto distributivo) revela a emissão de um dado setor causada pelo aumento da produção dos demais setores. A soma das colunas (impacto total) fornece a resposta, em termos de emissões, dos outros setores a um aumento na demanda final pelo produto de um dado setor. Tais efeitos são mostrados na tabela 8.

Tabela 8. Impacto total e impacto distributivo.

Setor	Gás natural		Álcool		Derivados de petróleo	
	Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total	Impacto distributivo
Agropecuária	0,04378	0,00000	0,00957	0,00000	0,07173	0,12391
Min. e Pelotização	0,00693	0,00000	0,00169	0,00000	0,01333	0,01825
Petróleo e Outros	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00526
Min. não Metálicos	0,00341	0,00000	0,00063	0,00007	0,00601	0,03628
Metalurgia	0,01199	0,00000	0,00409	0,00020	0,01680	0,02424
Papel e Celulose	0,01792	0,00000	0,00661	0,00062	0,02084	0,02251
Química	0,05515	0,00000	0,01029	0,01116	0,02065	0,01649
Álcool	0,00201	0,00000	0,00246	0,00721	0,00331	0,00437
Refino de Petróleo	0,09588	0,99861	0,00244	0,01299	0,01201	0,09693
Têxtil e Vestuário	0,04430	0,00000	0,00778	0,00013	0,02136	0,00966
Alimentos e Bebidas	0,08477	0,00000	0,03838	0,00776	0,13092	0,03588
Outros Produtos	0,05454	0,00000	0,02378	0,00060	0,05220	0,01744
S.I.U.P.	0,00603	0,00000	0,00330	0,00115	0,01108	0,01731
Prod. Energia não Hidráulica	0,00248	0,00139	0,00017	0,00011	0,00436	0,01250
Comércio e Serviços	0,41147	0,00000	0,80949	0,94538	0,26806	0,10068
Transp. Rodoviário	0,07557	0,00000	0,01109	0,00611	0,16775	0,25380
Outros Transportes	0,02772	0,00000	0,00413	0,00105	0,06019	0,13063
Admin. Pública	0,05604	0,00000	0,06410	0,00547	0,11937	0,07388

Fonte: dados da pesquisa.

A figura 20 auxilia na interpretação dos dados para o gás natural. Quando se observam as emissões provenientes do uso deste insumo, verifica-se que o impacto distributivo é praticamente todo concentrado no setor Refino de Petróleo e,

em menor medida, no setor de Produção de Energia não Hidráulica. Isto significa que o efeito sobre as emissões da produção adicional para atender a demanda dos demais setores, que precisam satisfazer a nova demanda final, concentra-se nestes setores. De outro lado, o impacto total é relativamente destacado no setor Comércio e Serviços e, em menor intensidade nos setores de Refino de Petróleo, Alimentos e Bebidas, Transporte Rodoviário, Administração Pública, Química e Agropecuária. Tais setores aumentam suas emissões por conta do aumento da produção que atende diretamente a demanda final.

Figura 20 – Impactos total e distributivo (em %) nas emissões de gás natural a partir de um aumento de 1% na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

A figura 21 mostra graficamente os dados obtidos para o consumo de álcool. Como seu consumo está concentrado no setor Comércio e Serviços, é natural que lá também se concentre tanto o impacto total, quanto o impacto distributivo. Em que pese esta restrição da informação, pode-se observar também que os setores

Administração Pública, Alimentos e Bebidas e Outros Produtos aumentam suas emissões predominantemente para atender de forma direta a demanda final.

Figura 21 – Impactos total e distributivo (em %) nas emissões de álcool a partir de um aumento de 1% na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

Os impactos totais sobre as emissões com origem no consumo de derivados de petróleo são maiores nos setores Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Alimentos e Bebidas, Administração Pública e Agropecuária e os distributivos concentram-se nos setores Transporte Rodoviário, Agropecuária, Outros Transportes, Refino de Petróleo e Administração Pública.

Figura 22 – Impactos total e distributivo (em %) nas emissões de derivados de petróleo a partir de um aumento de 1% na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

Embora a simples quantificação dos impactos totais e distributivos permita observar a importância de cada setor no que se refere a emissões adicionais, pode-se relacionar os impactos totais e distributivos em cada setor aos valores medianos da economia no intuito de identificar os setores-chave na emissão de CO₂.

De acordo com a definição apresentada no capítulo anterior, os setores-chave apresentam um efeito total e distributivo maior que os valores medianos da economia, isto é, eles encorajam o aumento da emissão dos outros setores num nível acima dos demais e, ao mesmo tempo, são induzidos a emitir pelos outros setores também num nível relativamente maior.

Considerando as emissões adicionais das três categorias de combustíveis analisadas, os setores-chave para o controle do CO₂ seriam Agropecuária, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos, Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Outros Transportes e Administração Pública (quadro 2).

Os resultados parecem indicar que os setores Agropecuária e Outros Transportes são setores-chave basicamente devido ao consumo de derivados de petróleo. O setor Alimentos e Bebidas parece se destacar por conta do consumo de álcool, enquanto nos demais setores verifica-se uma utilização relativamente maior tanto de derivados de petróleo quanto de álcool. Deve-se observar também que o setor Refino de Petróleo parece ser importante somente quando se considera a emissão com origem no uso do gás natural e o setor Química só é relevante quando se consideram apenas as emissões a partir do uso do álcool.

Setor	Gás natural		Álcool		Derivados de petróleo		Total	
	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.
Agropecuária	1,225	0,000	1,784	0,000	3,457	5,301	1,568	3,457
Min. e Pelotização	0,194	0,000	0,315	0,000	0,642	0,781	0,275	0,642
Petróleo e Outros	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,225	0,000	0,000
Min. não Metálicos	0,096	0,000	0,118	0,084	0,290	1,552	0,126	0,290
Metalurgia	0,335	0,000	0,763	0,243	0,810	1,037	0,412	0,810
Papel e Celulose	0,501	0,000	1,231	0,741	1,005	0,963	0,569	1,005
Química	1,543	0,000	1,917	13,336	0,995	0,705	1,079	0,995
Álcool	0,056	0,000	0,458	8,617	0,160	0,187	0,098	0,160
Refino de Petróleo	2,682	17,975	0,454	15,526	0,579	4,147	1,383	0,579
Têxtil e Vestuário	1,239	0,000	1,449	0,155	1,030	0,413	0,921	1,030
Alimentos e Bebidas	2,371	0,000	7,151	9,277	6,310	1,535	3,185	6,310
Outros Produtos	1,526	0,000	4,430	0,714	2,516	0,746	1,636	2,516
S.I.U.P.	0,169	0,000	0,616	1,375	0,534	0,740	0,256	0,534
Prod. Energia não Hidráulica	0,069	0,025	0,031	0,126	0,210	0,535	0,088	0,210
Comércio e Serviços	11,510	0,000	150,837	1130,101	12,920	4,307	18,667	12,920
Transp. Rodoviário	2,114	0,000	2,067	7,300	8,085	10,858	3,189	8,085
Outros Transportes	0,775	0,000	0,769	1,259	2,901	5,588	1,154	2,901
Admin. Pública	1,568	0,000	11,944	6,544	5,754	3,161	3,003	5,754

Quadro 2 - Identificação de setores-chave com respeito às emissões de CO₂.

Fonte: dados da pesquisa.

Contudo, a formulação de políticas específicas para a redução das emissões por parte destes setores deve atentar para a existência de um *trade off* importante: na medida em que um setor é considerado chave na emissão, ele é assim identificado por ter uma produção que responde mais fortemente a mudanças na demanda final e a mudanças na demanda dos demais setores que também precisam atender a esta nova demanda. Logo, restringir a emissão destes setores significa,

necessariamente, restringir sua produção no curto prazo, o que afetará o produto total da economia de modo mais intenso.

O efeito na economia de algumas políticas de controle de emissões é o assunto da próxima seção.

4.3 Os efeitos do controle de emissões de CO₂

Esta seção analisa os efeitos na economia de eventuais políticas de controle de emissões. A primeira subseção trata dos efeitos da fixação de limites máximos de emissão para cada setor da economia. A subseção seguinte avalia o impacto nos preços do estabelecimento de um imposto sobre as emissões e a terceira subseção analisa o *trade off* existente entre o aumento de emissões e o aumento do emprego na economia.

4.3.1 Os efeitos econômicos de uma restrição do volume das emissões

O modelo de insumo-produto detalhado no capítulo anterior assume que as emissões estão linearmente relacionadas ao nível de produção. Logo, toda e qualquer restrição sobre as emissões necessariamente implicará numa restrição equivalente na produção do setor que sofre a restrição. Neste caso, é indiferente considerar as emissões de gás natural, álcool ou derivados de petróleo.

A análise dos efeitos sobre o produto da imposição de uma restrição sobre o volume máximo de emissões (*emissions cap*) é feita considerando dois casos extremos. Nestes dois casos, a restrição estabelecida é de 1% sobre o nível atual de emissão de um determinado setor¹⁷.

Como toda e qualquer restrição implica numa queda da produção no curto prazo, pode-se considerar a hipótese de que os demais setores produtivos serão capazes de redirecionar a produção, antes destinada ao setor que sofre a restrição, para a demanda final. Deste modo, os efeitos da redução serão suavizados não

¹⁷ Optou-se por este percentual dada a natureza linear do modelo, pois restrições maiores serão apenas múltiplos desta.

haverá impactos intersetoriais na medida em que ele será todo sentido pelo setor que sofre a restrição.

No outro extremo, assume-se que os demais setores não serão capazes de redirecionar sua produção. Logo, os impactos sobre a atividade econômica tendem a ser maiores na medida em que se observa um efeito em cadeia de queda no consumo intersetorial.

Os resultados da simulação sob a primeira hipótese aparecem na figura 23.

Figura 23 – Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 1).

Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar que o impacto em todos os setores é menor que o percentual da restrição e que os efeitos tendem a ser maiores naqueles setores onde as ligações do setor com o restante da economia são mais fortes.

O impacto relativamente maior sobre o setor Comércio e Serviços deve ser ponderado pelo fato, já mencionado, da atividade de comércio varejista de combustíveis está ali inserida. Como este setor revende os insumos gás natural,

álcool e derivados de petróleo para os demais setores e para a demanda final, quando se impõe uma restrição sobre ele o impacto parece ser maior.

Adicionalmente, na tabela 9 é possível observar os valores monetários da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta a restrição na quantidade de máxima de emissão. Assim, na hipótese que a restrição seja imposta ao setor Agropecuária, por exemplo, a demanda deste setor pelos insumos do setor Comércio e Serviços irá diminuir em cerca de R\$ 107 milhões.

Os efeitos sobre o PIB quando a segunda hipótese é considerada são mostrados na figura 24. Embora os efeitos sobre o produto sigam o mesmo padrão observado quando os demais setores podem redirecionar sua produção, a queda no PIB é maior.

Figura 24 – Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 2).

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 9. Valores monetários da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão.

	Agropec.	Min. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metal.	Metalurg.	Papel e Celulose	Química	Álcool	Ref. de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alim. e Bebidas	Outros Produtos	S.I.U.P.	Prod. Energia não Hidrául.	Com. e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Admin. Pública
Agropecuária	-186.623	-139	-2	-1.346	-10.104	-6.918	-3.632	-26.788	-29	-18.798	-458.508	-22.091	-6	-173	-26.404	-1	-191	-19.783
Min. e Pelotiz.	-3.504	-6.243	-102	-7.794	-16.763	-557	-4.691	-4	-252	-122	-1.572	-3.745	-18	-54	-4.951	-5	-4	-145
Petróleo e Outros	-6	-7	-36	-40	-1.607	-1	-37	0	-134.145	0	-3	-5	-96	-21	-16	-4	-2	-1
Min. não Metálicos	-439	-1.390	-733	-32.910	-5.503	-398	-4.214	-17	-645	-109	-5.885	-10.234	-17	-33	-124.634	-3	-3	-2.895
Metalurgia	-2.116	-2.625	-4.029	-4.857	-267.099	-2.280	-8.813	-94	-3.793	-2.407	-13.500	-150.338	-35	-479	-104.856	-431	-1.544	-613
Papel e Celulose	-603	-451	-1.079	-3.763	-4.084	-70.519	-9.364	-193	-3.246	-4.002	-18.633	-10.662	-46	-1.225	-68.910	-1.106	-999	-27.913
Química	-51.443	-1.374	-524	-4.578	-12.704	-10.432	-84.346	-2.608	-17.780	-18.886	-16.037	-30.808	-79	-814	-60.067	-7.462	-4.785	-24.748
Álcool	-186	-14	-4	-42	-60	-69	-1.340	-517	-2.230	-102	-708	-141	-22	-101	-64.046	-534	-137	-412
Refino de Petróleo	-48.716	-5.257	-1.456	-11.408	-9.994	-6.954	-55.098	-1.280	-147.617	-11.237	-11.417	-14.831	-3.535	-4.259	-222.795	-66.605	-34.953	-7.556
Têxtil e Vestuário	-2.672	-528	-140	-614	-1.873	-1.110	-2.632	-33	-774	-141.999	-7.548	-18.215	-43	-348	-39.686	-14.300	-3.647	-4.329
Alimentos e Bebidas	-49.779	-82	-21	-119	-253	-642	-17.021	-4.953	-492	-4.199	-202.684	-718	-66	-125	-95.909	-23	-2.778	-14.364
Outros Produtos	-4.712	-3.974	-3.351	-3.765	-25.842	-8.271	-7.681	-1.945	-6.979	-5.311	-12.158	-152.697	-2.488	-14.519	-137.781	-13.159	-11.865	-19.984
S.I.U.P.	-306	-163	-36	-390	-1.323	-470	-495	-164	-517	-366	-847	-776	-2.694	-4.588	-2.754	-49	-105	-1.074
Prod. Energ. não Hidrául.	-6.234	-3.541	-3.934	-7.916	-25.137	-9.276	-10.076	-3.336	-9.834	-7.308	-17.239	-15.381	-562	-137.276	-53.312	-971	-2.072	-31.812
Comércio e Serviços	-106.053	-13.035	-17.237	-19.035	-51.188	-42.802	-91.039	-3.748	-42.385	-55.257	-128.257	-146.232	-1.050	-29.253	-768.006	-39.474	-32.613	-308.413
Transp. Rodoviário	-17.514	-265	-983	-5.243	-6.121	-2.814	-6.202	-1.393	-419	-4.733	-21.695	-12.449	-8	-211	-46.009	-17.632	-8.175	-7.946
Outros Transportes	-4.507	-3.313	-888	-2.460	-8.186	-1.779	-5.825	-251	-20.263	-1.397	-6.561	-6.444	-24	-663	-38.694	-12.982	-24.196	-10.958
Admin. Pública	-3.771	-624	-1.234	-816	-1.469	-9.631	-3.694	-99	-1.184	-1.494	-7.358	-6.184	-45	-1.150	-41.081	-1.635	-1.352	-23.000

Fonte: dados da pesquisa.

O efeito no consumo intersetorial quando determinado setor enfrenta a restrição e os demais setores têm de absorver a queda na demanda por seus insumos é mostrado nas figuras 25, 26 e 27.

Naturalmente os maiores impactos são observados na demanda do setor que sofre a restrição, atingindo mais fortemente aqueles setores que tem uma ligação maior com este setor. No entanto, as figuras também ilustram o efeito em cadeia mencionado, uma vez que os demais setores são forçados a reduzir sua produção frente a demanda menor do setor sob a restrição.

Outro fato que merece atenção é que a magnitude dos impactos depende da importância relativa do setor em toda a economia e da intensidade de suas ligações intersetoriais. Como a restrição é imposta, em última instância, sob a forma de uma percentual sobre o nível de produção, a queda do produto do setor é ponderada pela importância das ligações intersetoriais.

Figura 25 – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 26 – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 27 – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor.

Fonte: dados da pesquisa.

A comparação entre o nível de atividade sob as duas hipóteses analisadas é mostrada na figura 28. Ali fica claro que os setores mais afetados pela incapacidade de redirecionar sua produção são, além do setor Comércio e Serviços, os setores Alimentos e Bebidas, Administração Pública e Outros Produtos.

Figura 28 – Diferença (em termos absolutos) entre as duas hipóteses de restrição quantitativa.

Fonte: dados da pesquisa.

Além da fixação de níveis máximos de emissão, uma política alternativa de controle poderia ser o estabelecimento de um imposto sobre as emissões. O reflexo disto em termos do aumento de preços é discutido adiante.

4.3.2 Efeitos nos preços de um imposto sobre as emissões

De acordo com o exposto no capítulo anterior, a análise do efeito sobre os preços do estabelecimento de um imposto admite que os preços irão aumentar na mesma proporção da intensidade de carbono dos bens tributados. Dentro da estrutura do modelo de insumo-produto esta hipótese é plausível tendo em vista a função de produção que está na base do modelo. Logo, novamente aqui, trata-se de resultados de curto prazo que irão se alterar na medida em que as empresas passem a adotar tecnologias alternativas.

Se, hipoteticamente, for considerada uma alíquota de R\$ 100,00 por tonelada de carbono emitida, os efeitos sobre os preços dos produtos serão os descritos pela figura 29¹⁸.

Figura 29 – Efeito sobre o preço dos produtos quando se estabelece uma alíquota de R\$ 100 por ton. de carbono emitida.

Fonte: dados da pesquisa.

Como é natural num imposto estabelecido desta maneira, os maiores impactos serão sentidos nos setores onde a intensidade de carbono é maior, ou seja, Produção de Energia não Hidráulica e Transporte Rodoviário. Deve-se notar ainda que esta análise está baseada nos efeitos totais das emissões, ou seja, já leva em conta os *feedbacks* existentes na estrutura de produção. Dito de outra forma, quando o tributo em questão é de fato imposto a um determinado setor ele aumentará o preço do seu produto. Este impacto levará os demais setores a

¹⁸ Novamente aqui optou-se por este valor arbitrariamente no intuito de facilitar a análise, dada a linearidade do modelo.

aumentarem o preço de seus produtos de modo que o setor que inicialmente alterou seu preço por conta do imposto também é afetado indiretamente. Logo, o impacto sobre os preços já contempla os efeitos de realimentação presentes nos vários setores da atividade econômica.

4.3.3 A relação entre o nível de emprego e as emissões

Um outro ponto importante quando se trata da análise das emissões é verificar as suas relações com o emprego na economia. Da mesma forma que acontece com o caso da restrição quantitativa, quando há uma variação na produção de um determinado setor, necessariamente, dadas as hipóteses do modelo de insumo-produto, haverá uma variação no emprego e nas emissões deste mesmo setor. A análise feita a seguir aborda a ligação entre estas duas últimas variáveis.

A figura 30 relaciona o volume total de emissão originado do gás natural, álcool e derivados de petróleo com o emprego em cada um dos setores. Onde esta relação é maior que um, como é o caso dos setores Têxtil e Vestuário, Comércio e Serviços, Agropecuária, Administração Pública, Outros Produtos e Papel e Celulose existem mais empregos por tonelada de carbono emitido. Em outras palavras, a poluição gerada pelas emissões é relativamente intensiva em emprego. No setor Têxtil e Vestuário, por exemplo, existem 6,25 empregos para cada tonelada de carbono emitida.

Nos setores onde o coeficiente emprego por emissão é inferior a unidade, as emissões têm de aumentar num volume maior por emprego gerado. Por exemplo, no caso do setor Química, o coeficiente de emprego por emissões é 0,83. Assim, um emprego adicional significa um aumento de aproximadamente 1,2 tonelada de carbono emitidas.

Figura 30 – Número de empregos por tonelada de carbono emitido.

Fonte: dados da pesquisa.

Não obstante, para efeito de uma eventual política de controle de emissões é útil não apenas conhecer a relação que existe entre o número de empregos e a emissão em um dado setor, mas sim saber como o emprego em cada um dos setores reage a mudanças na economia.

Isto é feito a partir da junção do coeficiente de emprego com as elasticidades das emissões. Conforme já foi visto, a matriz de elasticidades fornece a variação nas emissões provocada por uma variação percentual na demanda final e guarda semelhança com a matriz inversa de Leontief. Enquanto esta última indica os requerimentos diretos e indiretos para a produção de bens e serviços na economia, a primeira indica as emissões diretas e indiretas resultantes da atividade produtiva da economia.

Logo, quando se verifica um aumento de uma unidade monetária na demanda final os elementos da matriz de Leontief informam quanto irá variar a produção dos vários setores. De modo semelhante, quando há uma variação de um

ponto percentual na demanda final, a matriz de elasticidades fornece a emissão adicional verificada em cada setor. Esta emissão adicional por sua vez acarretará uma mudança no emprego numa proporção determinada pelo coeficiente de emprego em relação a emissões.

Esta geração de emprego em relação a variação nas emissões é mostrada na tabela 10, cujos dados deram origem a figura 31.

Tabela 10. Geração de empregos em relação à variação nas emissões de CO₂.

Setor	Gás natural	Álcool	Derivados de petróleo	Total
Agropecuária	0,00023	0,03570	0,18754	0,22347
Min. e Pelotização	0,00004	0,00698	0,00479	0,01181
Petróleo e Outros	0,00000	0,00002	0,00000	0,00002
Min. Não Metálicos	0,00002	0,00247	0,00234	0,00483
Metalurgia	0,00006	0,01667	0,01243	0,02916
Papel e Celulose	0,00009	0,02651	0,02751	0,05412
Química	0,00029	0,02699	0,01295	0,04023
Álcool	0,00001	0,00231	0,00413	0,00644
Refino de Petróleo	0,00050	0,00509	0,00141	0,00700
Têxtil e Vestuário	0,00023	0,03110	0,05506	0,08639
Alimentos e Bebidas	0,00045	0,13894	0,22905	0,36844
Outros Produtos	0,00029	0,09948	0,05502	0,15478
S.I.U.P.	0,00003	0,01232	0,00505	0,01741
Prod. Energia não Hidráulica	0,00002	0,00047	0,00019	0,00067
Comércio e Serviços	0,00216	3,64547	0,48604	4,13367
Transp. Rodoviário	0,00040	0,02926	0,03931	0,06897
Outros Transportes	0,00015	0,01462	0,01041	0,02518
Administração Pública	0,00030	0,27077	0,21331	0,48437

Fonte: dados da pesquisa.

Como pode ser observado, relativizando os resultados para o setor Comércio e Serviços pelas razões já explicitadas, uma política de geração “limpa” de empregos deveria enfocar principalmente os setores Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Agropecuária e Outros Produtos, os quais apresentam uma geração de empregos mais elevada em relação às emissões adicionais.

Figura 31 – Geração de empregos em relação à variação nas emissões de CO₂.

Fonte: dados da pesquisa.

Por outro lado, também é de interesse para a política observar o efeito multiplicador de emprego ligado às emissões, ou seja, os empregos adicionais criados a partir de cada emprego gerado pela mudança nas emissões. Deve ficar claro, portanto, que não se tratam dos multiplicadores de emprego convencionais. O que se está medindo são os empregos adicionais criados a partir dos empregos gerados por conta do aumento de emissões causadas pelo aumento de 1% na demanda final.

Estes multiplicadores são mostrados na tabela 11 e podem ser visualizados com mais clareza com o auxílio da figura 32. Os resultados mostraram que cada emprego criado por conta do aumento de um ponto percentual na demanda final nos setores Refino de Petróleo, Comércio e Serviços (com as ressalvas já feitas acima), Transporte Rodoviário, Administração Pública e Outros Transportes acrescenta, com maior intensidade, novos empregos à economia.

Tabela 11. Multiplicadores de emprego.

Setor	Gás natural	Álcool	Derivados de petróleo	Total
Agropecuária	0,00007	0,01054	0,05540	0,06601
Min. e Pelotização	0,00012	0,02300	0,01578	0,03890
Petróleo e Outros	0,00000	0,00009	0,00002	0,00011
Min. Não Metálicos	0,00005	0,00705	0,00667	0,01377
Metalurgia	0,00007	0,01902	0,01418	0,03327
Papel e Celulose	0,00006	0,01666	0,01729	0,03401
Química	0,00035	0,03238	0,01554	0,04826
Álcool	0,00006	0,01411	0,02525	0,03943
Refino de Petróleo	0,09589	0,97105	0,26842	1,33536
Têxtil e Vestuário	0,00004	0,00498	0,00881	0,01382
Alimentos e Bebidas	0,00038	0,11997	0,19776	0,31811
Outros Produtos	0,00015	0,05199	0,02875	0,08089
S.I.U.P.	0,00009	0,03531	0,01448	0,04988
Prod. Energia não Hidráulica	0,00109	0,02836	0,01127	0,04072
Comércio e Serviços	0,00047	0,79619	0,10615	0,90281
Transp. Rodoviário	0,00189	0,13983	0,18786	0,32959
Outros Transportes	0,00116	0,11677	0,08317	0,20111
Administração Pública	0,00013	0,12211	0,09620	0,21844

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 32 – Multiplicadores de emprego.

Fonte: dados da pesquisa.

Em resumo, de tudo o que foi visto até aqui, os setores que deveriam receber maior atenção dos formuladores de política no que se refere ao controle de

emissões do ponto de vista dos efeitos diretos, indiretos e induzidos seriam Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo.

Sob a ótica das elasticidades os setores-chave são Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Alimentos e Bebidas, Administração Pública, Agropecuária e Outros Produtos.

No entanto, os maiores impactos na atividade econômica de políticas de restrição incidem basicamente sobre os mesmos setores, ou seja, Comércio e Serviços, Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos e Agropecuária. Ademais, no que se refere à geração de empregos, o impacto é mais intenso também nos setores Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos e Agropecuária.

Em outras palavras, há um *trade off* entre restrição de emissões e nível de atividade e entre restrição de emissões e nível de emprego e uma alternativa para minimizar estes problemas pode ser o enfoque regional de políticas, mas para que isto se torne possível é necessário antes analisar as emissões sob esta ótica.

4.4 A intensidade de carbono na economia brasileira sob a ótica regional

Os resultados mostrados até agora representam uma média do que acontece nas várias regiões brasileiras. Buscando uma maior precisão da análise, repetindo o que foi feito para o Brasil como um todo, esta seção verifica a intensidade de carbono em seis regiões brasileiras, quantificando primeiramente os efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre as emissões de um aumento na demanda final. Na sequência, as elasticidades inter-regionais das emissões são calculadas. Também de modo similar ao que foi feito para o Brasil, estimam-se as elasticidades regionais, as quais permitem identificar os setores-chave na emissão de CO₂ em cada uma das seis regiões estudadas.

4.4.1 Efeitos direto, indireto e induzido sob a ótica regional

Vista sob a ótica regional, a distribuição da atividade econômica, observada por meio do consumo intermediário pode ser visualizada na figura 33, a qual evidencia o maior vigor relativo das transações interindustriais existente nas regiões São Paulo e Resto do Sudeste.

Esta concentração, contudo, é menor quando se observa a dependência tecnológica regional, medida por intermédio dos coeficientes técnicos. A figura 34 mostra um padrão relativamente uniforme entre os coeficientes intra-regionais, embora ainda seja possível observar uma maior interdependência entre as regiões São Paulo e Resto do Sudeste.

Figura 33 – Matriz inter-regional de relações interindustriais do Brasil em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 34 – Matriz inter-regional dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

Assim como no caso nacional, foi realizada uma simulação de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final com o objetivo de verificar os impactos nas emissões adicionais sob um olhar regional.

Enquanto a análise nacional mostra qual o impacto sobre as emissões que cada setor exercerá para satisfazer os requerimentos totais (diretos, indiretos e induzidos) necessários para atender a demanda final, a análise regional mostra o impacto nas emissões que cada setor localizado em uma dada região exercerá nos demais setores da sua região e de todas as outras regiões para satisfazer a demanda final.

Em geral, os efeitos totais nacionais (figura 14) constituem os valores médios para o país como um todo e os efeitos regionais estão distribuídos ao redor do valor nacional. Os resultados para o modelo inter-regional mostraram que o efeito total nas emissões de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final parece, em geral, ser mais intenso nos setores da região Nordeste (figura 35).

Figura 35 – Efeito total (em ton. de CO₂ adicionais) nas emissões de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final em cada setor nas seis regiões brasileiras em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

Note-se que não se está afirmando que a região Nordeste seja a região que mais emite CO₂ por si só, mas sim que a variação na produção da região Nordeste para atender à variação na demanda final faz com que ela demande uma produção adicional dos demais setores da sua região e das demais e este aumento no produto destes setores é que exerce um impacto relativamente mais intenso sobre as emissões.

Logo, os resultados parecem indicar que as emissões causadas pelos diferentes setores da atividade econômica nas seis regiões consideradas não dependem da concentração espacial do produto¹⁹. Ao contrário, as emissões parecem ser determinadas pela participação dos insumos energéticos no *mix* de produção dos vários setores de cada região e de eventuais diferenças de tecnologia entre eles.

Desagregando as emissões por energético utilizado e tomando-se o valor nacional como referência, pode-se avaliar quais setores de quais regiões contribuem mais intensamente para o aumento das emissões.

O quadro 3 mostra as emissões totais originadas de cada setor em cada região e a diferença em relação ao valor obtido para o Brasil. Deste modo, todo setor que apresentar valor positivo na coluna diferença estará contribuindo para a elevação do valor médio das emissões totais daquele setor. De igual modo, todo setor cuja diferença foi negativa está emitindo menos que o valor típico do setor na economia.

¹⁹ Em 1999 a região Sudeste era responsável por pouco mais de 58% do produto interno bruto, sendo que apenas o estado de São Paulo concentrava praticamente 35% da riqueza produzida no Brasil. Na região Sul se produzia 17,7% do produto, enquanto Norte, Nordeste e Centro-Oeste eram responsáveis por 4,5%, 13,1% e 6,5%, respectivamente (IBGE, 2003a).

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
Norte	1. Agropecuária	9,55	-1,55	6,29	-0,02	133,00	-2,09	148,84	-3,65
	2. Mineração e pelotização	14,09	-0,33	6,67	0,00	178,59	3,14	199,34	2,80
	3. Petróleo e outros	10,61	-10,87	9,87	-6,43	160,95	-100,46	181,43	-117,77
	4. Minerais não metálicos	10,34	-3,77	5,78	-0,54	139,11	-32,58	155,22	-36,90
	5. Metalurgia	7,12	-2,11	5,44	-0,50	99,27	-12,97	111,83	-15,59
	6. Papel e celulose	8,12	-1,91	6,61	-0,39	116,10	-5,85	130,83	-8,16
	7. Química	4,79	-2,44	4,89	-1,11	69,48	-18,51	79,16	-22,06
	8. Álcool	6,65	-12,44	7,30	-9,94	100,81	-131,39	114,76	-153,77
	9. Refino de petróleo	0,97	-92,07	0,08	-5,75	1,64	-131,69	2,69	-229,50
	10. Têxtil e vestuário	4,98	-2,84	4,23	-1,67	72,19	-22,90	81,39	-27,41
	11. Alimentos e bebidas	8,51	-1,47	6,48	-0,19	115,83	-5,61	130,82	-7,26
	12. Outros produtos	4,82	-2,88	4,46	-1,56	69,78	-23,88	79,06	-28,32
	13. S.I.U.P.	8,80	-0,10	6,49	-0,13	124,07	16,14	139,36	15,91
	14. Produção de energia não hidráulica	61,01	32,61	8,01	1,25	694,45	390,00	763,47	423,86
	15. Comércio e serviços	6,95	-1,92	11,78	-0,77	107,29	-0,67	126,02	-3,36
	16. Transporte rodoviário	28,42	-3,77	8,51	-0,02	357,02	-34,97	393,95	-38,75
	17. Outros transportes	25,08	-0,38	8,01	-0,05	311,94	1,93	345,03	1,50
	18. Administração pública	8,72	-3,79	9,82	-0,43	145,80	-6,46	164,33	-10,70
Nordeste	1. Agropecuária	23,46	12,36	12,29	5,98	231,12	96,03	266,87	114,38
	2. Mineração e pelotização	29,65	15,23	13,56	6,89	288,01	112,56	331,22	134,68
	3. Petróleo e outros	31,47	9,99	19,32	3,02	310,30	48,89	361,09	61,89
	4. Minerais não metálicos	28,81	14,70	13,12	6,80	278,24	106,55	320,17	128,05
	5. Metalurgia	18,92	9,69	10,79	4,85	189,06	76,82	218,77	91,35
	6. Papel e celulose	21,56	11,53	12,66	5,66	211,27	89,32	245,49	106,50
	7. Química	17,12	9,89	10,52	4,52	168,79	80,80	196,43	95,21
	8. Álcool	46,75	27,66	31,51	14,27	458,63	226,43	536,89	268,36
	9. Refino de petróleo	144,51	51,47	17,06	11,23	323,96	190,63	485,53	253,34
	10. Têxtil e vestuário	17,05	9,23	10,44	4,54	168,54	73,45	196,03	87,23
	11. Alimentos e bebidas	20,71	10,73	11,97	5,30	206,37	84,93	239,05	100,97
	12. Outros produtos	20,37	12,67	12,73	6,71	200,72	107,06	233,82	126,44
	13. S.I.U.P.	22,41	13,51	13,46	6,84	219,86	111,93	255,73	132,28
	14. Produção de energia não hidráulica	31,47	3,07	14,00	7,24	302,52	-1,93	347,99	8,38
	15. Comércio e serviços	21,83	12,96	18,74	6,19	216,18	108,22	256,75	127,37
	16. Transporte rodoviário	49,81	17,62	14,98	6,45	473,66	81,67	538,45	105,75
	17. Outros transportes	42,27	16,81	14,47	6,41	402,76	92,75	459,51	115,98
	18. Administração pública	22,88	10,37	14,69	4,44	225,87	73,61	263,44	88,41
Centro-Oeste	1. Agropecuária	9,33	-1,77	3,91	-2,40	114,85	-20,24	128,08	-24,41
	2. Mineração e pelotização	8,71	-5,71	4,12	-2,55	110,42	-65,03	123,25	-73,29
	3. Petróleo e outros	0,67	-20,81	0,83	-15,47	11,43	-249,98	12,93	-286,27
	4. Minerais não metálicos	12,69	-1,42	4,67	-1,65	155,09	-16,60	172,45	-19,67
	5. Metalurgia	7,61	-1,62	5,19	-0,75	104,05	-8,19	116,84	-10,58
	6. Papel e celulose	7,52	-2,51	5,71	-1,29	104,00	-17,95	117,24	-21,75
	7. Química	5,61	-1,62	5,11	-0,89	77,61	-10,38	88,33	-12,89
	8. Álcool	13,97	-5,12	12,74	-4,50	169,84	-62,36	196,55	-71,98
	9. Refino de petróleo	9,00	-84,04	0,53	-5,30	12,55	-120,78	22,08	-210,11
	10. Têxtil e vestuário	6,04	-1,78	5,37	-0,53	84,41	-10,68	95,83	-12,97
	11. Alimentos e bebidas	8,32	-1,66	4,74	-1,93	104,06	-17,38	117,12	-20,96
	12. Outros produtos	5,68	-2,02	5,31	-0,71	81,95	-11,71	92,95	-14,43
	13. S.I.U.P.	5,73	-3,17	4,47	-2,15	81,54	-26,39	91,74	-31,71
	14. Produção de energia não hidráulica	17,54	-10,86	2,90	-3,86	203,45	-101,00	223,89	-115,72
	15. Comércio e serviços	5,68	-3,19	11,72	-0,83	82,44	-25,52	99,84	-29,54
	16. Transporte rodoviário	31,02	-1,17	7,78	-0,75	382,03	-9,96	420,83	-11,87
	17. Outros transportes	26,09	0,63	7,17	-0,89	326,19	16,18	359,45	15,92
	18. Administração pública	8,56	-3,95	8,94	-1,31	132,82	-19,44	150,33	-24,70

Quadro 3 - Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil.

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
São Paulo	1. Agropecuária	8,79	-2,31	4,84	-1,47	96,69	-38,40	110,31	-42,18
	2. Mineração e pelotização	14,55	0,13	5,74	-0,93	158,45	-17,00	178,74	-17,80
	3. Petróleo e outros	4,15	-17,33	2,78	-13,52	45,38	-216,03	52,31	-246,89
	4. Minerais não metálicos	15,69	1,58	5,69	-0,63	170,71	-0,98	192,09	-0,03
	5. Metalurgia	9,56	0,33	5,60	-0,34	107,01	-5,23	122,18	-5,24
	6. Papel e celulose	10,32	0,29	6,54	-0,46	115,73	-6,22	132,59	-6,40
	7. Química	7,26	0,03	5,72	-0,28	81,23	-6,76	94,21	-7,01
	8. Álcool	20,00	0,91	16,66	-0,58	221,20	-11,00	257,86	-10,67
	9. Refino de petróleo	107,09	14,05	6,01	0,18	144,71	11,38	257,81	25,62
	10. Têxtil e vestuário	7,68	-0,14	5,04	-0,86	85,19	-9,90	97,90	-10,90
	11. Alimentos e bebidas	10,15	0,17	6,35	-0,32	115,08	-6,36	131,59	-6,49
	12. Outros produtos	7,89	0,19	5,55	-0,47	88,30	-5,36	101,74	-5,64
	13. S.I.U.P.	8,21	-0,69	5,35	-1,27	90,25	-17,68	103,81	-19,64
	14. Produção de energia não hidráulica	46,12	17,72	6,15	-0,61	494,48	190,03	546,74	207,13
	15. Comércio e serviços	8,53	-0,34	11,62	-0,93	93,98	-13,98	114,13	-15,25
	16. Transporte rodoviário	38,86	6,67	7,86	-0,67	417,54	25,55	464,27	31,57
	17. Outros transportes	29,46	4,00	7,34	-0,72	317,67	7,66	354,48	10,95
	18. Administração pública	12,87	0,36	9,52	-0,73	141,20	-11,06	163,59	-11,44
Resto do Sudeste	1. Agropecuária	10,44	-0,66	5,67	-0,64	136,19	1,10	152,30	-0,19
	2. Mineração e pelotização	14,86	0,44	6,32	-0,35	172,19	-3,26	193,37	-3,17
	3. Petróleo e outros	23,76	2,28	19,26	2,96	311,59	50,18	354,61	55,41
	4. Minerais não metálicos	13,14	-0,97	5,80	-0,52	155,72	-15,97	174,66	-17,46
	5. Metalurgia	8,71	-0,52	5,33	-0,61	106,39	-5,85	120,42	-7,00
	6. Papel e celulose	8,53	-1,50	6,33	-0,67	110,33	-11,62	125,19	-13,80
	7. Química	6,63	-0,60	5,43	-0,57	85,58	-2,41	97,64	-3,58
	8. Álcool	13,41	-5,68	14,14	-3,10	194,52	-37,68	222,08	-46,45
	9. Refino de petróleo	41,94	-51,10	2,95	-2,88	65,09	-68,24	109,98	-122,21
	10. Têxtil e vestuário	6,65	-1,17	5,41	-0,49	87,91	-7,18	99,96	-8,84
	11. Alimentos e bebidas	8,82	-1,16	5,98	-0,69	112,56	-8,88	127,36	-10,72
	12. Outros produtos	6,40	-1,30	5,43	-0,59	84,99	-8,67	96,82	-10,56
	13. S.I.U.P.	6,94	-1,96	5,92	-0,70	95,34	-12,59	108,20	-15,25
	14. Produção de energia não hidráulica	22,64	-5,76	6,53	-0,23	188,72	-115,73	217,89	-121,72
	15. Comércio e serviços	6,95	-1,92	11,40	-1,15	95,43	-12,53	113,78	-15,60
	16. Transporte rodoviário	30,47	-1,72	8,33	-0,20	352,61	-39,38	391,41	-41,29
	17. Outros transportes	25,09	-0,37	7,94	-0,12	291,00	-19,01	324,02	-19,51
	18. Administração pública	9,43	-3,08	9,45	-0,80	140,03	-12,23	158,91	-16,12
Sul	1. Agropecuária	11,94	0,84	6,80	0,49	137,05	1,96	155,79	3,30
	2. Mineração e pelotização	17,68	3,26	7,65	0,98	204,26	28,81	229,59	33,05
	3. Petróleo e outros	25,67	4,19	19,17	2,87	296,72	35,31	341,56	42,36
	4. Minerais não metálicos	16,09	1,98	7,02	0,70	184,76	13,07	207,87	15,75
	5. Metalurgia	10,75	1,52	6,98	1,04	123,70	11,46	141,43	14,01
	6. Papel e celulose	11,27	1,24	7,58	0,58	129,61	7,66	148,46	9,47
	7. Química	7,92	0,69	6,05	0,05	91,36	3,37	105,33	4,11
	8. Álcool	20,46	1,37	17,83	0,59	235,67	3,47	273,96	5,43
	9. Refino de petróleo	99,47	6,43	6,74	0,91	148,30	14,97	254,52	22,33
	10. Têxtil e vestuário	8,83	1,03	6,55	0,65	101,49	6,40	116,86	8,06
	11. Alimentos e bebidas	11,01	1,03	6,96	0,29	126,43	4,99	144,39	6,31
	12. Outros produtos	8,99	1,29	6,91	0,89	103,43	9,77	119,34	11,96
	13. S.I.U.P.	9,67	0,77	7,55	0,93	112,07	4,14	129,29	5,84
	14. Produção de energia não hidráulica	9,57	-18,83	7,10	0,34	111,54	-192,91	128,21	-211,40
	15. Comércio e serviços	10,05	1,18	13,82	1,27	116,11	8,15	139,97	10,59
	16. Transporte rodoviário	37,35	5,16	9,34	0,81	421,53	29,54	468,22	35,52
	17. Outros transportes	28,24	2,78	9,01	0,95	325,85	15,84	363,10	19,57
	18. Administração pública	13,58	1,07	10,98	0,73	157,52	5,26	182,07	7,04

Quadro 3 - Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil.

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados indicaram que as emissões totais estão concentradas nos setores da região Nordeste e Sul. São elas que contribuem com mais intensidade para a elevação das emissões. Nas demais regiões, apenas setores específicos tendem a ser responsáveis por emissões acima do valor médio do setor na economia como um todo. Na região Norte, destaca-se a Produção de Energia não Hidráulica; no Centro-Oeste o setor Outros Transportes; na região São Paulo, os setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário, Refino de Petróleo e Outros Transportes e no Resto do Sudeste aparece o setor Petróleo e Outros.

Mais que destacar os setores, a responsabilidade final sobre as emissões em cada setor é mais útil ao formulador de política. Tendo isto em vista, o trabalho mensurou o efeito nas emissões adicionais totais do aumento da produção destinado a atender diretamente a demanda final (efeito direto), ao consumo intermediário (efeito indireto) e ao consumo das famílias (efeito induzido).

No caso do uso do gás natural, a concentração dos efeitos diretos no setor Refino de Petróleo, mostrada na figura 16, é devida às regiões Nordeste, São Paulo e Sul (figura 36). Os resultados nacionais também mostraram que os efeitos originados da produção realizada para atender ao consumo interindustrial eram mais concentrados nos setores de produção de energia não hidráulica e transportes. No caso da produção de energia, a maior concentração tem origem na região Norte, seguida da região Nordeste. No caso dos transportes, o quadro se mostrou mais homogêneo, sem o predomínio acentuado de nenhuma região. No entanto, as emissões adicionais geradas por conta do efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias têm um padrão de concentração maior no Nordeste em todos os setores.

Figura 36 – Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de gás natural.

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados nacionais das emissões adicionais para o uso de álcool mostraram a importância relativa do efeito do consumo das famílias (figura 17). Os efeitos diretos localizavam-se basicamente nos setores Álcool e Comércio e Serviços. Vistos sob a ótica regional, os resultados revelam que não há também aqui uma região que apresente um predomínio destacado em relação as demais (figura 37).

As emissões adicionais causadas pela produção que atende ao consumo intermediário também não podem ser atribuídas de modo mais destacado a nenhuma região específica, exceto no caso do setor Petróleo e Outros, onde se observa a influência importante das regiões Resto do Sudeste e Sul.

Figura 37 – Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de álcool.

Fonte: dados da pesquisa.

Para as emissões originadas do consumo de derivados de petróleo, os efeitos diretos estavam mais concentrados no setor Transporte Rodoviário, Produção de Energia não Hidráulica e Outros Transportes. Para o caso dos transportes, os resultados mostraram, tal como observado no caso do álcool, que não há uma região que possa ser apontada como responsável principal pelas emissões. No caso da produção de energia, os efeitos diretos nas emissões encontram origem maior nas regiões Norte e Nordeste (figura 38). Para os efeitos do consumo intermediário, as considerações são idênticas.

Figura 38 – Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de derivados de petróleo.

Fonte: dados da pesquisa.

Os dados tal como apresentados até aqui permitem observar os efeitos diretos, indiretos e induzidos com uma visão mais panorâmica, isto é, a partir deles pode-se inferir a magnitude deste impacto tanto em relação aos mesmos setores das demais regiões quanto aos outros setores de toda a economia.

Os mesmos dados podem ser reorganizados com o objetivo de mostrar para cada setor em cada região a importância dos efeitos diretos indiretos e induzidos. Isto é feito nas tabelas 12 a 14, as quais deram origem as figuras 39 a 41.

Tabela 12. Efeitos direto, indireto, induzido e total (em ton. de CO₂ adicionais) nas regiões Norte e Nordeste.

Setor	Gás				Alcool				Derivados de petróleo				
	Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total	
NORTE	1. Agropecuária	0,000	4,165	5,382	9,546	0,000	0,618	5,670	6,288	30,052	20,040	82,912	133,004
	2. Miner. e Pelotização	0,000	8,750	5,340	14,091	0,000	1,204	5,461	6,665	68,788	29,884	79,913	178,586
	3. Petróleo e Outros	0,000	2,945	7,667	10,612	0,000	1,249	8,625	9,874	19,667	15,053	126,227	160,946
	4. Min. não Metálicos	0,000	5,587	4,751	10,338	0,009	0,625	5,143	5,777	40,555	23,232	75,322	139,109
	5. Metalurgia	0,000	2,688	4,431	7,119	0,012	0,732	4,696	5,440	9,513	21,068	68,692	99,273
	6. Papel e Celulose	0,000	2,839	5,282	8,121	0,028	0,889	5,689	6,606	13,983	18,973	83,146	116,102
	7. Álcool	0,000	1,368	3,419	4,787	0,581	0,630	3,682	4,893	4,986	10,676	53,823	69,485
	8. Refino de petróleo	0,000	2,054	4,600	6,653	1,803	0,387	5,106	7,296	10,035	16,047	74,730	100,812
	9. Química	0,899	0,019	0,054	0,972	0,008	0,008	0,061	0,077	0,574	0,172	0,895	1,641
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	1,716	3,263	4,979	0,008	0,650	3,568	4,226	6,853	13,138	52,196	72,186
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	3,315	5,191	8,505	0,233	0,959	5,290	6,482	7,493	31,058	77,278	115,828
	12. Outros produtos	0,000	1,188	3,634	4,822	0,006	0,593	3,857	4,455	3,479	9,915	56,387	69,780
	13. S.I.U.P.	0,000	3,809	4,992	8,801	0,146	0,972	5,377	6,495	20,763	24,645	78,658	124,065
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	0,000	52,969	8,040	61,009	0,000	1,098	6,914	8,012	485,013	107,418	102,015	694,446
	15. Comércio e Serviços	0,000	1,435	5,514	6,949	4,842	0,794	6,145	11,781	5,737	11,656	89,900	107,294
	16. Transporte Rodoviário	0,000	21,615	6,801	28,416	0,575	1,155	6,780	8,510	219,273	38,224	99,526	357,024
	17. Outros Transportes	0,000	18,400	6,676	25,076	0,105	1,160	6,749	8,014	170,531	42,408	98,998	311,937
	18. Admin. Pública	0,000	0,949	7,772	8,720	0,089	0,870	8,857	9,816	9,323	6,892	129,581	145,796
NORDESTE	1. Agropecuária	0,000	5,916	17,542	23,458	0,000	0,715	11,576	12,291	34,157	22,305	174,656	231,119
	2. Miner. e Pelotização	0,000	11,031	18,622	29,653	0,000	1,262	12,300	13,562	70,713	31,656	185,640	288,009
	3. Petróleo e Outros	0,000	4,329	27,137	31,466	0,000	1,499	17,823	19,322	22,490	18,668	269,147	310,305
	4. Min. não Metálicos	0,000	10,288	18,520	28,809	0,012	0,967	12,139	13,118	56,617	38,229	183,399	278,245
	5. Metalurgia	0,000	4,470	14,449	18,919	0,006	1,089	9,695	10,790	10,618	32,550	145,890	189,058
	6. Papel e Celulose	0,000	4,203	17,357	21,560	0,058	1,215	11,386	12,659	16,346	22,933	171,989	211,267
	7. Álcool	0,000	3,063	14,055	17,118	0,345	0,910	9,270	10,524	10,369	18,544	139,879	168,792
	8. Refino de petróleo	0,000	8,639	38,116	46,755	5,273	1,251	24,984	31,508	29,351	51,848	377,430	458,630
	9. Química	111,130	10,414	22,965	144,509	1,037	0,939	15,081	17,058	71,008	25,150	227,804	323,962
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	2,821	14,227	17,047	0,011	1,039	9,389	10,439	6,957	19,944	141,641	168,542
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	4,776	15,929	20,705	0,203	1,141	10,627	11,971	8,926	37,456	159,988	206,370
	12. Outros produtos	0,000	2,511	17,855	20,366	0,011	1,011	11,712	12,734	5,466	18,317	176,935	200,717
	13. S.I.U.P.	0,000	3,030	19,379	22,409	0,101	0,685	12,678	13,463	14,517	13,734	191,606	219,856
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	0,000	10,246	21,228	31,474	0,000	0,195	13,801	13,996	83,740	9,925	208,852	302,517
	15. Comércio e Serviços	0,000	2,027	19,803	21,830	4,885	0,846	13,006	18,737	6,109	13,653	196,418	216,180
	16. Transporte Rodoviário	0,000	30,047	19,768	49,814	0,605	1,361	13,015	14,980	230,603	46,605	196,448	473,656
	17. Outros Transportes	0,000	22,386	19,888	42,274	0,130	1,285	13,060	14,475	159,965	45,554	197,244	402,764
	18. Admin. Pública	0,000	2,256	20,625	22,880	0,108	1,089	13,496	14,692	12,238	9,666	203,967	225,872

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 13. Efeitos direto, indireto, induzido e total (em ton. de CO₂ adicionais) nas regiões Centro-Oeste e São Paulo.

	Setor	Gás				Alcool				Derivados de petróleo			
		Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total
CENTRO-OESTE	1. Agropecuária	0,000	6,240	3,088	9,328	0,000	1,052	2,857	3,909	45,480	28,622	40,744	114,845
	2. Miner. e Pelotização	0,000	5,713	2,995	8,708	0,000	0,874	3,245	4,119	44,371	20,531	45,520	110,422
	3. Petróleo e Outros	0,000	0,000	0,673	0,673	0,000	0,000	0,826	0,826	0,000	0,000	11,433	11,433
	4. Min. não Metálicos	0,000	9,386	3,308	12,694	0,013	1,224	3,430	4,667	63,085	43,703	48,303	155,092
	5. Metalurgia	0,000	4,066	3,539	7,605	0,011	1,317	3,857	5,185	12,955	37,047	54,048	104,049
	6. Papel e Celulose	0,000	3,574	3,947	7,521	0,032	1,339	4,344	5,715	17,029	26,238	60,736	104,003
	7. Alcool	0,000	2,643	2,970	5,614	0,612	1,258	3,240	5,109	9,907	22,324	45,374	77,606
	8. Refino de petróleo	0,000	8,354	5,619	13,974	5,905	1,642	5,188	12,735	32,870	62,996	73,974	169,840
	9. Química	8,402	0,230	0,370	9,002	0,078	0,080	0,376	0,534	5,368	1,841	5,338	12,547
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	2,218	3,826	6,044	0,010	1,292	4,069	5,372	6,406	20,911	57,097	84,414
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	5,006	3,315	8,321	0,112	1,426	3,204	4,743	9,650	48,983	45,428	104,061
	12. Outros produtos	0,000	2,161	3,524	5,685	0,028	1,381	3,903	5,313	5,760	21,620	54,574	81,954
	13. S.I.U.P.	0,000	2,589	3,140	5,729	0,108	0,787	3,570	4,466	16,697	15,080	49,768	81,545
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	0,000	15,045	2,492	17,537	0,000	0,321	2,579	2,900	149,312	17,807	36,335	203,454
	15. Comércio e Serviços	0,000	1,869	3,811	5,680	6,111	1,329	4,281	11,722	6,371	16,305	59,760	82,436
	16. Transporte Rodoviário	0,000	25,600	5,418	31,018	0,667	1,567	5,545	7,779	254,398	49,432	78,200	382,030
	17. Outros Transportes	0,000	20,843	5,245	26,088	0,131	1,584	5,454	7,169	194,478	54,919	76,792	326,188
	18. Admin. Pública	0,000	2,039	6,525	8,564	0,108	1,170	7,665	8,943	15,665	10,628	106,525	132,818
SÃO PAULO	1. Agropecuária	0,000	3,064	5,721	8,785	0,000	0,473	4,369	4,841	20,514	12,623	63,549	96,686
	2. Miner. e Pelotização	0,000	8,729	5,821	14,550	0,000	1,244	4,495	5,738	64,495	28,549	65,403	158,447
	3. Petróleo e Outros	0,000	1,114	3,032	4,147	0,000	0,478	2,300	2,778	6,583	5,326	33,475	45,384
	4. Min. não Metálicos	0,000	9,783	5,902	15,685	0,013	1,126	4,555	5,694	61,293	43,117	66,303	170,714
	5. Metalurgia	0,000	3,857	5,707	9,564	0,014	1,076	4,511	5,601	11,433	29,927	65,656	107,015
	6. Papel e Celulose	0,000	3,829	6,492	10,321	0,061	1,399	5,083	6,544	17,733	24,124	73,870	115,727
	7. Alcool	0,000	2,364	4,895	7,259	0,824	1,081	3,812	5,718	8,295	17,529	55,406	81,230
	8. Refino de petróleo	0,000	8,085	11,915	20,000	6,108	1,472	9,083	16,663	34,000	54,601	132,600	221,201
	9. Química	93,947	7,779	5,367	107,093	0,877	0,894	4,234	6,005	60,029	22,833	61,848	144,710
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	2,476	5,202	7,678	0,010	1,028	3,997	5,035	7,715	19,310	58,163	85,188
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	4,144	6,010	10,155	0,324	1,271	4,757	6,352	9,826	36,156	69,101	115,083
	12. Outros produtos	0,000	2,220	5,673	7,893	0,018	1,123	4,409	5,549	5,773	18,386	64,141	88,300
	13. S.I.U.P.	0,000	2,032	6,175	8,207	0,085	0,569	4,697	5,351	11,691	10,217	68,341	90,249
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	0,000	39,191	6,927	46,118	0,000	0,843	5,304	6,147	348,206	68,992	77,282	494,480
	15. Comércio e Serviços	0,000	1,288	7,239	8,527	5,253	0,873	5,495	11,621	4,437	9,579	79,961	93,977
	16. Transporte Rodoviário	0,000	31,825	7,040	38,865	0,738	1,725	5,396	7,859	281,266	57,680	78,596	417,542
	17. Outros Transportes	0,000	22,343	7,120	29,464	0,189	1,705	5,450	7,344	181,171	57,146	79,355	317,672
	18. Admin. Pública	0,000	1,846	11,021	12,867	0,097	1,080	8,344	9,521	11,307	8,469	121,428	141,203

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 14. Efeitos direto, indireto, induzido e total (em ton. de CO₂ adicionais) nas regiões Resto do Sudeste e Sul.

Setor	Gás				Alcool				Derivados de petróleo				
	Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total	Direto	Indireto	Induzido	Total	
RESTO DO SUDESTE	1. Agropecuária	0,000	5,423	5,013	10,435	0,000	0,882	4,788	5,670	39,672	27,330	69,190	136,192
	2. Miner. e Pelotização	0,000	9,416	5,449	14,865	0,000	1,278	5,039	6,318	69,678	29,541	72,970	172,190
	3. Petróleo e Outros	0,000	7,111	16,647	23,758	0,000	2,960	16,304	19,264	43,146	33,017	235,425	311,588
	4. Min. não Metálicos	0,000	7,992	5,146	13,138	0,011	0,882	4,909	5,802	52,167	32,538	71,016	155,721
	5. Metalurgia	0,000	4,043	4,665	8,708	0,006	0,940	4,379	5,325	12,262	30,791	63,334	106,387
	6. Papel e Celulose	0,000	3,124	5,409	8,532	0,051	1,136	5,143	6,330	15,079	20,968	74,281	110,329
	7. Álcool	0,000	2,444	4,187	6,631	0,513	0,838	4,079	5,431	11,265	15,408	58,906	85,579
	8. Refino de petróleo	0,000	5,138	8,273	13,411	4,757	1,166	8,221	14,144	26,480	49,385	118,657	194,521
	9. Química	38,039	1,656	2,245	41,940	0,355	0,346	2,254	2,955	24,305	8,255	32,525	65,085
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	2,083	4,563	6,646	0,007	0,949	4,457	5,412	6,438	17,121	64,347	87,906
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	3,915	4,904	8,819	0,223	1,123	4,635	5,981	8,846	36,776	66,938	112,560
	12. Outros produtos	0,000	1,854	4,544	6,398	0,033	0,982	4,419	5,435	4,908	16,260	63,822	84,991
	13. S.I.U.P.	0,000	1,650	5,294	6,944	0,068	0,526	5,325	5,919	9,502	9,003	76,836	95,341
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	5,472	11,367	5,802	22,641	0,297	0,729	5,504	6,531	80,948	28,093	79,676	188,717
	15. Comércio e Serviços	0,000	1,416	5,534	6,950	5,068	0,828	5,506	11,402	5,145	10,814	79,473	95,433
	16. Transporte Rodoviário	0,000	23,481	6,990	30,471	0,574	1,246	6,515	8,334	218,766	39,400	94,441	352,607
	17. Outros Transportes	0,000	18,048	7,038	25,085	0,121	1,213	6,605	7,939	155,066	40,247	95,687	290,999
	18. Admin. Pública	0,000	1,206	8,222	9,428	0,097	1,003	8,348	9,448	11,973	7,631	120,426	140,030
SUL	1. Agropecuária	0,000	4,573	7,365	11,938	0,000	0,762	6,035	6,797	32,205	19,397	85,453	137,055
	2. Miner. e Pelotização	0,000	10,513	7,162	17,675	0,000	1,707	5,948	7,655	84,184	35,972	84,104	204,260
	3. Petróleo e Outros	0,000	5,949	19,719	25,668	0,000	2,943	16,230	19,173	37,719	30,257	228,742	296,718
	4. Min. não Metálicos	0,000	8,975	7,113	16,088	0,013	1,157	5,852	7,021	60,570	41,404	82,789	184,763
	5. Metalurgia	0,000	3,654	7,091	10,745	0,019	1,107	5,851	6,978	12,196	28,265	83,242	123,703
	6. Papel e Celulose	0,000	3,712	7,561	11,273	0,038	1,319	6,220	7,577	16,544	24,908	88,155	129,607
	7. Álcool	0,000	2,255	5,665	7,920	0,437	0,956	4,658	6,051	9,647	15,914	65,798	91,359
	8. Refino de petróleo	0,000	7,369	13,090	20,459	5,613	1,465	10,755	17,834	31,243	52,548	151,875	235,666
	9. Química	86,747	6,662	6,065	99,475	0,809	0,862	5,073	6,744	55,428	20,652	72,221	148,301
	10. Têxtil e Vestuário	0,000	2,276	6,549	8,825	0,013	1,175	5,359	6,547	6,442	19,072	75,973	101,487
	11. Alimentos e Bebidas	0,000	4,205	6,800	11,006	0,120	1,268	5,570	6,957	8,671	38,646	79,113	126,429
	12. Outros produtos	0,000	2,101	6,893	8,994	0,026	1,238	5,651	6,914	5,327	17,966	80,136	103,429
	13. S.I.U.P.	0,000	1,442	8,231	9,673	0,067	0,711	6,770	7,548	8,195	8,433	95,443	112,071
	14. Prod. de Energia não Hidráulica	0,000	1,704	7,867	9,571	0,000	0,629	6,469	7,099	9,991	10,301	91,247	111,538
	15. Comércio e Serviços	0,000	1,529	8,516	10,046	5,772	1,042	7,002	13,816	5,396	11,974	98,741	116,111
	16. Transporte Rodoviário	0,000	28,800	8,552	37,353	0,707	1,683	6,955	9,345	269,606	53,066	98,853	421,525
	17. Outros Transportes	0,000	19,522	8,722	28,244	0,172	1,652	7,185	9,008	173,037	51,334	101,478	325,850
	18. Admin. Pública	0,000	1,957	11,623	13,580	0,109	1,304	9,563	10,976	13,057	9,689	134,770	157,516

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 39 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Norte e Nordeste.

Fonte: dados da pesquisa.

(a) Centro-Oeste

(b) São Paulo

Figura 40 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Centro-Oeste e São Paulo.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 41 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Resto do Sudeste e Sul.

Fonte: dados da pesquisa.

Do ponto de vista da formulação de eventuais políticas de controle de emissões, os resultados revelaram que em todas as regiões elas devem ser atribuídas em última análise aos efeitos do aumento na produção sobre o consumo das famílias, ou seja, é a produção adicional gerada para atender a este consumo que tem um impacto relativamente maior nas emissões adicionais. Portanto, eventuais políticas de controle de emissão deveriam ser concentradas nos produtos de consumo das famílias, principalmente nas regiões Nordeste e Sul.

4.4.2 Elasticidades inter-regionais de emissão e identificação de setores-chave

Do mesmo modo que se procedeu quando da análise das emissões no nível nacional, a análise regional dos efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre as emissões é complementada pelas elasticidades de emissão, resultantes de uma variação de um ponto percentual na demanda final.

As elasticidades inter-regionais com origem no consumo de gás natural, álcool e derivados de petróleo são mostradas na figura 42.

Figura 42 – Matriz inter-regional das elasticidades das emissões.

Fonte: dados da pesquisa.

As matrizes inter-regionais das elasticidades das emissões detalham as matrizes de elasticidades já apresentadas para o caso brasileiro.

Quanto ao gás natural, a matriz de elasticidades para o Brasil (figura 19) mostrava um grande impacto nas emissões originado do setor Refino de Petróleo. A matriz inter-regional de elasticidades revelou que este impacto tem origem nas regiões São Paulo, Nordeste e Sul. Em outras palavras, parece que a demanda final exerce papel importante nas emissões destas três regiões.

No caso da matriz de elasticidades para as emissões originadas do álcool, a matriz para o Brasil revelava a concentração quase total no setor Comércio e Serviços. No caso inter-regional, embora esta concentração se mantenha, pode-se perceber que ela tem origem basicamente na região São Paulo e Resto do Sudeste. Nota-se ainda que o impacto nas emissões é basicamente intra-regional, de tal sorte que a atividade econômica de uma região parece não afetar as emissões de outra.

O impacto nas emissões originadas do consumo de derivados de petróleo estava concentrado no setor Transporte Rodoviário quando se observou o Brasil como um todo. A análise inter-regional mostrou que esta concentração se dá nas regiões São Paulo e Resto do Sudeste. Tal como no caso das elasticidades para as emissões originadas do uso do álcool, a atividade econômica de uma região parece não afetar as emissões de outra.

Em resumo, quando se observa a matriz inter-regional de emissão para os três energéticos verifica-se que seu comportamento parece ser determinado pelas elasticidades de emissão do álcool e dos derivados de petróleo, dada sua maior utilização na economia.

Os efeitos mais abrangentes destas elasticidades são consolidados por intermédio da soma das linhas (impacto distributivo) e das colunas (impacto total) destas matrizes. Conforme já dito anteriormente, as emissões adicionais realizadas pelos demais setores em resposta a um aumento na demanda final pelo produto de um setor específico definem o impacto total. Já a emissão adicional realizada por um determinado setor por conta de um aumento na produção dos demais setores é o chamado impacto distributivo. Estas informações são mostradas na tabela 15.

Tabela 15. Impacto total e impacto distributivo.

			Gás natural		Alcool		Derivados de petróleo	
Setor			Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total	Impacto distributivo
NORTE	1.	Agropecuária	0,00360	0,00000	0,00066	0,00000	0,00577	0,00834
	2.	Mineração e Pelotização	0,00126	0,00000	0,00024	0,00000	0,00231	0,00226
	3.	Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00014
	4.	Minerais não Metálicos	0,00007	0,00000	0,00001	0,00000	0,00011	0,00074
	5.	Metalurgia	0,00039	0,00000	0,00011	0,00000	0,00052	0,00034
	6.	Papel e Celulose	0,00108	0,00000	0,00029	0,00002	0,00121	0,00102
	7.	Química	0,00278	0,00000	0,00042	0,00056	0,00084	0,00053
	8.	Alcool	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	9.	Refino de Petróleo	0,00003	0,00020	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002
	10.	Têxtil e Vestuário	0,00019	0,00000	0,00002	0,00000	0,00008	0,00010
	11.	Alimentos e Bebidas	0,00268	0,00000	0,00105	0,00028	0,00393	0,00099
	12.	Outros Produtos	0,00185	0,00000	0,00062	0,00001	0,00166	0,00067
	13.	S.I.U.P.	0,00066	0,00000	0,00025	0,00011	0,00126	0,00169
	14.	Prod. de energia não Hidr.	0,00122	0,00000	0,00004	0,00000	0,00249	0,00752
	15.	Comércio e Serviços	0,01660	0,00000	0,02802	0,03144	0,01110	0,00406
	16.	Transporte Rodoviário	0,00305	0,00000	0,00037	0,00021	0,00629	0,00884
	17.	Outros Transportes	0,00216	0,00000	0,00023	0,00005	0,00443	0,00848
	18.	Administração Pública	0,00277	0,00000	0,00264	0,00027	0,00543	0,00312
NORDESTE	1.	Agropecuária	0,01073	0,00000	0,00152	0,00000	0,01323	0,01805
	2.	Mineração e Pelotização	0,00009	0,00000	0,00001	0,00000	0,00012	0,00078
	3.	Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00124
	4.	Minerais não Metálicos	0,00042	0,00000	0,00005	0,00001	0,00051	0,00264
	5.	Metalurgia	0,00218	0,00000	0,00052	0,00001	0,00237	0,00249
	6.	Papel e Celulose	0,00074	0,00000	0,00016	0,00002	0,00061	0,00070
	7.	Química	0,00219	0,00000	0,00021	0,00040	0,00066	0,00130
	8.	Alcool	0,00037	0,00000	0,00032	0,00069	0,00043	0,00042
	9.	Refino de Petróleo	0,02855	0,26498	0,00066	0,00345	0,00351	0,02572
	10.	Têxtil e Vestuário	0,00672	0,00000	0,00079	0,00001	0,00266	0,00090
	11.	Alimentos e Bebidas	0,01168	0,00000	0,00380	0,00078	0,01498	0,00372
	12.	Outros Produtos	0,00107	0,00000	0,00024	0,00000	0,00073	0,00025
	13.	S.I.U.P.	0,00177	0,00000	0,00051	0,00018	0,00217	0,00275
	14.	Prod. de energia não Hidr.	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002	0,00004
	15.	Comércio e Serviços	0,08286	0,00000	0,10723	0,11486	0,04648	0,01565
	16.	Transporte Rodoviário	0,01868	0,00000	0,00180	0,00089	0,02919	0,03712
	17.	Outros Transportes	0,00533	0,00000	0,00048	0,00012	0,00820	0,01604
	18.	Administração Pública	0,01065	0,00000	0,00870	0,00091	0,01856	0,01132
CENTRO-OESTE	1.	Agropecuária	0,00695	0,00000	0,00163	0,00000	0,01113	0,02392
	2.	Mineração e Pelotização	0,00005	0,00000	0,00001	0,00000	0,00010	0,00045
	3.	Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	4.	Minerais não Metálicos	0,00009	0,00000	0,00002	0,00000	0,00016	0,00188
	5.	Metalurgia	0,00014	0,00000	0,00005	0,00000	0,00019	0,00030
	6.	Papel e Celulose	0,00032	0,00000	0,00012	0,00001	0,00038	0,00053
	7.	Química	0,00035	0,00000	0,00007	0,00013	0,00014	0,00024
	8.	Alcool	0,00024	0,00000	0,00027	0,00085	0,00039	0,00052
	9.	Refino de Petróleo	0,00087	0,00430	0,00003	0,00006	0,00011	0,00042
	10.	Têxtil e Vestuário	0,00061	0,00000	0,00013	0,00000	0,00030	0,00011
	11.	Alimentos e Bebidas	0,00765	0,00000	0,00311	0,00031	0,01177	0,00288
	12.	Outros Produtos	0,00031	0,00000	0,00012	0,00000	0,00024	0,00011
	13.	S.I.U.P.	0,00033	0,00000	0,00018	0,00007	0,00063	0,00114
	14.	Prod. de energia não Hidr.	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00003	0,00008
	15.	Comércio e Serviços	0,03643	0,00000	0,07053	0,08598	0,02561	0,00977
	16.	Transporte Rodoviário	0,00481	0,00000	0,00077	0,00045	0,01087	0,01865
	17.	Outros Transportes	0,00169	0,00000	0,00026	0,00006	0,00375	0,01007
	18.	Administração Pública	0,01251	0,00000	0,01487	0,00123	0,02947	0,01949

Tabela 15. Impacto total e impacto distributivo.

Setor	Gás natural		Alcool		Derivados de petróleo	
	Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total	Impacto total	Impacto distributivo	Impacto total
SÃO PAULO	1. Agropecuária	0,00355	0,00000	0,00097	0,00000	0,00652
	2. Mineração e Pelotização	0,00002	0,00000	0,00001	0,00000	0,00079
	3. Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002
	4. Minerais não Metálicos	0,00126	0,00000	0,00030	0,00003	0,00262
	5. Metalurgia	0,00544	0,00000	0,00220	0,00010	0,00857
	6. Papel e Celulose	0,00656	0,00000	0,00284	0,00033	0,01046
	7. Química	0,03276	0,00000	0,00716	0,00745	0,00817
	8. Alcool	0,00121	0,00000	0,00151	0,00474	0,00288
	9. Refino de Petróleo	0,04406	0,48229	0,00115	0,00627	0,00553
	10. Têxtil e Vestuário	0,01521	0,00000	0,00271	0,00005	0,00457
	11. Alimentos e Bebidas	0,02614	0,00000	0,01442	0,00381	0,01258
	12. Outros Produtos	0,03260	0,00000	0,01545	0,00031	0,01108
	13. S.I.U.P.	0,00177	0,00000	0,00116	0,00043	0,00383
	14. Prod. de energia não Hidr.	0,00019	0,00000	0,00001	0,00000	0,00160
	15. Comércio e Serviços	0,10892	0,00000	0,27378	0,33722	0,03104
	16. Transporte Rodoviário	0,01793	0,00000	0,00336	0,00191	0,07944
	17. Outros Transportes	0,00725	0,00000	0,00151	0,00041	0,04251
	18. Administração Pública	0,01186	0,00000	0,01717	0,00125	0,01587
RESTO DO SUDESTE	1. Agropecuária	0,00932	0,00000	0,00204	0,00000	0,01544
	2. Mineração e Pelotização	0,00537	0,00000	0,00133	0,00000	0,01358
	3. Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00383
	4. Minerais não Metálicos	0,00079	0,00000	0,00015	0,00002	0,00980
	5. Metalurgia	0,00236	0,00000	0,00077	0,00005	0,00998
	6. Papel e Celulose	0,00304	0,00000	0,00107	0,00010	0,00307
	7. Química	0,01106	0,00000	0,00205	0,00172	0,00499
	8. Alcool	0,00020	0,00000	0,00019	0,00039	0,00024
	9. Refino de Petróleo	0,01512	0,07272	0,00039	0,00095	0,00195
	10. Têxtil e Vestuário	0,00818	0,00000	0,00140	0,00001	0,00394
	11. Alimentos e Bebidas	0,01329	0,00000	0,00586	0,00131	0,00564
	12. Outros Produtos	0,00783	0,00000	0,00303	0,00012	0,00692
	13. S.I.U.P.	0,00115	0,00000	0,00064	0,00021	0,00213
	14. Prod. de energia não Hidr.	0,00100	0,00139	0,00010	0,00011	0,00311
	15. Comércio e Serviços	0,09249	0,00000	0,18843	0,21288	0,06416
	16. Transporte Rodoviário	0,01275	0,00000	0,00196	0,00109	0,04512
	17. Outros Transportes	0,00713	0,00000	0,00104	0,00026	0,01616
	18. Administração Pública	0,01068	0,00000	0,01272	0,00107	0,02369
SUL	1. Agropecuária	0,01168	0,00000	0,00280	0,00000	0,01919
	2. Mineração e Pelotização	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00038
	3. Petróleo e Outros	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00003
	4. Minerais não Metálicos	0,00069	0,00000	0,00014	0,00001	0,00691
	5. Metalurgia	0,00113	0,00000	0,00043	0,00004	0,00256
	6. Papel e Celulose	0,00631	0,00000	0,00237	0,00014	0,00752
	7. Química	0,00466	0,00000	0,00059	0,00090	0,00216
	8. Alcool	0,00016	0,00000	0,00021	0,00052	0,00032
	9. Refino de Petróleo	0,01304	0,17414	0,00034	0,00226	0,00161
	10. Têxtil e Vestuário	0,01407	0,00000	0,00305	0,00005	0,00744
	11. Alimentos e Bebidas	0,02476	0,00000	0,01120	0,00128	0,03950
	12. Outros Produtos	0,01200	0,00000	0,00560	0,00015	0,01109
	13. S.I.U.P.	0,00068	0,00000	0,00057	0,00016	0,00127
	14. Prod. de energia não Hidr.	0,00003	0,00000	0,00002	0,00000	0,00014
	15. Comércio e Serviços	0,06542	0,00000	0,13656	0,16299	0,04266
	16. Transporte Rodoviário	0,01766	0,00000	0,00284	0,00155	0,04146
	17. Outros Transportes	0,00378	0,00000	0,00065	0,00016	0,00848
	18. Administração Pública	0,00764	0,00000	0,00958	0,00074	0,01590

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados podem ser mais bem visualizados com o auxílio das figuras 43 a 45. Aqueles setores nos quais o impacto total é relevante desempenham um papel importante do ponto de vista da demanda dos outros setores e aqueles onde o impacto distributivo é importante são relevantes do ponto de vista da sua demanda.

As emissões adicionais com origem no consumo de gás natural na região Norte parecem ser relevantes do ponto de vista da demanda dos outros setores [figura 43(a)]. As emissões originadas do consumo de álcool e dos derivados de petróleo são importantes tanto do ponto de vista da sua demanda quanto da demanda dos outros setores.

Na região Nordeste, o impacto distributivo do setor Refino de Petróleo é relativamente bastante expressivo e os impactos totais e distributivos do consumo de álcool e derivados têm um perfil semelhante ao da região Norte [figura 43(b)].

Na região Centro-Oeste destaca-se o efeito total do consumo dos três energéticos no setor Administração Pública, o qual parece apresentar maior importância em relação aos demais setores, quando comparado a outras regiões [figura 44(a)].

Na região São Paulo é relativamente relevante o efeito distributivo para o gás natural e para os derivados de petróleo no setor Refino de Petróleo [figura 44(b)].

Na região Resto do Sudeste destaca-se o impacto total do setor Comércio e Serviços e o impacto distributivo do setor Refino de Petróleo para o gás natural. Os impactos do ponto de vista da demanda dos outros setores e do ponto de vista da sua demanda, respectivamente, parecem ser os maiores em todas as regiões [figura 45(a)].

Na região Sul, tal como no Nordeste, São Paulo e Resto do Sudeste, o impacto distributivo do setor Refino de Petróleo é relativamente importante [figura 45(b)].

Figura 43 - Impactos totais e distributivos nas regiões Norte e Nordeste.

Figura 44 - Impactos totais e distributivos nas regiões Centro-Oeste e São Paulo .

Figura 45 - Impactos totais e distributivos nas regiões Resto do Sudeste e Sul.

A análise dos impactos totais e distributivos se torna mais clara e interessante quando tais valores são normalizados. Isto possibilita identificar os setores-chave com respeito às emissões do ponto de vista regional.

É importante ter em conta que, de acordo com o critério estabelecido por Alcántara e Padilha (2003), um setor é considerado chave se apresentar, ao mesmo tempo, efeitos totais e distributivos maiores que os respectivos valores medianos de toda a economia. Contudo, os resultados mostraram que determinados setores mostram uma sensibilidade nas emissões bastante acentuada em apenas um destes quesitos e, embora não sejam classificados como setores-chave, também devem ser considerados com cuidado no eventual desenho de políticas de controle de emissões.

Os setores-chave em relação às emissões do total da economia são mostrados no quadro 4. A análise no nível nacional mostrou que os setores Agropecuária, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos, Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Outros Transportes e Administração Pública eram os setores-chave numa política de controle de emissões.

No nível regional, com um nível maior de desagregação, aparecem outros setores localizados especificamente em uma determinada região e outros que são considerados chave, mas não tem importância em todas as regiões. A figura 44 auxilia na visualização. O setor Agropecuária da região Sul, por exemplo, apresenta os maiores impactos totais e distributivos em relação aos mesmos setores das outras regiões, os quais também são considerados chave. Por outro lado, do ponto de vista nacional, o setor de Mineração e Pelotização não é considerado um setor chave, mas sob a ótica inter-regional, aquele localizado especificamente na região Resto do Sudeste é apontado como chave.

Do ponto de vista da formulação de política, esta análise permite escolher qual setor de uma região específica deveria merecer mais atenção quanto às emissões. Cabe, no entanto avaliar quais os custos em termos de produto e nível de emprego de eventuais restrições. Este é o assunto da próxima seção.

	Setores	Gás natural		Alcool		Derivados de petróleo		Total	
		Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total
NORTE	Agropecuária	0,38921	0,00000	1,13336	0,00000	2,66677	2,18792	1,48799	2,00209
	Mineração e pelotização	0,13568	0,00000	0,41323	0,00000	0,72141	0,87738	0,56511	0,54160
	Petróleo e outros	0,00006	0,00000	0,00043	0,00000	0,04347	0,00033	0,00024	0,03263
	Minerais não metálicos	0,00723	0,00000	0,01610	0,01409	0,23641	0,04195	0,02772	0,17783
	Metalurgia	0,04237	0,00000	0,18277	0,04002	0,11000	0,19674	0,15092	0,08356
	Papel e celulose	0,11639	0,00000	0,49457	0,18208	0,32512	0,46055	0,38270	0,24855
	Química	0,30016	0,00000	0,72413	5,50603	0,16821	0,32033	0,60011	0,26128
	Alcool	0,00021	0,00000	0,00422	0,03057	0,00061	0,00128	0,00116	0,00120
	Refino de petróleo	0,00341	0,02109	0,00136	0,02487	0,00606	0,00161	0,00543	0,05204
	Têxtil e vestuário	0,02014	0,00000	0,03373	0,01058	0,03234	0,02944	0,04209	0,02454
	Alimentos e bebidas	0,28963	0,00000	1,80140	2,77969	0,31791	1,49260	1,13721	0,30683
	Outros produtos	0,19936	0,00000	1,06453	0,10488	0,21298	0,62834	0,61157	0,16247
	S.I.U.P.	0,07148	0,00000	0,43039	1,06388	0,53884	0,47844	0,32247	0,43062
	Prod. de energia não hidraul.	0,13212	0,00000	0,06445	0,00000	2,40405	0,94451	0,55629	1,80485
	Comércio e serviços	1,79238	0,00000	48,01337	307,81894	1,29813	4,21176	8,26358	8,52188
	Transporte rodoviário	0,32993	0,00000	0,63643	2,08280	2,82692	2,88670	1,44129	2,17338
NORDESTE	Outros transportes	0,23335	0,00000	0,39167	0,46688	2,71005	1,67966	1,01104	2,04603
	Administração pública	0,29910	0,00000	4,52465	2,68473	0,99788	2,05922	1,60743	0,81499
	Agropecuária	1,15882	0,00000	2,59988	0,00000	5,77261	5,01735	3,77802	4,33380
	Mineração e pelotização	0,00951	0,00000	0,02176	0,00000	0,25057	0,04633	0,03306	0,18811
	Petróleo e outros	0,00014	0,00000	0,00090	0,00000	0,39501	0,00065	0,00052	0,29655
	Minerais não metálicos	0,04499	0,00000	0,07814	0,05037	0,84539	0,19485	0,14473	0,63591
	Metalurgia	0,23511	0,00000	0,89817	0,13285	0,79557	0,90003	0,75249	0,60053
	Papel e celulose	0,08003	0,00000	0,27588	0,22407	0,22359	0,23068	0,22397	0,17335
	Química	0,23638	0,00000	0,35476	3,87322	0,41447	0,25126	0,45355	0,40613
	Alcool	0,04011	0,00000	0,54065	6,79559	0,13463	0,16353	0,16581	0,26769
	Refino de petróleo	3,08352	28,61808	1,12916	33,74192	8,22366	1,33045	4,85245	70,60929
	Têxtil e vestuário	0,72545	0,00000	1,35534	0,12424	0,28928	1,00788	1,50760	0,22023
	Alimentos e bebidas	1,26106	0,00000	6,51008	7,60473	1,18966	5,68397	4,51746	1,07960
	Outros produtos	0,11572	0,00000	0,41143	0,04599	0,07857	0,27813	0,30326	0,06011
	S.I.U.P.	0,19084	0,00000	0,86849	1,71361	0,87924	0,82253	0,65882	0,70211
	Prod. de energia não hidraul.	0,00135	0,00000	0,00057	0,00000	0,01408	0,00716	0,00471	0,01057
CENTRO-OESTE	Comércio e serviços	8,94867	0,00000	183,75162	1124,5548	5,00508	17,63236	35,08610	31,33015
	Transporte rodoviário	2,01793	0,00000	3,09176	8,74544	11,86987	11,07525	7,36881	9,12577
	Outros transportes	0,57604	0,00000	0,81664	1,17072	5,12821	3,11163	2,07829	3,87873
	Administração pública	1,15053	0,00000	14,91681	8,94402	3,61805	7,04056	5,62364	2,93555
	Agropecuária	0,75009	0,00000	2,79480	0,00000	7,64890	4,22037	2,92200	5,74243
	Mineração e pelotização	0,00529	0,00000	0,02280	0,00000	0,14458	0,03638	0,02346	0,10854
	Petróleo e outros	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000	0,00002
	Minerais não metálicos	0,00968	0,00000	0,03264	0,03577	0,60034	0,06040	0,03973	0,45158
	Metalurgia	0,01495	0,00000	0,08884	0,02396	0,09698	0,07087	0,05592	0,07339
	Papel e celulose	0,03481	0,00000	0,21081	0,08871	0,16933	0,14379	0,12226	0,12930
	Química	0,03782	0,00000	0,11947	1,31486	0,07576	0,05468	0,08366	0,08912
	Alcool	0,02569	0,00000	0,47122	8,34897	0,16540	0,14737	0,13368	0,32888
	Refino de petróleo	0,09369	0,46395	0,04398	0,54702	0,13332	0,04310	0,14932	1,14471
	Têxtil e vestuário	0,06565	0,00000	0,22964	0,01585	0,03619	0,11540	0,15515	0,02756
	Alimentos e bebidas	0,82655	0,00000	5,32209	3,00773	0,92016	4,46333	3,34072	0,76456
	Outros produtos	0,03306	0,00000	0,21157	0,04556	0,03379	0,09058	0,09912	0,02649
CENTRO-OESTE	S.I.U.P.	0,03533	0,00000	0,30755	0,66452	0,36428	0,23798	0,16817	0,28978
	Prod. de energia não hidraul.	0,00124	0,00000	0,00068	0,00000	0,02406	0,00988	0,00563	0,01806
	Comércio e serviços	3,93465	0,00000	120,87118	841,75540	3,12317	9,71524	19,66290	22,98344
	Transporte rodoviário	0,51933	0,00000	1,32709	4,39466	5,96471	4,12262	2,43984	4,58578
	Outros transportes	0,18215	0,00000	0,44181	0,60930	3,22047	1,42229	0,84445	2,43272
	Administração pública	1,35153	0,00000	25,48104	12,04125	6,23108	11,17846	8,43176	4,97324

Quadro 4 - Identificação dos setores-chave com respeito às emissões de CO₂.

	Setores	Gás natural		Alcool		Derivados de petróleo		Total	
		Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total	Impacto distrib.	Impacto total
SÃO PAULO	Agropecuária	0,38394	0,00000	1,66905	0,00000	3,81893	2,47366	1,63883	2,86708
	Mineração e pelotização	0,00261	0,00000	0,01341	0,00000	0,25130	0,02087	0,01290	0,18866
	Petróleo e outros	0,00000	0,00000	0,00002	0,00000	0,00692	0,00001	0,00001	0,00519
	Minerais não metálicos	0,13560	0,00000	0,50956	0,27272	4,57733	0,99212	0,61820	3,44313
	Metalurgia	0,58729	0,00000	3,77526	0,97194	2,73968	3,08415	2,33906	2,08066
	Papel e celulose	0,70815	0,00000	4,87415	3,24378	3,34525	3,02242	2,57601	2,59099
	Química	3,53847	0,00000	12,27760	72,94520	2,61222	4,70465	7,76129	3,74965
	Alcool	0,13091	0,00000	2,58420	46,43449	0,91992	0,75710	0,69943	1,82915
	Refino de petróleo	4,75841	52,08707	1,97833	61,41284	14,96769	2,09916	7,52659	128,51423
	Têxtil e vestuário	1,64260	0,00000	4,63940	0,51455	1,46079	2,80992	3,75588	1,10931
	Alimentos e bebidas	2,82322	0,00000	24,70843	37,26216	4,02202	15,74707	12,17211	3,93316
	Outros produtos	3,52079	0,00000	26,47029	3,01828	3,54267	12,37946	11,96595	2,73367
	S.I.U.P.	0,19089	0,00000	1,99431	4,25723	2,08001	1,45433	1,00334	1,66596
	Prod. de energia não hidraul.	0,02035	0,00000	0,01231	0,00000	0,51217	0,19332	0,10460	0,38452
RESTO DO SUDESTE	Comércio e serviços	11,76352	0,00000	469,17831	3301,5243	9,92589	29,00982	68,10301	88,40082
	Transporte rodoviário	1,93673	0,00000	5,75126	18,71539	25,40173	18,41221	10,35597	19,52930
	Outros transportes	0,78321	0,00000	2,58926	3,98469	13,59320	7,20637	4,11711	10,30283
	Administração pública	1,28066	0,00000	29,42262	12,20144	5,07548	10,13244	8,26661	4,10959
	Agropecuária	1,00673	0,00000	3,48976	0,00000	8,64050	5,85737	3,97458	6,48688
	Mineração e pelotização	0,57994	0,00000	2,27535	0,00000	4,34349	3,97833	2,54874	3,26089
	Petróleo e outros	0,00027	0,00000	0,00279	0,00000	1,22597	0,00161	0,00124	0,92040
	Minerais não metálicos	0,08546	0,00000	0,25807	0,18665	3,13277	0,54961	0,35457	2,35651
	Metalurgia	0,25472	0,00000	1,31127	0,45591	3,19151	1,36425	0,99666	2,40721
	Papel e celulose	0,32862	0,00000	1,84031	0,93418	0,98160	1,29058	1,11514	0,75984
	Química	1,19409	0,00000	3,51378	16,79681	1,31150	1,89145	2,68343	1,39645
	Alcool	0,02203	0,00000	0,33357	3,85836	0,07644	0,10489	0,10013	0,15199
	Refino de petróleo	1,63273	7,85344	0,66866	9,25953	2,25676	0,74054	2,58961	19,37676
	Têxtil e vestuário	0,88328	0,00000	2,40487	0,14654	0,47876	1,49300	2,00484	0,36303
SUL	Alimentos e bebidas	1,43533	0,00000	10,04106	12,79197	1,80341	7,75526	5,87220	1,66756
	Outros produtos	0,84533	0,00000	5,19169	1,13437	0,59243	2,62435	2,63624	0,47258
	S.I.U.P.	0,12378	0,00000	1,09497	2,02496	1,00212	0,80785	0,58059	0,80199
	Prod. de energia não hidraul.	0,10809	0,14965	0,17410	1,02806	0,99562	0,43004	0,33164	1,10530
	Comércio e serviços	9,98841	0,00000	322,90128	2084,1550	7,53003	24,34060	51,17978	56,75386
	Transporte rodoviário	1,37694	0,00000	3,35625	10,62912	14,42653	11,42416	6,64785	11,09138
	Outros transportes	0,76988	0,00000	1,78895	2,50882	11,46767	6,12941	3,60848	8,67090
	Administração pública	1,15397	0,00000	21,79594	10,50959	4,62429	8,98756	6,98495	3,72938
	Agropecuária	1,26194	0,00000	4,80504	0,00000	11,07275	7,27999	4,99510	8,31290
	Mineração e pelotização	0,00109	0,00000	0,00466	0,00000	0,12256	0,00747	0,00482	0,09202
	Petróleo e outros	0,00019	0,00000	0,00210	0,00000	0,00886	0,00111	0,00088	0,00665
	Minerais não metálicos	0,07460	0,00000	0,24176	0,13134	2,20823	0,47493	0,30906	1,66106
	Metalurgia	0,12250	0,00000	0,73740	0,36345	0,81807	0,60049	0,46681	0,62308
	Papel e celulose	0,68193	0,00000	4,06253	1,39286	2,15115	2,85455	2,40412	1,64913

Quadro 4 - Identificação dos setores-chave com respeito às emissões de CO₂.

Fonte: dados da pesquisa.

(a) Total

(b) Distributivo

Figura 46 – *Ranking* dos impactos totais e distributivos nos setores-chave no modelo inter-regional.

Fonte: dados da pesquisa.

4.5 Os efeitos regionais do controle de emissões de CO₂

Esta seção mostra os efeitos na economia do controle de emissões enfocando a imposição de uma restrição quantitativa sobre as emissões, assunto da subseção seguinte, e a relação entre o nível de emissões e emprego no nível regional, tratada na segunda subseção.

4.5.1 Os efeitos econômicos da restrição ao volume de emissões na ótica regional

O procedimento adotado aqui é o mesmo da análise para o Brasil como um todo realizado acima. Inicialmente adotou-se uma restrição de 1% sobre o nível atual determinado setor em cada região do modelo.

Os resultados obtidos, assumindo que os demais setores produtivos irão conseguir redirecionar sua produção, antes destinada ao setor que sofre a restrição, para a demanda final são mostrados na tabela 16 e na figura 47.

Figura 47 - Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 1).

Fonte: dados da pesquisa.

A distribuição das perdas entre os setores parece seguir o mesmo padrão do caso nacional, mas mostra também que perdas do produto são mais intensas quando se estabelecem restrições sobre os setores da região São Paulo, exceto para o setor Agropecuária, onde o impacto é maior a partir da restrição imposta ao setor localizado na região Sul. A maior queda do produto observada na região São Paulo pode ser parcialmente explicada pela importância relativa de suas ligações intersetoriais com o restante da economia, de tal sorte que quando um setor desta região é afetado, o restante da economia é afetado de modo mais intenso.

A figura 48 mostra que o panorama geral é o mesmo quando se adota a hipótese de que os demais setores não conseguem redirecionar sua produção para a demanda final. Também aqui a queda no produto é mais acentuada e, em geral, maior a partir da região São Paulo (tabela 17).

Figura 48 - Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 2).

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 16. Efeitos percentuais no PIB de uma restrição quantitativa sobre as emissões de CO₂ de um setor específico em uma região específica na hipótese dos demais setores redirecionarem sua produção para a demanda final.

Região	Agropec.	Miner. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metálicos	Metalurgia	Papel e Celulose	Química	Alcool	Refino de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alimentos e Bebidas	Outros Produtos	S.I.U.P.	Prod. de Energia não Hidraul.	Comércio e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Adm. Pública
Norte	-0,0061	-0,0006	-0,0003	-0,0004	-0,0006	-0,0014	-0,0023	0,0000	0,0000	-0,0003	-0,0018	-0,0047	-0,0013	-0,0002	-0,0172	-0,0008	-0,0010	-0,0091
Nordeste	-0,0112	-0,0002	-0,0017	-0,0008	-0,0028	-0,0006	-0,0019	-0,0005	-0,0097	-0,0018	-0,0045	-0,0008	-0,0038	0,0000	-0,0612	-0,0030	-0,0019	-0,0236
Centro-Oeste	-0,0091	-0,0002	0,0000	-0,0005	-0,0003	-0,0005	-0,0003	-0,0005	-0,0001	-0,0002	-0,0027	-0,0003	-0,0014	0,0000	-0,0335	-0,0012	-0,0009	-0,0318
São Paulo	-0,0153	-0,0002	0,0000	-0,0038	-0,0095	-0,0084	-0,0163	-0,0025	-0,0174	-0,0083	-0,0141	-0,0341	-0,0125	-0,0001	-0,1821	-0,0042	-0,0036	-0,0370
Resto do Sudeste	-0,0123	-0,0035	-0,0082	-0,0036	-0,0104	-0,0033	-0,0071	-0,0003	-0,0033	-0,0034	-0,0076	-0,0071	-0,0074	-0,0008	-0,1140	-0,0040	-0,0046	-0,0318
Sul	-0,0239	-0,0001	0,0000	-0,0019	-0,0027	-0,0062	-0,0035	-0,0003	-0,0060	-0,0054	-0,0113	-0,0119	-0,0053	-0,0003	-0,0752	-0,0038	-0,0017	-0,0186

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 17. Efeitos percentuais no PIB de uma restrição quantitativa sobre as emissões de CO₂ de um setor específico em uma região específica na hipótese dos demais setores não serem capazes de redirecionar sua produção para a demanda final.

Região	Agropec.	Miner. e Pelotiz.	Petróleo e Outros	Min. não Metálicos	Metalurgia	Papel e Celulose	Química	Alcool	Refino de Petróleo	Têxtil e Vestuário	Alimentos e Bebidas	Outros produtos	S.I.U.P.	Prod. de Energia não Hidraul.	Comércio e Serviços	Transp. Rodov.	Outros Transp.	Adm. Pública
Norte	-0,0088	-0,0011	-0,0004	-0,0006	-0,0010	-0,0023	-0,0034	0,0000	0,0000	-0,0004	-0,0043	-0,0063	-0,0018	-0,0005	-0,0223	-0,0013	-0,0016	-0,0115
Nordeste	-0,0165	-0,0004	-0,0025	-0,0014	-0,0055	-0,0012	-0,0035	-0,0009	-0,0163	-0,0032	-0,0129	-0,0015	-0,0047	0,0000	-0,0804	-0,0053	-0,0032	-0,0317
Centro-Oeste	-0,0167	-0,0004	0,0000	-0,0009	-0,0005	-0,0010	-0,0007	-0,0010	-0,0002	-0,0005	-0,0089	-0,0006	-0,0017	0,0000	-0,0464	-0,0024	-0,0016	-0,0417
São Paulo	-0,0192	-0,0004	-0,0001	-0,0068	-0,0199	-0,0171	-0,0306	-0,0056	-0,0290	-0,0144	-0,0397	-0,0588	-0,0149	-0,0001	-0,2176	-0,0093	-0,0073	-0,0485
Resto do Sudeste	-0,0204	-0,0063	-0,0108	-0,0056	-0,0179	-0,0065	-0,0112	-0,0006	-0,0051	-0,0058	-0,0195	-0,0123	-0,0087	-0,0011	-0,1439	-0,0068	-0,0074	-0,0416
Sul	-0,0338	-0,0002	-0,0001	-0,0033	-0,0061	-0,0118	-0,0066	-0,0007	-0,0102	-0,0105	-0,0353	-0,0216	-0,0064	-0,0004	-0,0953	-0,0079	-0,0032	-0,0254

Fonte: dados da pesquisa.

Conforme visto acima, variações no produto e nas emissões têm impacto também sobre o nível de emprego. A subseção seguinte relaciona no nível regional estas últimas duas variáveis.

4.5.2 A relação entre o nível de emprego e as emissões no nível regional

Em 1999, as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, Resto do Sudeste e Sul detinham, respectivamente, 4,6%, 24,3%, 8,6%, 22,61%, 21,15 e 18,8% do número de empregos em 1999. Em todas elas, o emprego encontrava-se concentrado nos setores Comércio e Serviços, Agropecuária e Administração Pública (tabela 18).

Tabela 18. Número de empregos em seis regiões brasileiras em 1999.

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Agropecuária	713.306	5.604.339	1.253.852	1.340.375	2.167.880	3.283.649
Mineração e Pelotização	10.078	59.804	12.098	19.955	69.321	18.344
Petróleo e Outros	946	6.943	0	859	21.940	1.170
Minerais não Metálicos	14.117	129.834	19.228	95.530	100.630	76.203
Metalurgia	13.465	71.641	23.446	277.942	200.554	141.352
Papel e Celulose	112.185	180.762	71.020	328.131	193.996	343.606
Química	15.570	57.220	13.773	228.245	77.246	113.278
Álcool	21	4.904	3.427	16.467	1.899	2.148
Refino de Petróleo	811	12.832	1.313	12.565	9.869	7.510
Têxtil e Vestuário	32.326	478.927	102.220	532.337	406.361	517.928
Alimentos e Bebidas	55.981	328.040	110.167	359.834	321.262	281.117
Outros Produtos	41.982	108.666	30.833	566.832	197.521	200.968
S.I.U.P.	25.298	43.296	20.918	45.640	43.033	30.109
Produção de Energia não Hidráulica	694	218	130	673	3.957	1.533
Comércio e Serviços	1.238.724	6.231.424	2.566.825	8.622.233	7.644.671	5.630.523
Transporte Rodoviário	94.209	524.572	175.048	342.529	419.730	267.212
Outros Transportes	49.090	116.584	30.996	153.899	146.189	63.643
Administração Pública	450.541	1.209.865	922.058	1.170.866	1.177.363	723.706
TOTAL	2.869.345	15.169.872	5.357.351	14.114.913	13.203.422	11.703.997

Fonte: dados da pesquisa.

Quando estes empregos são relacionados ao volume total de emissões com origem no consumo de gás natural, álcool e derivados de petróleo, verifica-se que os coeficientes obtidos seguem a concentração verificada no modelo nacional. Contudo,

os valores diferem pelo fato de que nem a produção e nem o emprego se distribuírem igualmente entre as regiões (tabela 19, figura 49).

Tabela 19. Relação de empregos por volume total de emissões em seis regiões brasileiras em 1999.

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Agropecuária	2,50	9,07	1,53	3,28	2,34	2,77
Mineração e Pelotização	0,13	2,23	0,78	0,74	0,15	1,40
Petróleo e Outros	0,20	0,16	0,00	1,16	0,17	1,23
Minerais não Metálicos	0,56	1,43	0,30	0,19	0,30	0,32
Metalurgia	1,14	0,84	2,26	0,95	0,59	1,61
Papel e Celulose	3,22	7,52	3,91	0,91	1,84	1,49
Química	0,77	1,25	1,60	0,74	0,53	1,47
Álcool	0,27	0,29	0,16	0,14	0,20	0,17
Refino de Petróleo	0,48	0,01	0,04	0,00	0,02	0,01
Têxtil e Vestuário	9,32	15,44	26,34	3,40	7,92	6,11
Alimentos e Bebidas	1,59	2,52	1,11	0,81	1,62	0,80
Outros Produtos	1,84	12,89	8,48	1,49	3,09	1,67
S.I.U.P.	0,44	0,46	0,53	0,20	0,40	0,42
Produção de Energia não Hidráulica	0,00	0,14	0,05	0,01	0,03	0,31
Comércio e Serviços	4,83	6,46	3,92	3,71	4,78	4,79
Transporte Rodoviário	0,31	0,41	0,27	0,13	0,27	0,12
Outros Transportes	0,17	0,21	0,09	0,11	0,12	0,11
Administração Pública	4,18	3,10	1,37	2,14	2,36	2,18
TOTAL	31,95	64,43	52,74	20,11	26,73	26,98

Fonte: dados da pesquisa.

No caso do Brasil como um todo, os maiores coeficientes entre o número de empregos e as emissões estavam nos setores Têxtil e Vestuário, Comércio e Serviços, Agropecuária e Administração Pública.

O modelo regional mostrou que a região que parece contribuir de modo mais ativo para esta relação é a região Nordeste, com exceção do setor Têxtil e Vestuário, onde a região Centro-Oeste desempenha um papel importante.

Figura 49 - Número de empregos por ton. de carbono emitido em seis regiões brasileiras em 1999.

Fonte: dados da pesquisa.

Não obstante, o coeficiente entre emprego e emissões é uma medida limitada dos efeitos de mudanças na economia sobre o nível de emprego. Na verdade, do modo com que se estabeleceu a ligação entre mudanças nas emissões e mudanças no emprego no capítulo anterior, o coeficiente necessita ser ponderado pela matriz das elasticidades de emissão. Dito de outro modo, a mudança percentual na demanda final provoca uma mudança no nível de produção dos setores a qual exercerá um impacto sobre as emissões na medida dos elementos da matriz de elasticidades. Estas emissões, por sua vez, exercerão influência sobre o emprego.

A geração de emprego em resposta às variações nas emissões são mostradas na tabela 20, a qual deu origem à figura 50. Os resultados do modelo para o Brasil mostraram que ela é maior nos setores Comércio e Serviços, Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Agropecuária e Outros Produtos. O modelo inter-regional, por sua vez, desagrega a informação revelando em quais regiões estes setores exercem maior impacto sobre o emprego.

Tabela 20. Geração de emprego por ponto percentual de emissão adicional de CO₂.

	Setor	Gás	Álcool	Derivados de petróleo	Total
NORTE	Agropecuária	0,000026	0,002382	0,011680	0,014088
	Mineração e Pelotização	0,000010	0,000972	0,000532	0,001513
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000001	0,000000	0,000002
	Minerais não Metálicos	0,000001	0,000036	0,000059	0,000096
	Metalurgia	0,000003	0,000430	0,000423	0,000855
	Papel e Celulose	0,000008	0,001155	0,002448	0,003611
	Química	0,000019	0,000957	0,000464	0,001441
	Álcool	0,000000	0,000002	0,000004	0,000006
	Refino de Petróleo	0,000014	0,000002	0,000002	0,000018
	Têxtil e Vestuário	0,000001	0,000076	0,000272	0,000350
	Alimentos e Bebidas	0,000019	0,003653	0,006314	0,009986
	Outros Produtos	0,000012	0,002563	0,001738	0,004314
	S.I.U.P.	0,000005	0,000874	0,000562	0,001441
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000010	0,000095	0,000033	0,000139
	Comércio e Serviços	0,000129	0,132224	0,021222	0,153575
	Transporte Rodoviário	0,000025	0,000918	0,002052	0,002995
	Outros Transportes	0,000017	0,000781	0,000907	0,001705
	Administração Pública	0,000020	0,011609	0,015250	0,026879
NORDESTE	Agropecuária	0,000061	0,006582	0,083853	0,090496
	Mineração e Pelotização	0,000000	0,000065	0,000214	0,000280
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000003	0,000001	0,000004
	Minerais não Metálicos	0,000002	0,000219	0,000650	0,000872
	Metalurgia	0,000012	0,002507	0,002067	0,004586
	Papel e Celulose	0,000004	0,000880	0,002726	0,003611
	Química	0,000012	0,000701	0,000543	0,001257
	Álcool	0,000002	0,000336	0,001133	0,001471
	Refino de Petróleo	0,000162	0,001477	0,000484	0,002123
	Têxtil e Vestuário	0,000038	0,003926	0,014144	0,018108
	Alimentos e Bebidas	0,000066	0,017222	0,051911	0,069199
	Outros Produtos	0,000006	0,001301	0,002542	0,003850
	S.I.U.P.	0,000010	0,002242	0,001332	0,003585
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000000	0,000001	0,000003	0,000004
	Comércio e Serviços	0,000467	0,669329	0,115327	0,785123
	Transporte Rodoviário	0,000106	0,005347	0,012187	0,017639
	Outros Transportes	0,000030	0,001967	0,002168	0,004165
	Administração Pública	0,000060	0,046750	0,046694	0,093504
CENTRO-OESTE	Agropecuária	0,000040	0,005509	0,015151	0,020700
	Mineração e Pelotização	0,000000	0,000049	0,000065	0,000114
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
	Minerais não Metálicos	0,000001	0,000066	0,000058	0,000125
	Metalurgia	0,000001	0,000189	0,000252	0,000442
	Papel e Celulose	0,000002	0,000447	0,000832	0,001281
	Química	0,000004	0,000194	0,000122	0,000319
	Álcool	0,000001	0,000265	0,000372	0,000638
	Refino de Petróleo	0,000030	0,000051	0,000021	0,000102
	Têxtil e Vestuário	0,000007	0,000502	0,002101	0,002611
	Alimentos e Bebidas	0,000043	0,010643	0,014179	0,024865
	Outros Produtos	0,000003	0,000465	0,000604	0,001071
	S.I.U.P.	0,000002	0,000590	0,000380	0,000972
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000000	0,000001	0,000001	0,000003
	Comércio e Serviços	0,000205	0,272744	0,039252	0,312201
	Transporte Rodoviário	0,000027	0,001917	0,003144	0,005088
	Outros Transportes	0,000010	0,000829	0,000521	0,001360
	Administração Pública	0,000069	0,054507	0,036663	0,091240

Tabela 20. Geração de emprego por ponto percentual de emissão adicional de CO₂.

	Setor	Gás	Álcool	Derivados de petróleo	Total
SÃO PAULO	Agropecuária	0,000015	0,003149	0,016294	0,019458
	Mineração e Pelotização	0,000000	0,000027	0,000035	0,000063
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
	Minerais não Metálicos	0,000005	0,001009	0,000697	0,001711
	Metalurgia	0,000025	0,008016	0,005752	0,013793
	Papel e Celulose	0,000034	0,010017	0,007352	0,017403
	Química	0,000174	0,016668	0,007093	0,023934
	Álcool	0,000007	0,001321	0,002540	0,003868
	Refino de Petróleo	0,000136	0,002237	0,000582	0,002955
	Têxtil e Vestuário	0,000075	0,009348	0,012255	0,021677
	Alimentos e Bebidas	0,000132	0,044147	0,059914	0,104193
	Outros Produtos	0,000175	0,057146	0,028978	0,086298
	S.I.U.P.	0,000008	0,003676	0,001174	0,004858
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000001	0,000018	0,000010	0,000028
	Comércio e Serviços	0,000381	1,007805	0,115142	1,123327
	Transporte Rodoviário	0,000058	0,007730	0,007247	0,015034
	Outros Transportes	0,000024	0,004613	0,002766	0,007402
	Administração Pública	0,000047	0,060801	0,043570	0,104418
RESTO DO SUDESTE	Agropecuária	0,000060	0,007579	0,028975	0,036614
	Mineração e Pelotização	0,000025	0,005382	0,002534	0,007941
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000007	0,000002	0,000009
	Minerais não Metálicos	0,000004	0,000582	0,000499	0,001085
	Metalurgia	0,000012	0,003087	0,002215	0,005314
	Papel e Celulose	0,000021	0,004285	0,004674	0,008979
	Química	0,000097	0,005344	0,002612	0,008053
	Álcool	0,000002	0,000192	0,000275	0,000470
	Refino de Petróleo	0,000236	0,000819	0,000257	0,001312
	Têxtil e Vestuário	0,000057	0,005671	0,011626	0,017355
	Alimentos e Bebidas	0,000076	0,021409	0,031493	0,052979
	Outros Produtos	0,000061	0,012697	0,008629	0,021386
	S.I.U.P.	0,000008	0,002413	0,000995	0,003416
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000018	0,000260	0,000109	0,000388
	Comércio e Serviços	0,000419	0,880176	0,120784	1,001379
	Transporte Rodoviário	0,000055	0,005179	0,008630	0,013864
	Outros Transportes	0,000032	0,003658	0,002630	0,006320
	Administração Pública	0,000054	0,054631	0,043964	0,098649
SUL	Agropecuária	0,000063	0,010304	0,041024	0,051391
	Mineração e Pelotização	0,000000	0,000012	0,000022	0,000034
	Petróleo e Outros	0,000000	0,000006	0,000003	0,000009
	Minerais não Metálicos	0,000003	0,000557	0,000465	0,001025
	Metalurgia	0,000006	0,001759	0,001555	0,003320
	Papel e Celulose	0,000034	0,009494	0,009129	0,018657
	Química	0,000024	0,001812	0,001061	0,002896
	Álcool	0,000001	0,000203	0,000261	0,000465
	Refino de Petróleo	0,000066	0,000730	0,000191	0,000987
	Têxtil e Vestuário	0,000074	0,012185	0,017078	0,029337
	Alimentos e Bebidas	0,000132	0,042281	0,056975	0,099388
	Outros Produtos	0,000062	0,023413	0,010874	0,034349
	S.I.U.P.	0,000004	0,002276	0,000761	0,003041
	Produção de Energia não Hidráulica	0,000000	0,000092	0,000033	0,000124
	Comércio e Serviços	0,000331	0,640432	0,079140	0,719903
	Transporte Rodoviário	0,000090	0,007527	0,006308	0,013924
	Outros Transportes	0,000019	0,002379	0,001318	0,003716
	Administração Pública	0,000039	0,041583	0,027660	0,069282

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 50 – Geração total de emprego a partir das emissões adicionais causadas pelo aumento de um ponto percentual na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

O efeito multiplicador em relação a estas mudanças iniciais no emprego pode ser observado na tabela 21 e na figura 51.

Os dados indicam quantos empregos são criados a partir de cada emprego adicional gerado por conta de um aumento de um ponto percentual na demanda final em cada região. Consideradas as seis regiões, o setor Refino de Petróleo da região de São Paulo apresenta o efeito multiplicador de emprego relativamente mais importante, seguido pelo mesmo setor na região Nordeste. O setor Alimentos e Bebidas das regiões São Paulo e Sul também apresentam um efeito multiplicador relativamente importante.

Tabela 21. Multiplicadores de emprego.

	Setor	Gás	Álcool	Derivados de petróleo	Total
NORTE	Agropecuária	0,00001048	0,00095353	0,00467610	0,00564012
	Mineração e Pelotização	0,00007514	0,00744810	0,00407537	0,01159861
	Petróleo e Outros	0,00000002	0,00000541	0,00000196	0,00000739
	Minerais não Metálicos	0,00000095	0,00006436	0,00010611	0,00017141
	Metalurgia	0,00000249	0,00037643	0,00037037	0,00074929
	Papel e Celulose	0,00000242	0,00035925	0,00076120	0,00112287
	Química	0,00002482	0,00123649	0,00059967	0,00186098
	Álcool	0,00000008	0,00000806	0,00001328	0,00002142
	Refino de Petróleo	0,00002960	0,00000347	0,00000411	0,00003717
	Têxtil e Vestuário	0,00000014	0,00000817	0,00002921	0,00003751
	Alimentos e Bebidas	0,00001164	0,00229076	0,00395890	0,00626130
	Outros Produtos	0,00000675	0,00139490	0,00094597	0,00234762
	S.I.U.P.	0,00001225	0,00200704	0,00129115	0,00331044
	Produção de Energia não Hidráulica	0,00379346	0,03535100	0,01230733	0,05145178
	Comércio e Serviços	0,00002673	0,02736052	0,00439138	0,03177862
	Transporte Rodoviário	0,00008066	0,00295647	0,00661025	0,00964739
	Outros Transportes	0,00010111	0,00461745	0,00536624	0,01008480
	Administração Pública	0,00000472	0,00277974	0,00365157	0,00643603
NORDESTE	Agropecuária	0,00000675	0,00072594	0,00924875	0,00998145
	Mineração e Pelotização	0,00000022	0,00002936	0,00009599	0,00012557
	Petróleo e Outros	0,00000004	0,00001732	0,00000566	0,00002302
	Minerais não Metálicos	0,00000165	0,00015307	0,00045310	0,00060782
	Metalurgia	0,00001479	0,00298239	0,00245985	0,00545704
	Papel e Celulose	0,00000056	0,00011696	0,00036240	0,00047993
	Química	0,00001001	0,00056187	0,00043527	0,00100715
	Álcool	0,00000735	0,00116504	0,00392806	0,00510045
	Refino de Petróleo	0,02860993	0,26150355	0,08565682	0,37577030
	Têxtil e Vestuário	0,00000248	0,00025432	0,00091621	0,00117301
	Alimentos e Bebidas	0,00002637	0,00684003	0,02061783	0,02748422
	Outros Produtos	0,00000047	0,00010096	0,00019722	0,00029866
	S.I.U.P.	0,00002284	0,00490971	0,00291699	0,00784953
	Produção de Energia não Hidráulica	0,00000049	0,00000635	0,00001935	0,00002619
	Comércio e Serviços	0,00007229	0,10360385	0,01785116	0,12152730
	Transporte Rodoviário	0,00025789	0,01298938	0,02960582	0,04285308
	Outros Transportes	0,00014298	0,00927225	0,01022025	0,01963548
	Administração Pública	0,00001944	0,01510213	0,01508422	0,03020579
CENTRO-OESTE	Agropecuária	0,00002616	0,00359838	0,00989713	0,01352167
	Mineração e Pelotização	0,00000035	0,00006233	0,00008354	0,00014622
	Petróleo e Outros	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
	Minerais não Metálicos	0,00000170	0,00022205	0,00019266	0,00041641
	Metalurgia	0,00000058	0,00008364	0,00011172	0,00019594
	Papel e Celulose	0,00000057	0,00011424	0,00021279	0,00032761
	Química	0,00000233	0,00012112	0,00007630	0,00019976
	Álcool	0,00000827	0,00161282	0,00226813	0,00388922
	Refino de Petróleo	0,00083690	0,00142583	0,00058873	0,00285146
	Têxtil e Vestuário	0,00000028	0,00001906	0,00007978	0,00009912
	Alimentos e Bebidas	0,00003915	0,00962984	0,01282881	0,02249781
	Outros Produtos	0,00000035	0,00005478	0,00007116	0,00012630
	S.I.U.P.	0,00000404	0,00110681	0,00071340	0,00182425
	Produção de Energia não Hidráulica	0,00000128	0,00001950	0,00002946	0,00005024
	Comércio e Serviços	0,00005225	0,06962497	0,01002006	0,07969728
	Transporte Rodoviário	0,00009978	0,00701264	0,01150192	0,01861434
	Outros Transportes	0,00010632	0,00923163	0,00579935	0,01513730
	Administração Pública	0,00005060	0,03971485	0,02671344	0,06647889

Tabela 21. Multiplicadores de emprego.

	Setor	Gás	Álcool	Derivados de petróleo	Total
SÃO PAULO	Agropecuária	0,00000459	0,00096074	0,00497106	0,00593639
	Mineração e pelotização	0,00000012	0,00003699	0,00004729	0,00008440
	Petróleo e outros	0,00000000	0,00000004	0,00000002	0,00000007
	Minerais não metálicos	0,00002326	0,00518031	0,00357808	0,00878166
	Metalurgia	0,00002612	0,00847215	0,00607907	0,01457734
	Papel e celulose	0,00003716	0,01097298	0,00805370	0,01906383
	Química	0,00023436	0,02245690	0,00955644	0,03224771
	Álcool	0,00004863	0,00932395	0,01792100	0,02729358
	Refino de petróleo	0,04467327	0,73604769	0,19156143	0,97228239
	Têxtil e vestuário	0,00002200	0,00275030	0,00360548	0,00637778
	Alimentos e bebidas	0,00016283	0,05458214	0,07407606	0,12882103
	Outros produtos	0,00011725	0,03836141	0,01945236	0,05793102
	S.I.U.P.	0,00003853	0,01806998	0,00577115	0,02387966
	Produção de energia não Hidráulica	0,00004741	0,00145707	0,00079611	0,00230059
	Comércio e serviços	0,00010244	0,27130858	0,03099713	0,30240816
	Transporte rodoviário	0,00045920	0,06154301	0,05769925	0,11970146
	Outros transportes	0,00022390	0,04367470	0,02618760	0,07008620
	Administração pública	0,00002207	0,02846418	0,02039749	0,04888374
RESTO DO SUDESTE	Agropecuária	0,00002565	0,00323481	0,01236650	0,01562695
	Mineração e pelotização	0,00017034	0,03611087	0,01700000	0,05328120
	Petróleo e outros	0,00000007	0,00004173	0,00001129	0,00005309
	Minerais não metálicos	0,00001230	0,00194200	0,00166423	0,00361854
	Metalurgia	0,00001978	0,00526350	0,00377590	0,00905918
	Papel e celulose	0,00001119	0,00232939	0,00254114	0,00488172
	Química	0,00018465	0,01015904	0,00496546	0,01530915
	Álcool	0,00001083	0,00097857	0,00139969	0,00238909
	Refino de petróleo	0,01488922	0,05172890	0,01626407	0,08288219
	Têxtil e vestuário	0,00000724	0,00071626	0,00146841	0,00219191
	Alimentos e bebidas	0,00004710	0,01319432	0,01940846	0,03264988
	Outros produtos	0,00001966	0,00410568	0,00279023	0,00691557
	S.I.U.P.	0,00002096	0,00605920	0,00249888	0,00857903
	Produção de energia não Hidráulica	0,00052731	0,00750992	0,00315723	0,01119447
	Comércio e serviços	0,00008779	0,18429214	0,02528992	0,20966985
	Transporte rodoviário	0,00020156	0,01911283	0,03184485	0,05115924
	Outros transportes	0,00026712	0,03075043	0,02210932	0,05312687
	Administração pública	0,00002276	0,02316256	0,01864022	0,04182554
SUL	Agropecuária	0,00002283	0,00372062	0,01481322	0,01855668
	Mineração e pelotização	0,00000004	0,00000837	0,00001607	0,00002448
	Petróleo e outros	0,00000001	0,00000449	0,00000251	0,00000701
	Minerais não metálicos	0,00001083	0,00172820	0,00144368	0,00318271
	Metalurgia	0,00000356	0,00109168	0,00096537	0,00206061
	Papel e celulose	0,00002286	0,00637924	0,00613426	0,01253636
	Química	0,00001612	0,00123572	0,00072381	0,00197564
	Álcool	0,00000510	0,00120652	0,00155366	0,00276528
	Refino de petróleo	0,01303900	0,14508601	0,03801137	0,19613638
	Têxtil e vestuário	0,00001211	0,00199532	0,00279663	0,00480406
	Alimentos e bebidas	0,00016400	0,05256959	0,07083828	0,12357187
	Outros produtos	0,00003720	0,01398251	0,00649409	0,02051380
	S.I.U.P.	0,00000850	0,00546158	0,00182685	0,00729692
	Produção de energia não Hidráulica	0,00000056	0,00029113	0,00010340	0,00039509
	Comércio e serviços	0,00006926	0,13384042	0,01653897	0,15044865
	Transporte rodoviário	0,00074462	0,06247600	0,05236020	0,11558082
	Outros transportes	0,00018115	0,02262622	0,01253205	0,03533941
	Administração pública	0,00001789	0,01908585	0,01269527	0,03179901

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 51 – Multiplicadores de emprego.

Fonte: dados da pesquisa.

4.5.3 Síntese dos resultados

Em resumo, a aplicação do modelo inter-regional revelou que os setores que deveriam ser alvo da atenção no desenho de uma política de combate a emissões considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos são aqueles cujo efeito total sobre as emissões é maior que o valor médio da economia (204,12 toneladas de carbono adicionais) (figura 52).

Figura 52 – Setores-alvo para controle do ponto de vista dos efeitos totais nas emissões de um aumento na demanda final.

Fonte: dados da pesquisa.

Sob a ótica das elasticidades, os setores-chave são apontados no quadro 5.

Setores	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Administração pública						
Agropecuária						
Alimentos e bebidas						
Comércio e serviços						
Metalurgia						
Mineração e pelotização						
Outros produtos						
Outros transportes						
Papel e celulose						
Química						
Refino de petróleo						
S.I.U.P.						
Têxtil e vestuário						
Transporte rodoviário						

Quadro 5 – Setores-chave no controle de emissões.

Fonte: dados da pesquisa.

Os maiores impactos na atividade econômica de políticas de restrição, em relação ao valor médio, incidem sobre os setores assinalados no quadro 6.

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Agropecuária						
Mineração e Pelotização						
Petróleo e Outros						
Min. não Metálicos						
Metalurgia						
Papel e Celulose						
Química						
Álcool						
Refino de Petróleo						
Têxtil e Vestuário						
Alimentos e Bebidas						
Outros Produtos						
S.I.U.P.						
Prod. de Energia não Hidráulica						
Comércio e Serviços						
Transp. Rodoviário						
Outros Transportes						
Administração Pública						

Quadro 6 - Setores onde a queda do produto é maior que a média frente ao estabelecimento de um teto máximo de emissões.

Fonte: dados da pesquisa.

Os setores onde a queda do produto é mais acentuada (em relação ao valor médio) na hipótese de que os demais setores não terão capacidade de realocar sua produção para a demanda final são mostrados no quadro 7.

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Agropecuária.						
Mineração e Pelotização						
Petróleo e Outros						
Min. Não Metálicos						
Metalurgia						
Papel e Celulose						
Química						
Álcool						
Refino de Petróleo						
Têxtil e Vestuário						
Alimentos e Bebidas						
Outros Produtos						
S.I.U.P.						
Prod. de Energia não Hidráulica						
Comércio e Serviços						
Transp. Rodoviário						
Outros Transportes						
Administração Pública						

Quadro 7 - Setores onde a queda do produto é maior que a média frente ao estabelecimento de um teto máximo de emissões (supondo incapacidade de realocação da produção pelos demais setores).

Fonte: dados da pesquisa.

A geração de empregos por adicional de emissões é maior que a média nos setores assinalados no quadro 8.

Setor	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	São Paulo	Resto do Sudeste	Sul
Administração Pública						
Agropecuária						
Alimentos e Bebidas						
Comércio e Serviços						
Outros Produtos						

Quadro 8 - Setores que mais geram empregos por emissões adicionais.

Fonte: dados da pesquisa.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho quantificou as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo tanto no nível nacional quanto no nível regional, contemplando seis diferentes regiões.

Em anos recentes, tem-se observado que o Brasil vem apresentando taxas de crescimento de emissões bastante significativas, as quais parecem estar ligadas, considerando os insumos energéticos aqui estudados, ao aumento do uso do gás natural e, de outro lado, à queda relativa na utilização do álcool.

A melhor compreensão da relação entre os problemas das emissões e a atividade econômica é importante para a formulação de políticas ambientais que caminhem no sentido de controlar o efeito estufa.

Neste sentido, este trabalho contribuiu na direção de mapear a intensidade de carbono na economia brasileira identificando os setores alvo para eventuais políticas e, ao mesmo tempo, quantificando o impacto no produto e no emprego de algumas alternativas de controle de emissões.

Os resultados para o Brasil mostraram que para cada R\$ 1 milhão adicional de demanda final, as emissões totais decorrentes serão da ordem de 200 toneladas de CO₂ em média em cada setor considerado e são originadas na sua maior parte do consumo de derivados de petróleo. Os setores Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo são aqueles que mais contribuem para o aumento das emissões.

As emissões adicionais originadas do consumo de gás natural devem-se predominantemente aos efeitos sobre o consumo intermediário naqueles setores

ligados a mineração, produção de energia não hidráulica e transportes. Nos demais setores, excetuando o setor Refino de Petróleo, é o efeito da produção adicional sobre o consumo das famílias que parece determinar a maior parte das emissões adicionais. No caso do álcool, as emissões decorrentes são causadas na sua maioria pelo efeito sobre o consumo das famílias, o qual impacta mais fortemente os setores Petróleo e Outros, Álcool e Administração Pública. No caso das emissões provenientes do consumo de derivados de petróleo é também o efeito sobre o consumo das famílias o responsável maior pelas emissões adicionais. No entanto, nos setores de produção de energia não hidráulica e transportes é a produção adicional destinada diretamente a satisfazer a demanda final que mais influencia as emissões.

Observando-se as emissões pela ótica das elasticidades, as emissões de CO₂ derivadas do consumo de gás natural devem-se mais à demanda final que ao consumo intermediário. No caso do álcool, a demanda final também parece determinar as emissões adicionais de CO₂. No caso das emissões com origem nos derivados de petróleo, os resultados revelaram uma concentração maior das elasticidades nos setores ligados ao comércio, serviços e transporte, porém os impactos tanto totais quanto distributivos estão mais distribuídos na economia por conta da ampla utilização deste insumo.

Com base nos resultados, é possível afirmar, considerando as emissões adicionais das três categorias de combustíveis analisadas, que os setores-chave para o controle do CO₂ são Agropecuária, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos, Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Outros Transportes e Administração Pública. Os setores Agropecuária e Outros Transportes são chave basicamente devido ao consumo de derivados de petróleo. O setor Alimentos e Bebidas parece se destacar por conta do consumo de álcool, enquanto nos demais setores verifica-se uma utilização relativamente maior tanto de derivados de petróleo quanto de álcool.

Quanto aos efeitos sobre o produto do estabelecimento de um teto máximo sobre as emissões, os resultados mostraram que o impacto em todos os setores é menor que o percentual da restrição e que os efeitos tendem a ser maiores naqueles setores onde as ligações do setor com o restante da economia são mais fortes. A

diferença dos resultados entre as duas hipóteses adotadas para a capacidade de reação dos demais setores da economia mostrou que os setores mais afetados pela incapacidade de redirecionar sua produção são, além do setor Comércio e Serviços, os setores Alimentos e Bebidas, Administração Pública e Outros Produtos.

Uma política alternativa de controle via impostos sobre emissões teria como resultados de curto prazo um maior impacto nos preços nos setores de Produção de Energia não Hidráulica e Transporte Rodoviário.

O formulador de política deve ter em conta ainda que, no curto prazo, quando há uma variação na produção de um determinado setor por conta de uma medida de controle de emissões, haverá uma variação no emprego. Pela mesma lógica, a política de geração de empregos passa no curto prazo pelo aumento de emissões.

Os resultados do trabalho indicaram que uma política de geração “limpa” de empregos deveria enfocar principalmente os setores Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Agropecuária e Outros Produtos, os quais apresentam uma geração de empregos mais elevada em relação às emissões adicionais. Além disso, considerando o efeito multiplicador do emprego, cada emprego criado por conta do aumento de um ponto percentual na demanda final nos setores Refino de Petróleo, Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Administração Pública e Outros Transportes acrescenta, com maior intensidade, novos empregos à economia.

Não obstante, o trabalho apontou para a presença de um *trade off* entre restrição de emissões e nível de atividade e entre restrição de emissões e nível de emprego na medida em que os maiores impactos na atividade econômica de políticas de restrição incidem basicamente sobre os setores que mais geram empregos por emissões. Os efeitos deste *trade off* poderiam, contudo, ser diminuídos por meio de políticas tão pontuais quanto possível, atuando-se no nível regional, dado que os resultados obtidos representavam uma média do que acontece nas várias regiões brasileiras.

Os resultados do modelo inter-regional mostraram que as emissões causadas pelos diferentes setores da atividade econômica nas seis regiões

consideradas não dependem da concentração espacial do produto. O efeito total nas emissões de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final é mais intenso nos setores da região Nordeste e Sul, tal que o aumento no produto por parte dos setores daquela região exerce um impacto relativamente mais intenso sobre as emissões.

Nas demais regiões, apenas setores específicos tendem a ser responsáveis por emissões acima do valor médio do setor na economia como um todo. Na região Norte, destaca-se a Produção de Energia não Hidráulica; no Centro-Oeste o setor Outros Transportes; na região São Paulo, os setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário, Refino de Petróleo e Outros Transportes e no Resto do Sudeste aparece o setor Petróleo e Outros.

Do ponto de vista da formulação de eventuais políticas de controle de emissões, os resultados revelaram que em todas as regiões elas devem ser atribuídas em última análise ao efeito da produção adicional sobre o consumo das famílias (efeito induzido). Portanto, eventuais políticas de controle de emissão deveriam ser concentradas nos produtos de consumo das famílias, principalmente nas regiões Nordeste e Sul.

Quanto às elasticidades, os resultados indicaram que o comportamento das emissões totais é determinado pela elasticidade de emissão do álcool e dos derivados de petróleo, dada sua maior utilização na economia. A estimativa regional contribuiu para detalhar os resultados obtidos das elasticidades nacionais

Vista sob o prisma regional, a matriz de elasticidades de emissão do consumo de gás natural mostrou que o impacto vindo do setor Refino de Petróleo mostrado no modelo nacional é originado das regiões São Paulo, Nordeste e Sul.

No caso da matriz de elasticidades para as emissões originadas do álcool, a matriz para o Brasil revelava a concentração quase total no setor Comércio e Serviços. No caso inter-regional, embora esta concentração se mantenha, foi possível identificar que ela tem origem basicamente na região São Paulo e Resto do Sudeste.

O impacto nas emissões originadas do consumo de derivados de petróleo estava concentrado no setor Transporte Rodoviário quando se observou o Brasil

como um todo. A análise inter-regional mostrou que esta concentração se dá nas regiões São Paulo e Resto do Sudeste.

A partir das elasticidades foi possível identificar os setores-chave no nível regional. A análise no nível nacional mostrou que os setores Agropecuária, Alimentos e Bebidas, Outros Produtos, Comércio e Serviços, Transporte Rodoviário, Outros Transportes e Administração Pública eram os setores-chave numa política de controle de emissões. No nível regional, com um nível maior de desagregação, aparecem outros setores localizados especificamente em uma determinada região e outros que são considerados chave, mas não tem importância em todas as regiões.

Do ponto de vista da formulação de política, esta análise permite escolher qual setor de uma região específica deveria merecer mais atenção quanto às emissões. Isto, no entanto, deve ser ponderado pelos custos em termos de produto e nível de emprego de eventuais restrições.

A simulação de uma restrição quantitativa no nível regional mostrou que a distribuição das perdas entre os setores segue o mesmo padrão do caso nacional. No entanto, a partir de uma visão regional foi possível estabelecer que as perdas no produto são mais intensas quando tal restrição é imposta sobre os setores da região São Paulo, com exceção apenas do setor Agropecuária, onde o impacto é maior a partir da restrição imposta ao setor localizado na região Sul. Este resultado ocorre sob as duas hipóteses adotadas, embora quando se adota a hipótese de que os demais setores não conseguem redirecionar sua produção para a demanda final a queda no produto é mais acentuada.

A fixação de volumes máximos de emissão implica, no curto prazo, em inevitáveis restrições da produção, as quais exercem impacto sobre o nível de emprego. A estimação do modelo para o Brasil revelou que a geração de emprego e também a queda, quando de uma restrição, estavam concentradas nos setores Comércio e Serviços, Administração Pública, Alimentos e Bebidas, Agropecuária e Outros Produtos. O modelo inter-regional, por sua vez, apontou em quais regiões este fenômeno acontecia com maior intensidade. Além disso, foi possível verificar no nível regional quantos empregos são criados a partir de cada emprego adicional

gerado por conta de um aumento de um ponto percentual na demanda final em cada região.

Deste modo, a principal contribuição do trabalho consiste em fornecer ao formulador de política informações para a tomada de decisão quanto à melhor estratégia, do ponto de vista econômico, do controle de emissões tanto no nível nacional quanto regional.

No entanto, a discussão acerca de qual política deveria ser adotada e de como ela poderia ser implementada é um avanço que poderia ser discutido em trabalhos futuros. Também seria de interesse para a agenda de pesquisa considerar as possibilidades de uso mais intensivo do álcool, haja vista seu menor coeficiente de emissão *vis a vis* os demais insumos energéticos aqui considerados.

Na mesma linha, seria importante também caminhar na direção da obtenção de melhores informações acerca da utilização do álcool, além de considerar também os mecanismos de abatimento da poluição presentes em toda a economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, P.R.; MONTOYA, M.A. Perspectivas da utilização de modelos insumo-produto na administração do meio ambiente. In: MONTOYA, M.A. **Relações intersetoriais do Mercosul e da economia brasileira: uma abordagem de equilíbrio geral do tipo insumo-produto**. Passo Fundo: EDIUPF, 1998. cap.10, p.345-365
- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. “Key” sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. **Energy Economics**, n.31, p.1673-1678, 2003.
- ALMEIDA, L.T. **Política ambiental: uma análise econômica**. Campinas: Unesp/Papirus, 1998. 192p.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima**. <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/pdf/bndes.pdf> (05 ago. 2002a)
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional**. Brasília, 2002. 200p.
- CASLER, S.D.; BLAIR, P.D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. **Ecological Economics**, v.22, p.19-27, 1997.
- CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mecanismo de desenvolvimento limpo**. <http://www.cebds.com.br/publicacoes/mdl.pdf> (02 set. 2002a)
- FORSSEL, O.; POLENSKE, K. Introduction: input-output and the environment. **Economic Systems Research**, v.10, n.2, p.91-97, 1998.

- GUILHOTO, J.J.M. **Matrizes insumo-produto regionais para a economia brasileira**. Piracicaba: CEPEA, 2003. 403p. (Texto para discussão)
- HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. **Energy Conversion Management**, v.37, n.6-8, p.979-984, 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas regionais do Brasil 2001**. Rio de Janeiro, 2003a. 112p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de contas nacionais 2000-2002**. Rio de Janeiro, 2003b, 210p.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**. <http://www.ipeadata.gov.br> (05 mar. 2004)
- LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J.M. Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. **Energy Policy**, v.30, p.597-611, 2002.
- LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. **Energy Policy**, v.26, n.6, p.495-506, 1998.
- LEONTIEF, W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. **Review of Economics and Statistics**, v.52, n.3, p.262-271, Aug. 1970.
- LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. 2.ed. São Paulo: Nova Cultural, 1986. 226p.
- MACHADO, G.; SCHAEFFER, R.; WORRELL, E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. **Ecological Economics**, v.39, p.409-424, 2001.
- McGILVRAY, J. Linkages, key sectors and development strategy. In: LEONTIEF, W. (Ed.). **Structure, system and economic policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 1977. cap.4,p.49-56.
- MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-output analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.

- MIRANDA, C.R. Economia e meio ambiente: uma abordagem de insumo-produto. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v.10, n.2, p.601-636, ago. 1980.
- RIBEIRO, S.K. **O álcool e o aquecimento global**. Rio de Janeiro: CNI/COINFRA/COOPERSUCAR, 1997. 112p.
- ROSA, L.P.; SCHECHTMAN, R.; SANTOS, M.A., RIBEIRO, S.K. **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis**: abordagem top down. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2002. 115p.
- VAN VUUREN, D.; DEN ELZEN, M.; BERK, M. et al. An evaluation of the level of ambition and implications of the Bush Climate Change Initiative. **Climate Policy**, v.2, p.293-301, 2002.
- VARIAN, H.R. **Microeconomia**: princípios básicos. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 778p.
- YOUNG, C.E.F. International trade and industrial emissions in Brazil: an input-output approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INPUT-OUTPUT TECHNIQUES, 13., Macerata, 2000. **Proceedings**. <http://policy.rutgers.edu/cupr/iioa/iioa.htm> (27 Oct. 2002)