



**USO DE COMBUSTÍVEIS E
EMISSÕES DE CO₂ NO BRASIL: UM
MODELO INTERREGIONAL DE
INSUMO-PRODUTO**

Emerson Martins Hilgemberg
Joaquim Guilhoto

TD Nereus 17-2004

São Paulo
2004

USO DE COMBUSTÍVEIS E EMISSÕES DE CO₂ NO BRASIL: UM MODELO INTERREGIONAL DE INSUMO-PRODUTO

Emerson Martins Hilgemberg
Professor do Departamento de Economia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Joaquim J. M. Guilhoto
Professor da Faculdade de Economia, Administração e Ciências Contábeis
Universidade de São Paulo

Palavras-chave: insumo-produto, efeito estufa, emissões de CO₂, poluição, meio-ambiente

Classificação JEL: D57, Q52

RESUMO

Este trabalho quantifica as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões brasileiras e avalia os impactos de eventuais políticas de controle de emissões. O trabalho mostra 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 consumo das famílias. A análise é complementada pelo cálculo das elasticidades das emissões, a qual possibilitou identificar os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos insumos energéticos para cada uma das regiões estudadas. Foram também realizadas simulações no intuito de avaliar os efeitos na economia de um eventual controle sobre as emissões imposto sobre os vários setores da economia.

ABSTRACT

This work quantifies the CO₂ emissions from energy use of natural gas, alcohol and oil derived products at a 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 the six regions detailing the portion of the total emissions caused by final demand, interindustry consumption and household consumption. The model was also used to make simulations in order to evaluate the economic effects of a hypothetical control on emissions.

1 Introdução

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.

Mais recentemente, no início da década de 1990, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, debateu intensamente a questão das mudanças climáticas e a Assembleia 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).

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

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. por exemplo, 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%.

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 "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.”

Para melhor compreender os problemas ambientais, é bastante pertinente considerar a aplicação de modelos ampliados de insumo-produto², 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).

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

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 inter-relações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia e as emissões de poluentes.

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).

Tendo isto em mente, este artigo avalia 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).

2 Metodologia

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

Este modelo 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.

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.

A utilização de unidades híbridas considera 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). Em outras palavras, é realizada uma **análise de processo**, a qual 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* subseqüentes de insumos energéticos definem os

requerimentos indiretos de energia. Logo, a soma destes dois requerimentos é o **requerimento total de energia**³, cujo cálculo é algumas vezes chamado de **intensidade de energia** (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).

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",

$$\mathbf{E}\mathbf{i} + \mathbf{e}_y = \mathbf{F} \quad (1)$$

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.

Suponha-se um modelo interregional composto por duas regiões no qual o setor 1 de cada uma das 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). As matrizes de energia e de transações interindustriais serão, respectivamente

³ 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.

$$E = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ tEP & tEP & tEP & tEP \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (3)$$

e a matriz em unidades híbridas será

$$\mathbf{Z}^* = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (4)$$

De maneira esquemática, se E_k , e_{ky} e F_k representarem elementos das matriz de energia, pode-se definir esquematicamente \mathbf{Z}^* , \mathbf{X}^* e \mathbf{Y}^* como

$$\mathbf{Z}_i^* = \begin{cases} Z_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ E_k & \text{para as linhas de fluxos de energia} \end{cases} \quad (5)$$

$$\mathbf{Y}_i^* = \begin{cases} Y_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ e_{ky} & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (6)$$

$$\mathbf{X}_i^* = \begin{cases} X_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (7)$$

Logo,

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{Z}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} \\ \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{tEP} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{tEP} \\ \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}$ terá as mesmas unidades de (8), 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 extraíndo-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.

$$\mathbf{F}^* = \begin{bmatrix} tEP & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & tEP & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ou, esquematicamente,

$$\mathbf{F}_i^* = \begin{cases} 0 & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (10)$$

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:

$$\mathbf{d} = \mathbf{F}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \mathbf{A}^* \quad (11)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{F}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (12)$$

Os requerimentos indiretos de energia, γ , são obtidos da diferença entre (11) e (12), ou seja:

$$\mathbf{g} = \mathbf{F}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} - \mathbf{A}^* \right] \quad (13)$$

Assumindo que as emissões de CO₂ estão linearmente relacionadas com os requerimentos de energia 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:

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

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

$$\mathbf{d}_{CO_2} = \mathbf{cF}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \mathbf{A}^* \quad (15)$$

$$\mathbf{a}_{CO_2} = \mathbf{cF}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (16)$$

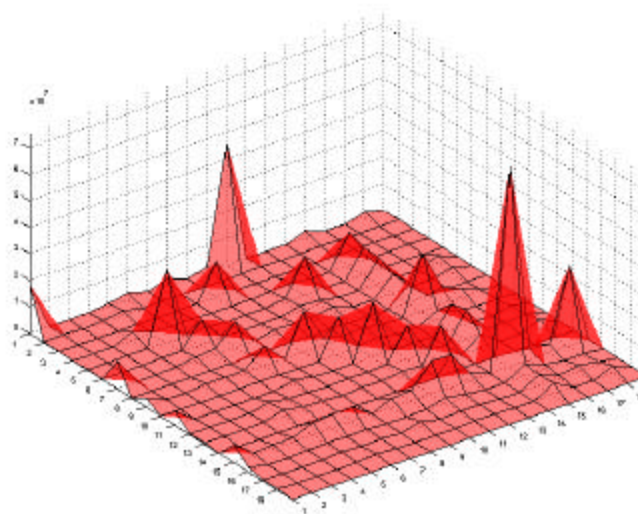
$$\mathbf{g}_{CO_2} = \mathbf{cF}^* (\hat{\mathbf{X}}^*)^{-1} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} - \mathbf{A}^* \right] \quad (17)$$

Quanto aos dados que suportaram este trabalho, foram utilizadas duas bases principais: o Balanço Energético Brasileiro (BEN), publicado pelo Ministério de Minas e Energia e a matriz interregional 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, estes foram compatibilizados e a agregação adotada é mostrada na tabela 1A do Apêndice.

4 Análise dos resultados

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 1, considerando os 18 setores enumerados na tabela 1A.

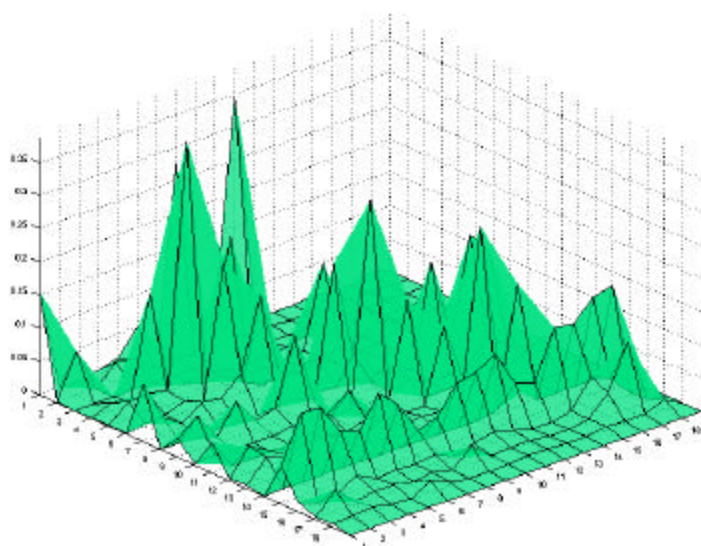


Fonte: dados da pesquisa

Figura 1 – Matriz de relações interindustriais do Brasil em 1999

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

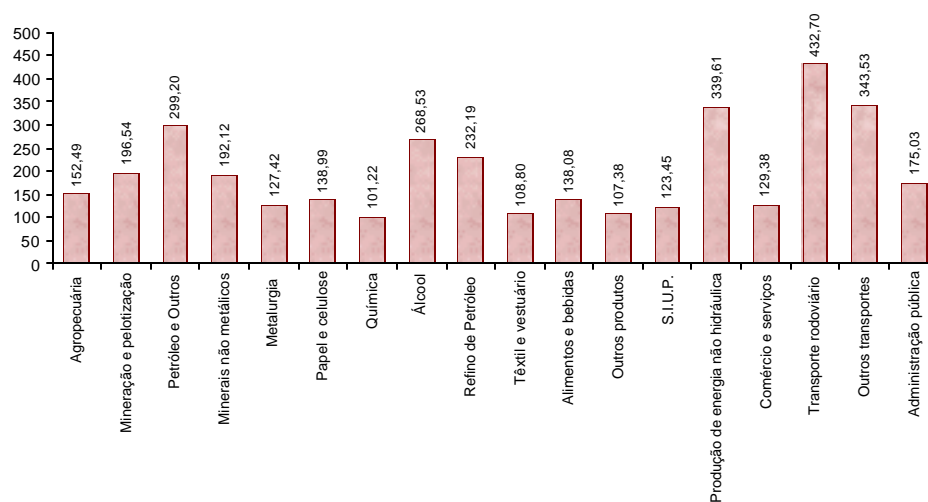


Fonte: dados da pesquisa

Figura 2 – Matriz dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999

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.

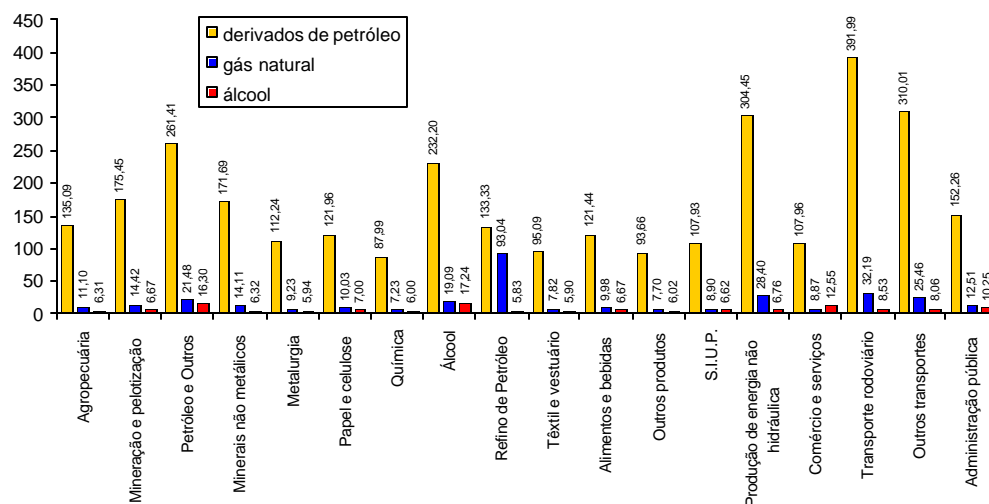
A figura 3 mostra que as emissões adicionais totais na economia. Considerando que a média por setor é da ordem de 200 toneladas de CO₂ adicionais, pode-se observar que os setores Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo são aqueles que mais contribuem para o total.



Fonte: dados da pesquisa

Figura 3 – Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final

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 4).



Fonte: dados da pesquisa

Figura 4 – Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) por combustível utilizado de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final

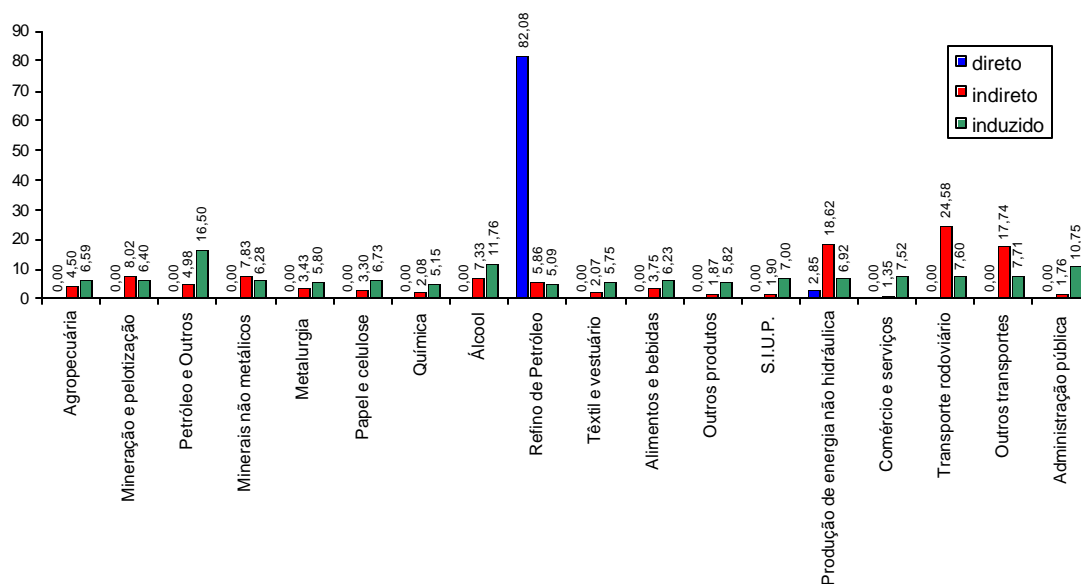
Dado que a média das emissões adicionais de gás natural, álcool e derivados de petróleo é de 19 toneladas, 8,3 toneladas e 173 toneladas de CO₂, respectivamente, são

basicamente os mesmos setores enumerados acima aqueles que mais contribuem para estes valores.

Não obstante, para efeitos de política é necessário efetuar uma análise de processo. As emissões adicionais totais, mostradas nas figuras 3 e 4, 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, àquelas 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 (figura 5), 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.

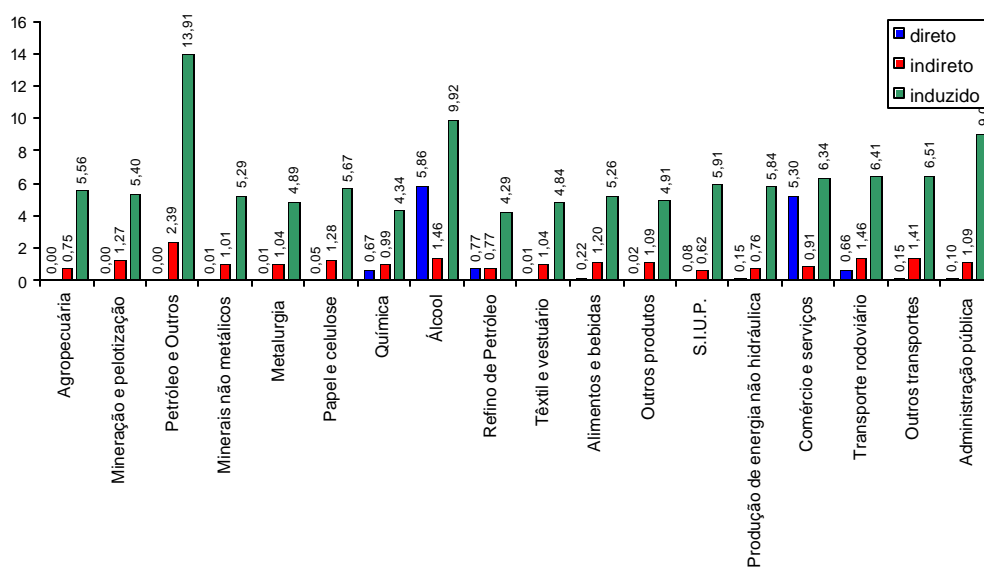


Fonte: dados da pesquisa

Figura 5 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de gás natural

No caso do álcool (figura 6), o primeiro resultado relevante é que o volume das emissões é menor que no caso do gás natural. No entanto, isto pode ser parcialmente explicado pelo fato do álcool ter um coeficiente de emissão menor 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.

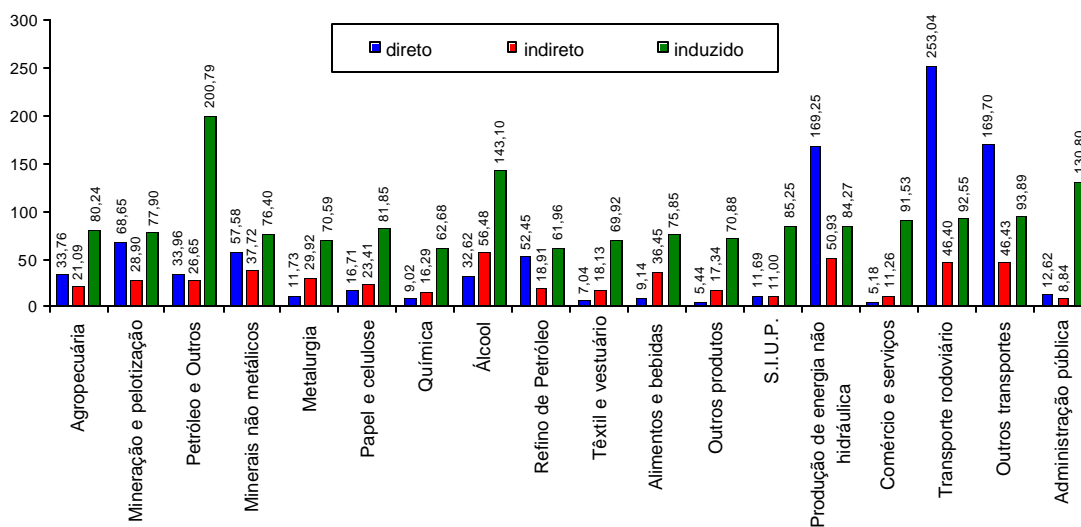
Em geral, os resultados indicaram que as emissões adicionais totais originadas do consumo do álcool são predominantemente causadas pelo efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias, o qual tem um impacto mais forte nos setores Petróleo e Outros, Álcool e Administração Pública.



Fonte: dados da pesquisa

Figura 6 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de álcool

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 7).



Fonte: dados da pesquisa

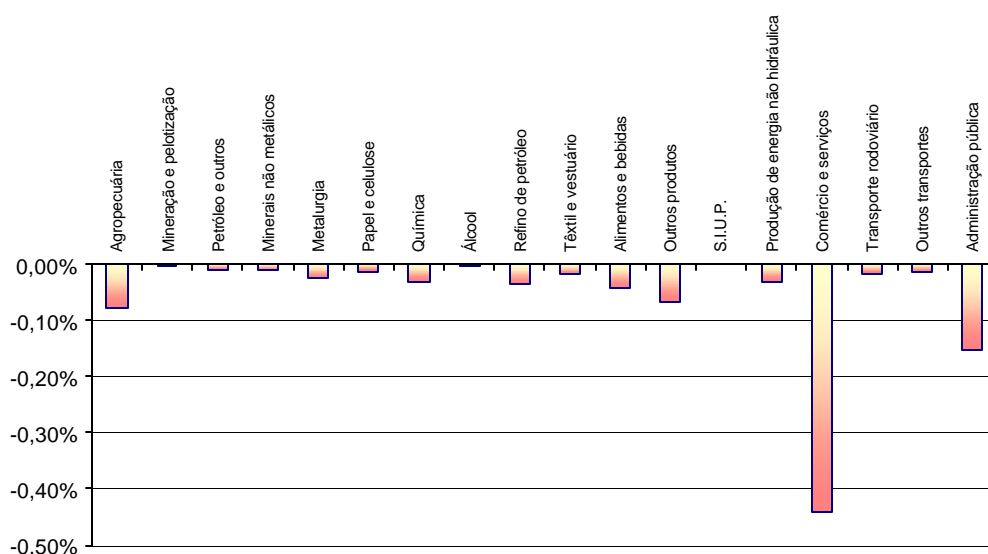
Figura 7 – Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de derivados de petróleo

Como o modelo assume que as emissões estão linearmente relacionadas ao nível de produção, 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 setor⁴.

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 e o impacto intersetorial 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 8.



Fonte: dados da pesquisa

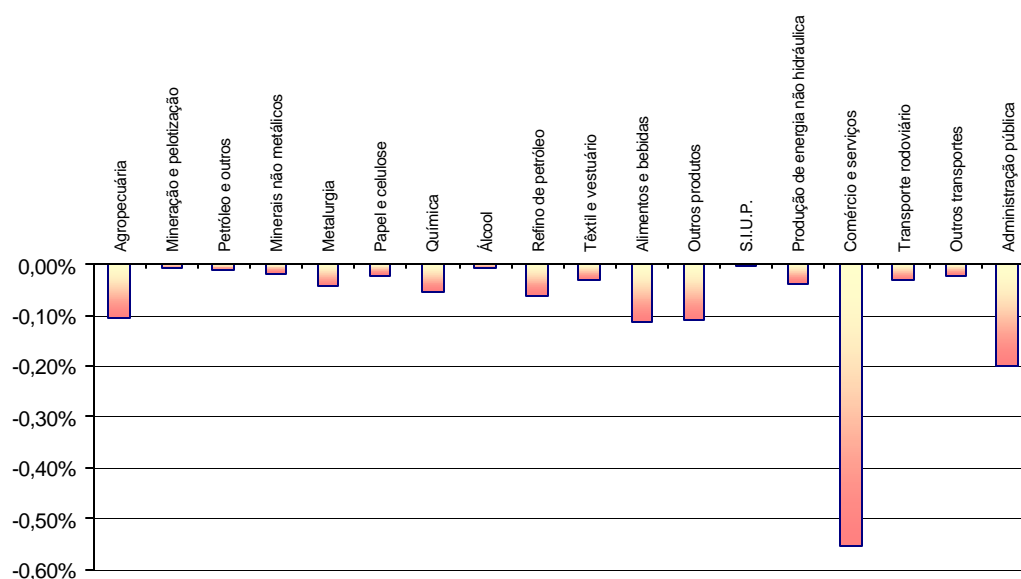
Figura 8 – Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 1)

³ Optou-se por este percentual dada a natureza linear do modelo, pois restrições maiores serão apenas múltiplos desta.

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 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, quanto se impõe uma restrição sobre ele o impacto parece ser maior.

Os efeitos sobre o PIB quando a segunda hipótese é considerada são mostrados na figura 9. 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.



Fonte: dados da pesquisa

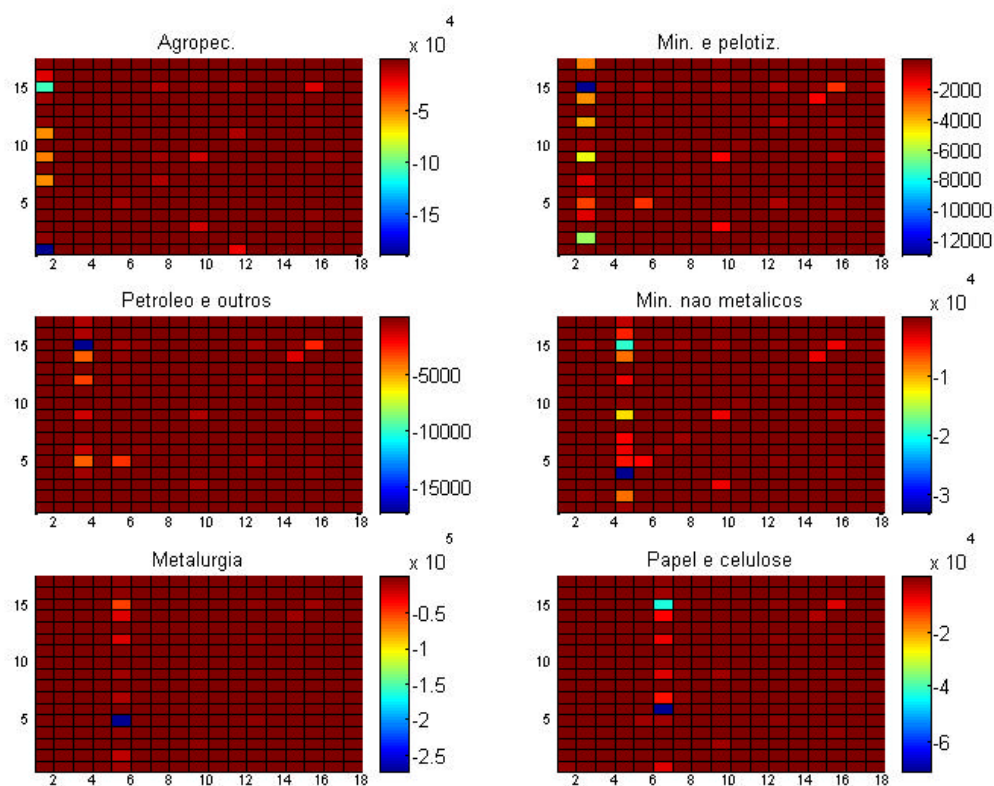
Figura 9 – Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 2)

O efeito no consumo intersectorial quando determinado setor enfrenta a restrição e os demais setores têm de absorver a queda na demanda por seus insumos é mostrado nas figuras 10(a), 10(b) e 10(c).

Naturalmente os maiores impactos são observados na demanda do setor que sofre a restrição, atingindo mais fortemente aqueles setores que tem uma ligação maior

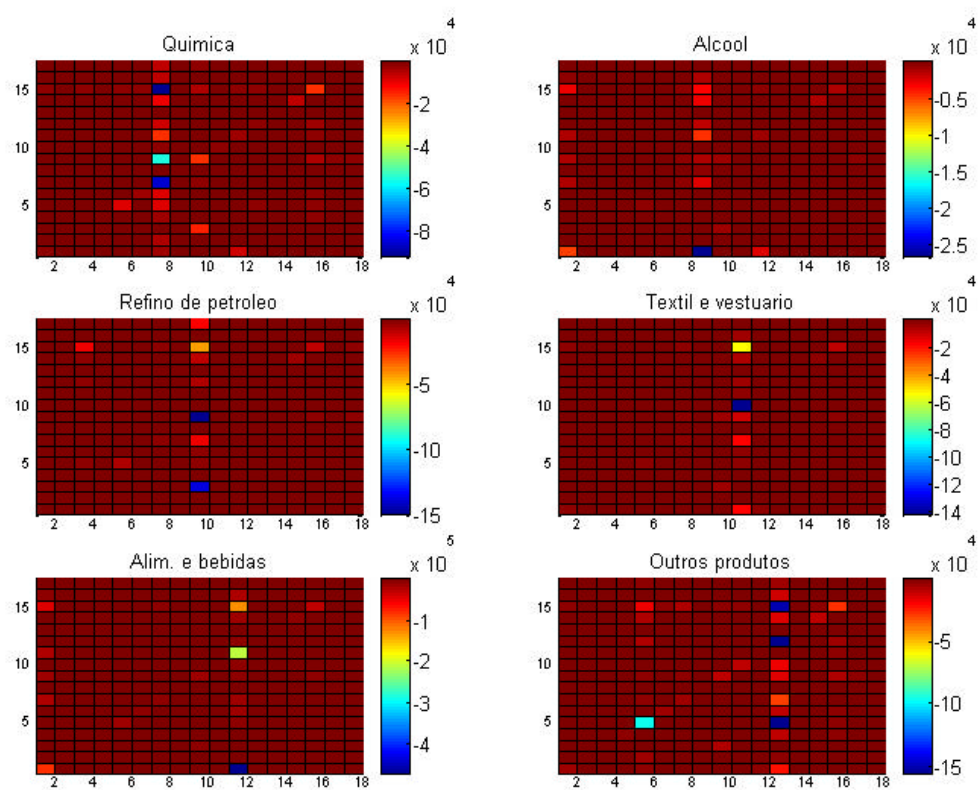
com este setor. No entanto, as figuras também ilustram o efeito em cadeia mencionado, uma vez que os demais setores são forçados a reduzir sua produção frente a demanda menor do setor sob a restrição.

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.



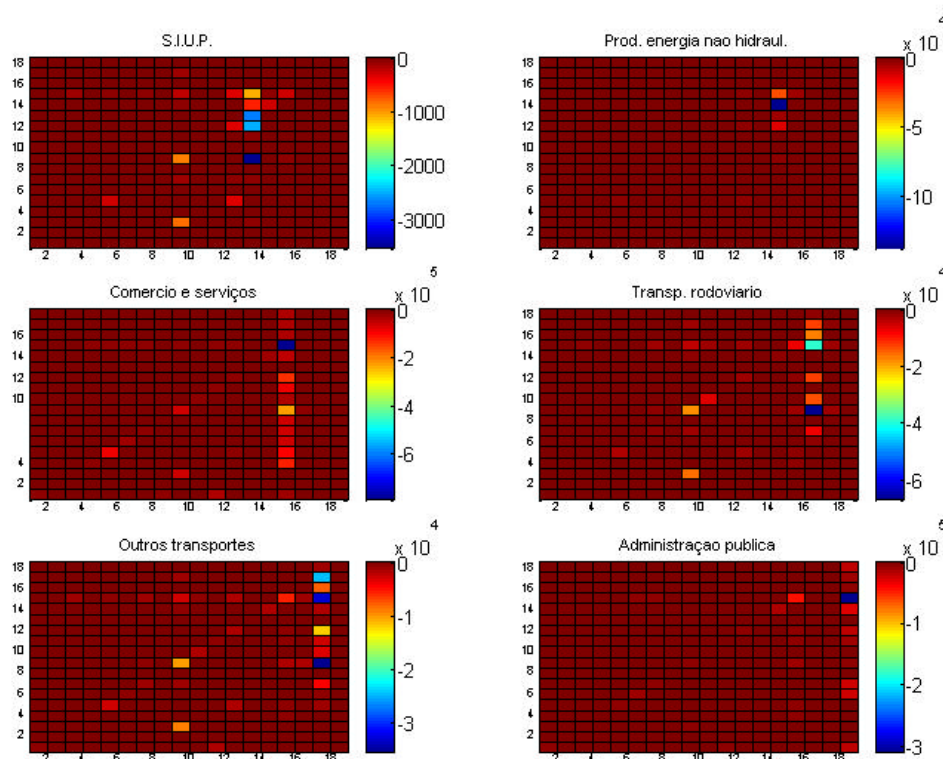
Fonte: dados da pesquisa

Figura 10(a) – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor



Fonte: dados da pesquisa

Figura 10(b) – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor



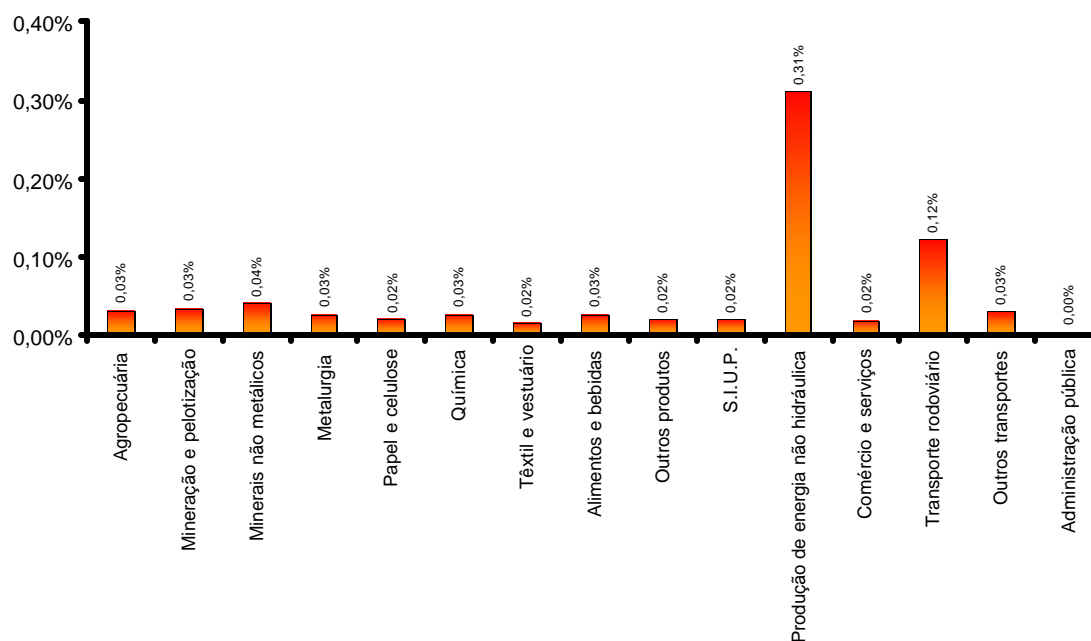
Fonte: dados da pesquisa

Figura 10(c) – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor

A comparação entre o nível de atividade sob as duas hipóteses analisadas mostra 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.

Além da fixação de níveis máximos de emissão, uma política alternativa de controle poderia ser o estabelecimento de um imposto sobre as emissões. 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 11⁵.



Fonte: dados da pesquisa

Figura 11 – Efeito sobre o preço dos produtos quando se estabelece uma alíquota de R\$ 100 por ton. de carbono emitida

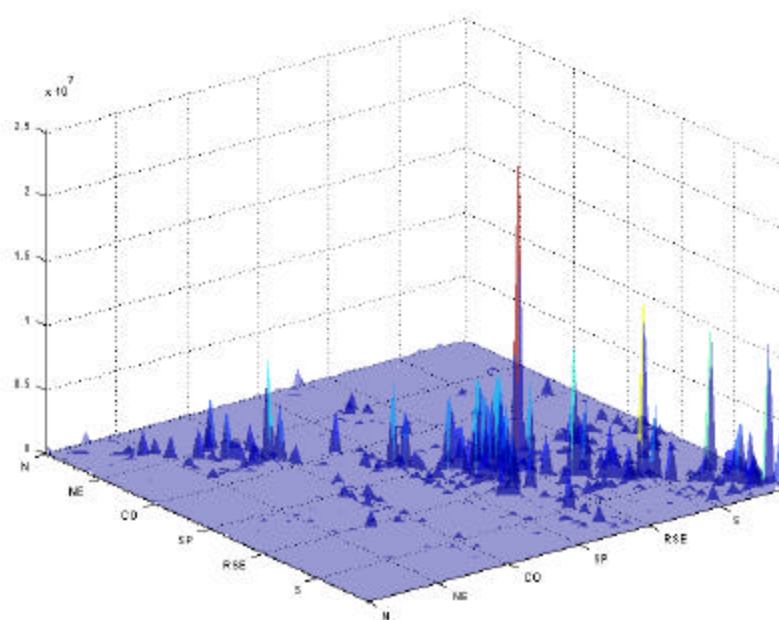
Como é natural num imposto estabelecido desta maneira, os maiores impactos serão sentidos nos setores onde a intensidade de carbono é maior, ou seja, Produção de Energia não Hidráulica e Transporte Rodoviário. Deve-se notar ainda que esta análise está baseada nos efeitos totais das emissões, ou seja, 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 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 Novamente aqui se optou por este valor arbitrariamente a fim de facilitar a análise, pois, dada a natureza linear do modelo, qualquer outro valor será um múltiplo do valor adotado.

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

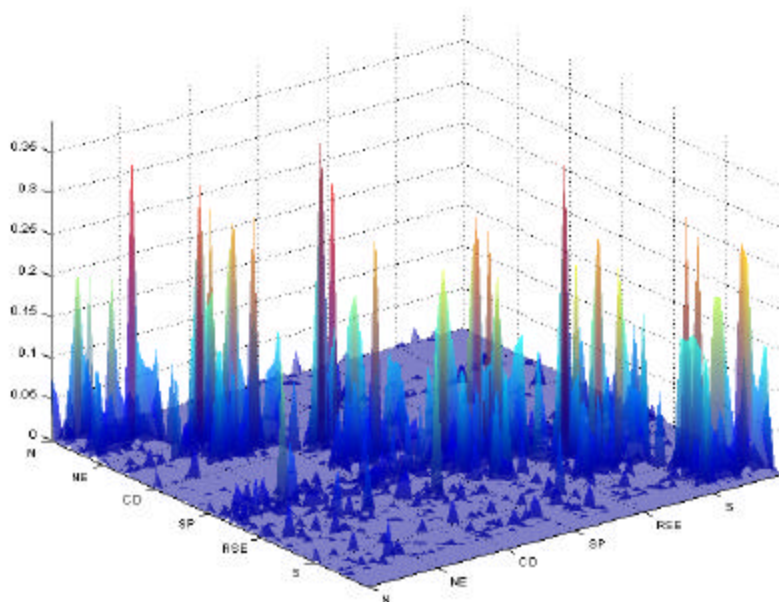
Vista sob a ótica regional, a distribuição da atividade econômica, observada por meio do consumo intermediário pode ser visualizada na figura 12, a qual evidencia o maior vigor relativo das transações interindustriais existente nas regiões São Paulo e Resto do Sudeste.

Esta concentração, contudo, é menor quando se observa a dependência tecnológica regional, medida por intermédio dos coeficientes técnicos. A figura 13 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.



Fonte: dados da pesquisa

Figura 13 – Matriz inter-regional de relações interindustriais do Brasil em 1999



Fonte: dados da pesquisa

Figura 14 – Matriz inter-regional dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999

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 3) 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 15).

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 a variação na demanda final faz que com ela demande uma produção adicional dos

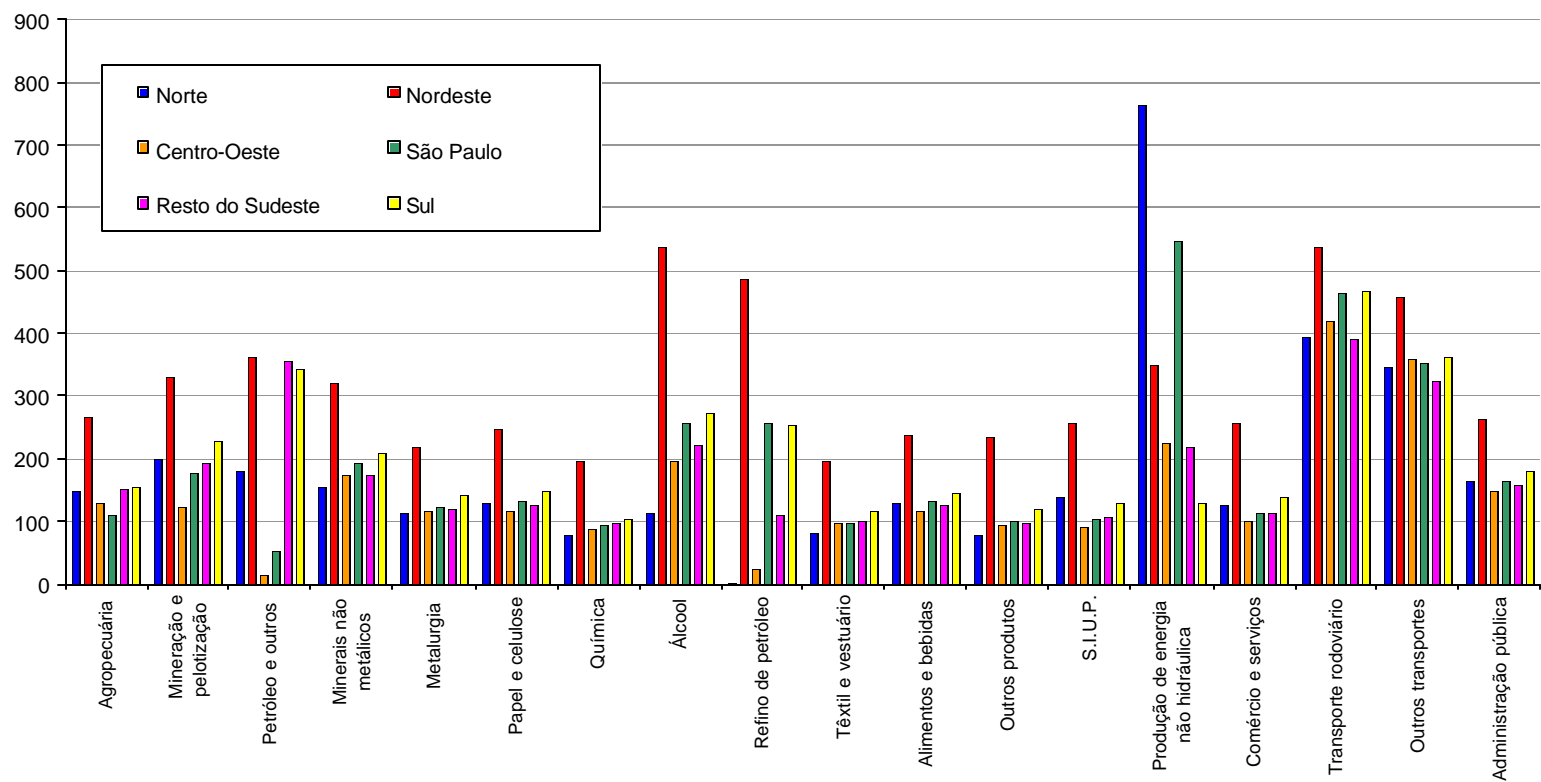
demais setores da sua região e das demais e este aumento no produto destes setores é que exerce um impacto relativamente mais intenso sobre as emissões.

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 produto⁶. 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.

As tabelas 1a e 1b mostram 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.

⁶ 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).



Fonte: dados da pesquisa

Figura 15 - 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

Tabela 1a. Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil.

		Gás natural	Diferença	Alcool	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

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 1b. Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil.

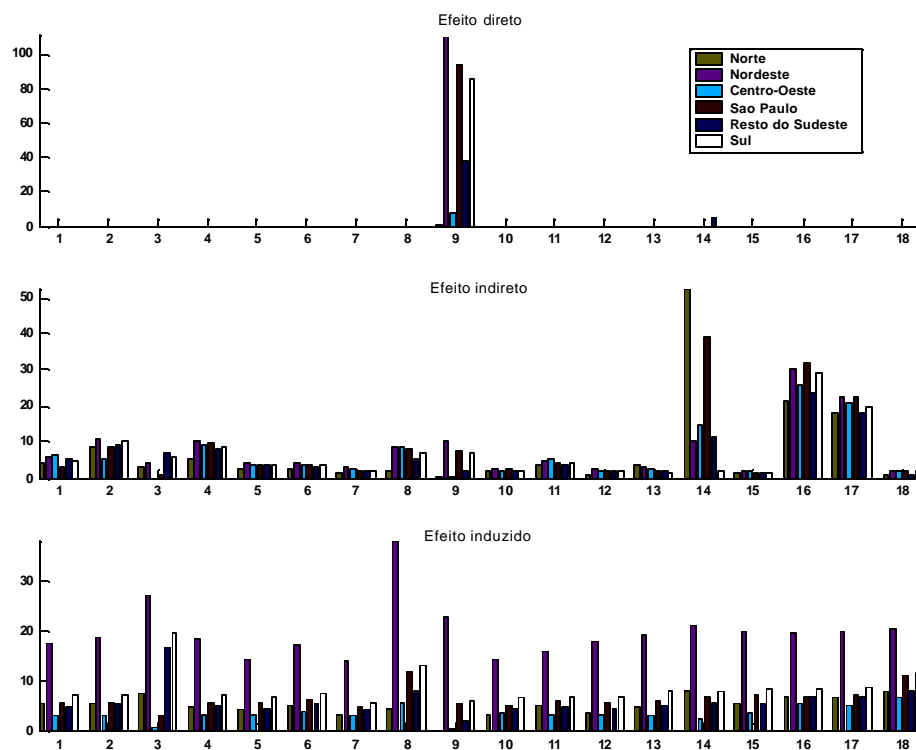
		Gás natural	Diferença	Alcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
São Paulo	1. Agropecuária	8,79	-2,31	4,84	-1,47	96,69	-38,40	110,31	-42,18
	2. Mineração e pelotização	14,55	0,13	5,74	-0,93	158,45	-17,00	178,74	-17,80
	3. Petróleo e outros	4,15	-17,33	2,78	-13,52	45,38	-216,03	52,31	-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	1,01	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

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 5, é devida às regiões Nordeste, São Paulo e Sul (figura 16). 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.

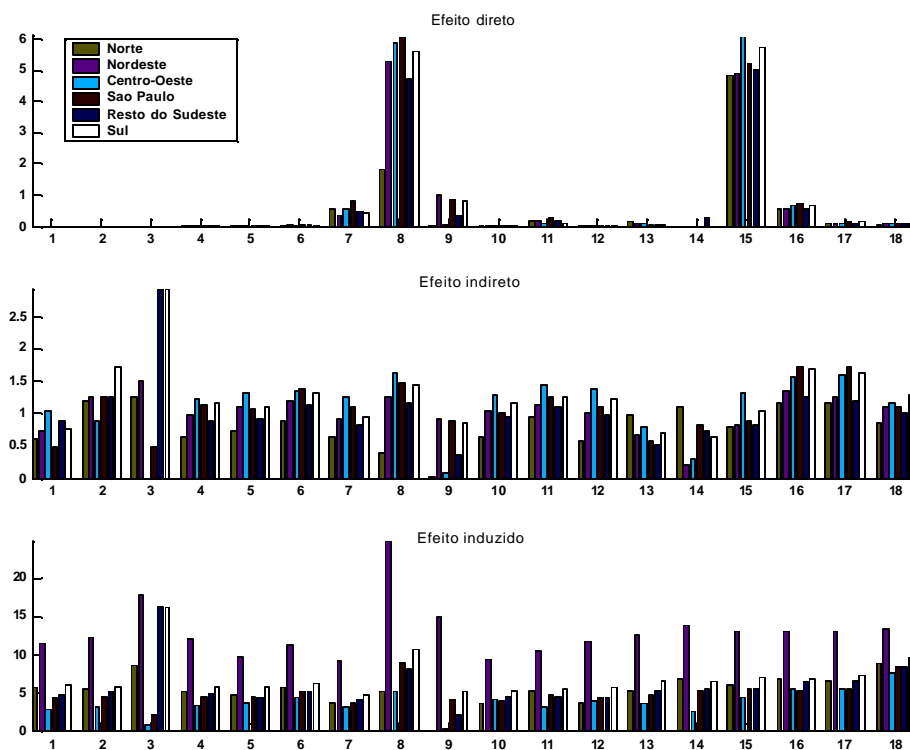


Fonte: dados da pesquisa

Figura 16 – Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de gás natural

Os resultados nacionais das emissões adicionais para o uso de álcool mostraram a importância relativa do efeito do consumo das famílias (figura 6). 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 17).

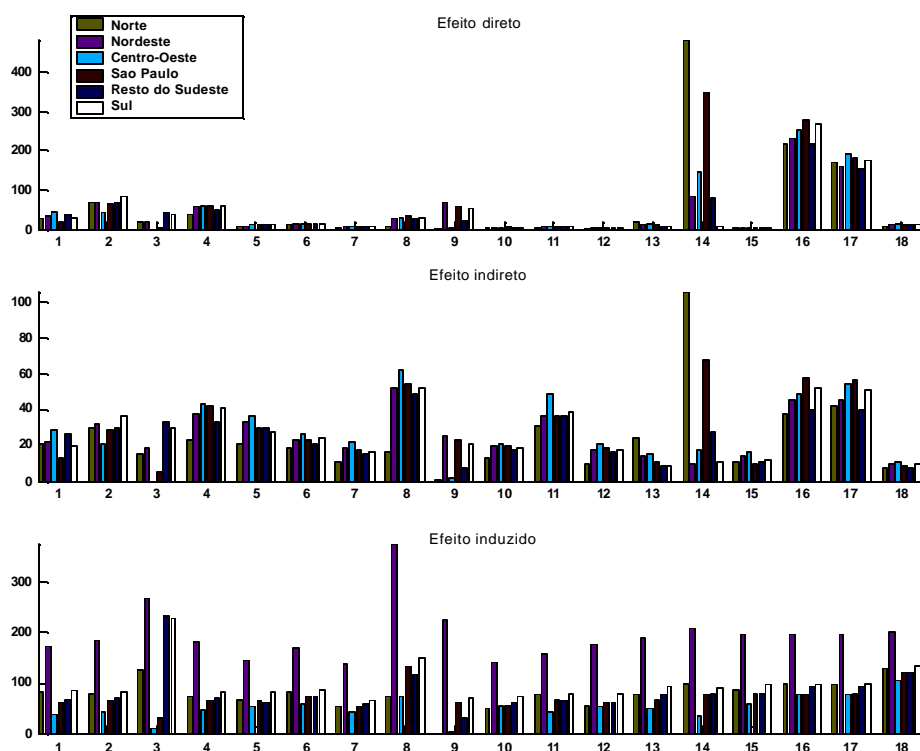
As emissões adicionais causadas pela produção que atende ao consumo intermediário também não podem ser atribuídas de modo mais destacado a nenhuma região específica, exceto no caso do setor Petróleo e Outros, onde se observa a influência importante das regiões Resto do Sudeste e Sul.



Fonte: dados da pesquisa

Figura 17 - Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de álcool

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 18). Para os efeitos do consumo intermediário, as considerações são idênticas.

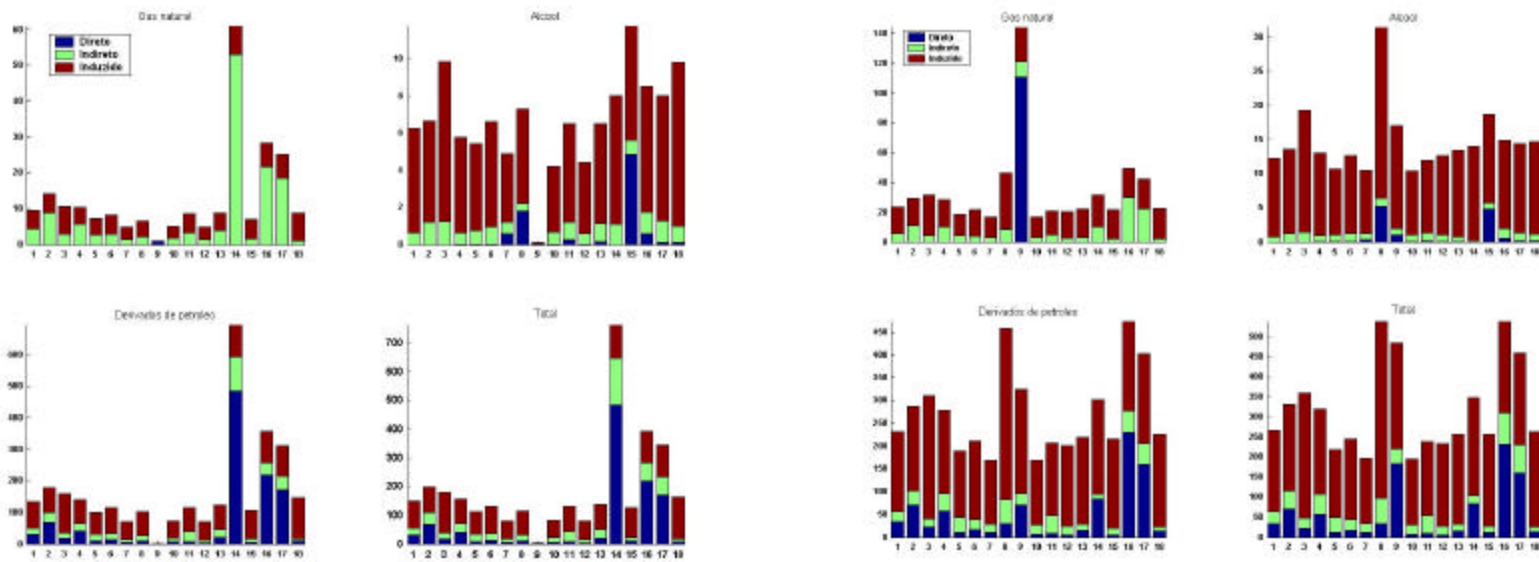


Fonte: dados da pesquisa

Figura 18 - Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de derivados de petróleo

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 reorganizados com o objetivo de mostrar para cada setor em cada região a importância dos efeitos diretos indiretos e induzidos (figuras 18 a 20).

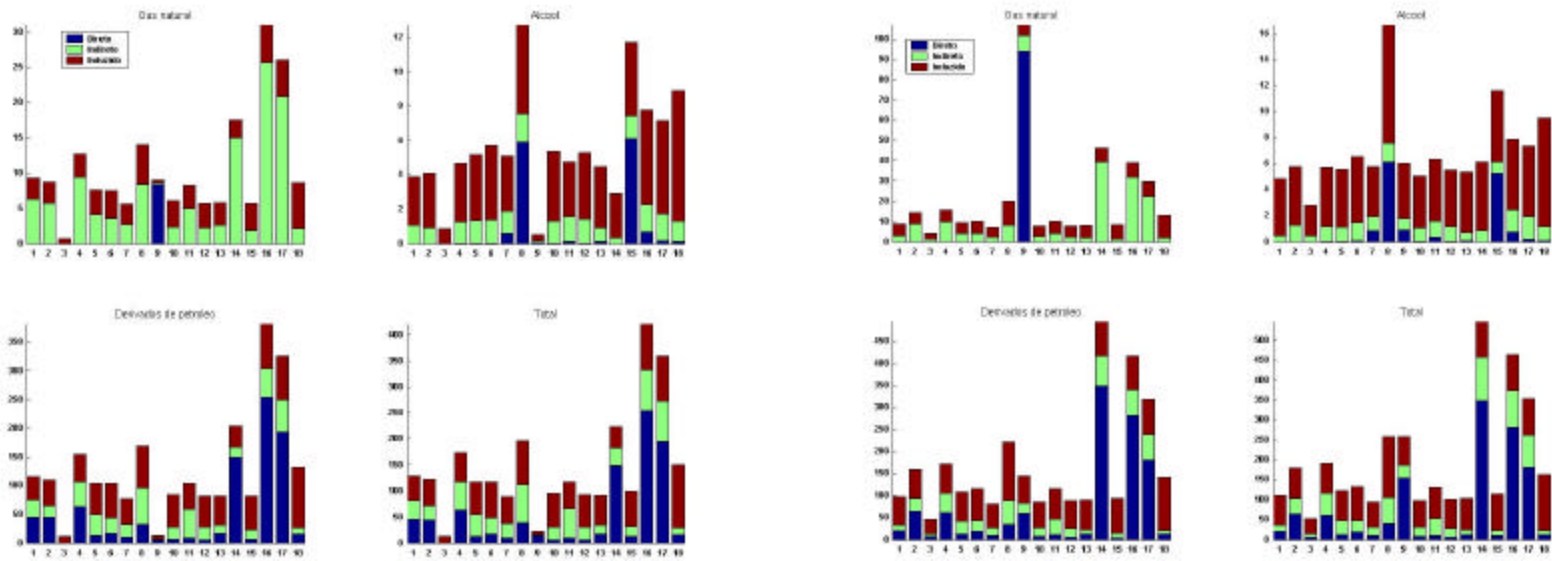


(a) Norte

(b) Nordeste

Fonte: dados da pesquisa

Figura 18 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Norte e Nordeste

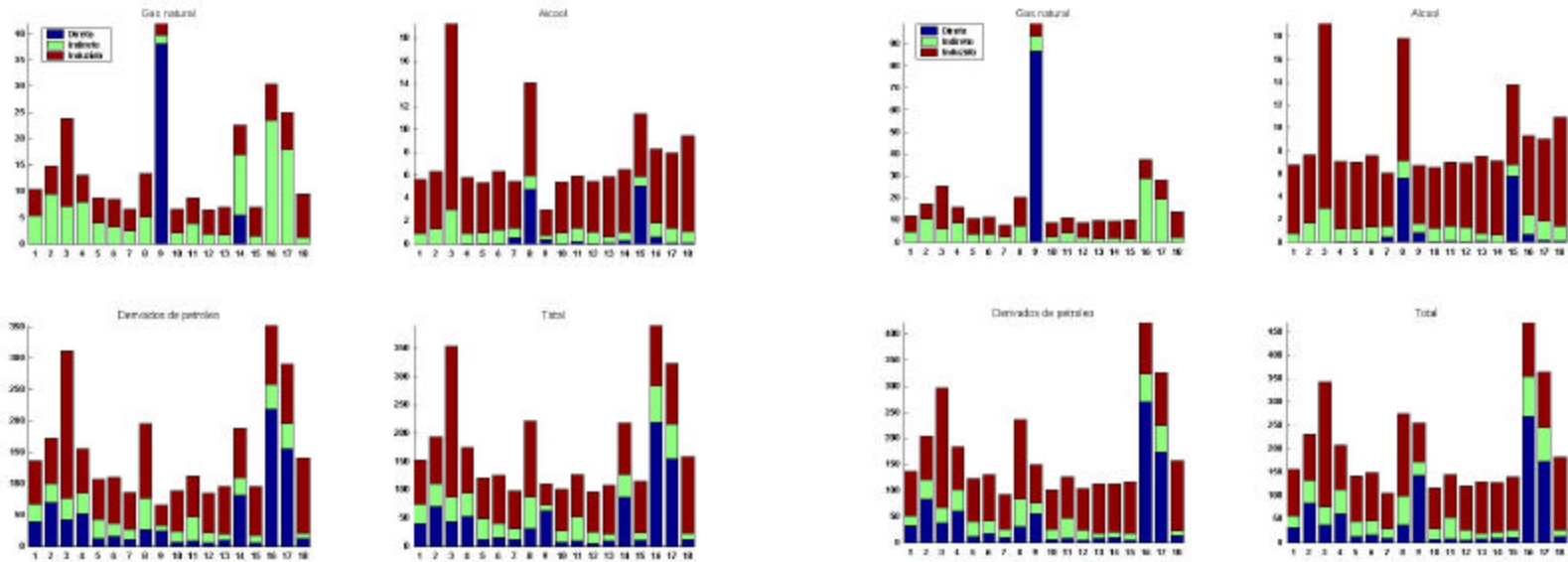


(a) Centro-Oeste

(b) São Paulo

Fonte: dados da pesquisa

Figura 19 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Centro-Oeste e São Paulo



(a) Resto do Sudeste

(b) Sul

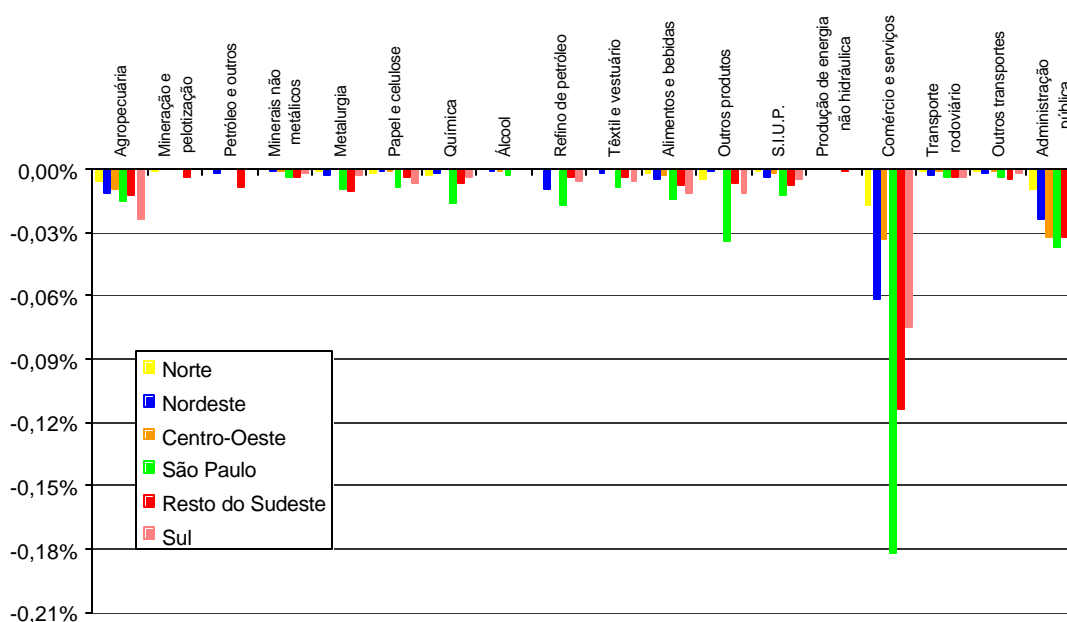
Fonte: dados da pesquisa

Figura 20 - Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Resto do Sudeste e Sul

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.

Para verificar os efeitos regionais do controle de emissões, adotou-se o mesmo procedimento da análise para o Brasil como um todo. 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 figura 21.

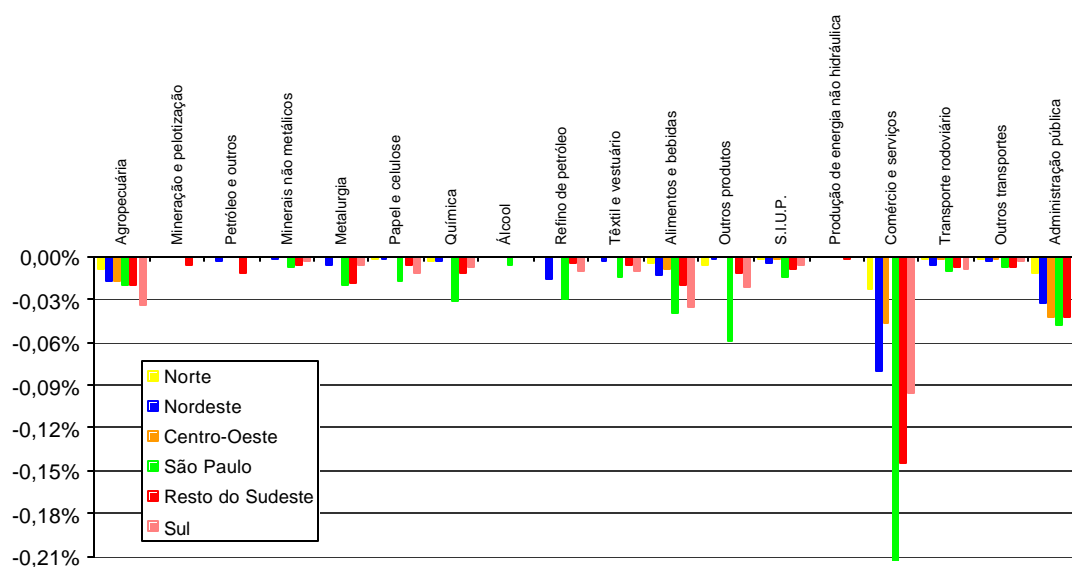


Fonte: dados da pesquisa

Figura 21 - Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 1)

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 22 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 21).



Fonte: dados da pesquisa

Figura 22 - Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 2)

5 Conclusões

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.

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

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

- 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.
- BNDES. **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. **Balanco energético nacional**. Brasília, 2002. 200p.
- CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. **Ecological Economics**, n.22, p.19-27, 1997.
- CEBDS. **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.
- IBGE. **Contas regionais do Brasil 2001**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003a. 112p.
- IBGE. **Sistema de contas nacionais 2000-2002**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003b, 210p.
- IPEA. **IPEADATA**. <http://www.ipeadata.gov.br> (05 mar. 2004).
- MILLER, R; BLAIR, P. **Input-output analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.
- RIBEIRO, S. K. **O álcool e o aquecimento global**. Rio de Janeiro: CNI/COINFRA/COOPERSUCAR, 1997. 112p.
- 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.

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

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>Sílvicultura</i>	62	<i>Distribuição de Energia Elétrica</i>
12	<i>Extrativismo Animal (Pesca)</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>Alubos 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>	18	Administração pública
11	Alimentos e bebidas	86	<i>Saúde Pública</i>
44	<i>Indústria do Café</i>	87	<i>Educação Pública</i>
45	<i>Benef. de outros produtos vegetais</i>	88	<i>Segurança Pública</i>
46	<i>Abate de Aves</i>	89	<i>Outros Serviços da Administração Pública</i>
47	<i>Abate de Bovinos</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>		

