

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE)

Departamento de Economia

**Setores chave da economia brasileira: um modelo insumo-produto de
intensidade de emissão de gás carbônico**

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE)

Departamento de Economia

**Setores chave da economia brasileira: um modelo insumo-produto de
intensidade de emissão de gás carbônico**

Daniel Ribeiro Nunes dos Santos

Orientador: Daniela Freddo

Monografia apresentada ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília, pelo aluno Daniel Ribeiro Nunes dos Santos, portador da matrícula 13/0106623 e sob orientação da professora Daniela Freddo, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Resumo

Esse trabalho visa avaliar a importância dos setores do ponto de vista produtivo e ambiental, afim de se justificar possíveis políticas de desenvolvimento. Para isso, utiliza o instrumental da matriz insumo-produto tradicional e a matriz de unidades híbridas, que proporciona a matriz de intensidade de emissões de gás carbônico. Então, os setores-chaves do ponto de vista da produção são identificados para observar as consequências ambientais de investimentos neles. O setor com melhor *trade off* foi o de Mineração e pelotização. Os setores Energético e Rodoviário foram identificados como chave em ambas as análises.

Palavras-chave: Insumo-produto, Matriz de Energia, Intensidade de emissões, Leontief, setores-chave, matriz de elasticidades

Abstract

This paper aims to evaluate the importance of sectors in a productive and environmental point of view, in order to justify possible development policies. For that, it uses the traditional input-output matrix instrumental and the hybrid units' matrix, which provides the intensity of carbon dioxide emissions matrix. Then, the productive key sectors are identified, so their investment environmental consequences are observed. The sector with the best trade off was Mineração e pelotização. Sectors Energético and Rodoviário were identified as key sectors at both analysis.

Key words: Input-Output, Energy matrix, Intensity of emissions, Leontief, Key sectors, Elasticity matrix

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução | 5 |
| Revisão de literatura | 7 |
| Metodologia e base de dados | 13 |
| Matriz Insumo-Produto | 13 |
| Matriz de Energia | 16 |
| Setores-chave para produção | 18 |
| Setores-chave para emissão de gás carbônico..... | 20 |
| Preparação de dados..... | 22 |
| Resultados | 28 |
| Análise de matriz tradicional..... | 28 |
| Análise de matriz híbrida..... | 34 |
| Análise geral de resultados | 39 |
| Considerações finais..... | 40 |
| Bibliografia..... | 41 |

Introdução

Um problema muito comum na análise de políticas públicas é analisar as implicações de um novo programa de gastos em uma economia (Miller e Blair (2009, p.447).

Essas implicações podem se referir a produção do país, a indicadores como remunerações, empregos, importações, a demanda final, como exportações ou formação bruta de capital fixo, ou até a poluição e uso de energia.

Quando o governo subsidia um determinado setor, ou introduz um novo programa, esse evento vai ter inúmeros efeitos sobre a economia. Um dos efeitos menos analisados, porém não menos importante, é o efeito ambiental.

Em 1992, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, para debater sobre mudanças climáticas e desenvolvimento econômico principalmente. Isso mostra como as preocupações sobre o meio ambiente cresceram nos últimos anos. Essa Conferência tem sido repetida a cada 10 (dez) anos, com a Rio+10 em 2002 acontecendo em Johannesburgo e com a Rio+20 em 2012 novamente no Rio de Janeiro. Mais recentemente, em 2015, ocorreu em Nova York a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável. Nela, foi definida a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que consiste em expandir o desenvolvimento sustentável para o âmbito global.

Nesse contexto, esse trabalho busca analisar as implicações de possíveis políticas de desenvolvimento que possam ser tomadas no Brasil, através de incentivos setoriais. Para isso, é utilizada a metodologia de insumo-produto em dois momentos, um para a produção e outro para poluição, através de uma matriz de intensidade de gás carbônico (CO₂). Através de tal metodologia, busca-se identificar setores-chave em ambos os pontos de vista, para que se possa identificar possíveis *trade-offs* entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável.

Então, esse trabalho foi dividido em 5 capítulos. Essa introdução traz o problema de pesquisa e o objetivo do trabalho.

O segundo capítulo traz uma revisão de literatura sobre a metodologia da matriz insumo-produto tanto do ponto de vista de produção, ou seja, a matriz tradicional, quanto do ponto de vista da poluição, ou seja, a matriz de intensidade de energia.

O terceiro capítulo traz a metodologia utilizada para a construção da matriz tradicional e a matriz de intensidade, além de como fazer a identificação dos setores-chave.

O quarto capítulo traz os resultados obtidos no trabalho e sua análise.

O quinto e último capítulo traz as considerações finais e próximos estudos.

Revisão de literatura

Uma maneira de analisar a economia de um país é descrevê-la por meio de inúmeras relações de interdependência entre seus setores. Leontief (1936) visualiza a atividade econômica de um país como se fosse um extenso sistema contábil. Nesse sistema, as relações de débito e crédito seriam os fluxos de insumos e produtos entre os setores, respectivamente. Leontief distribui essas relações em forma de matriz, de modo que o lado da demanda sempre é igual ao lado da oferta. Essa matriz foi chamada de insumo-produto por Leontief (1936).

De acordo com Guilhoto (2009, p.11), Leontief conseguiu realizar uma “fotografia econômica” da própria economia; nela, mostra-se como os setores relacionam-se entre si – ou seja, quais setores suprem os outros de serviços e produtos e quais compram de quem. Leontief (1936) admite, porém, que a construção de uma tabela com todas as relações existentes na economia seria inviável por não haver total disponibilidade de informação. Por isso, a economia é agregada em apenas dois setores: famílias e negócios.

Miller e Blair (2009, p.160) discutem que a quantidade de setores utilizada na matriz normalmente é afetada por fatores como a análise a ser feita, a disponibilidade de dados e o custo de coleta de mais dados. Miller e Blair (2009, p.168) argumentam que, muitas vezes, é caro obter informação dependendo do nível de detalhamento desejado. Em tais casos, é necessário realizar uma agregação setorial, ou seja, agrupar setores. Essa agregação causa viés na análise de insumo-produto, principalmente na matriz de coeficientes indiretos. Guilhoto (2009, p.25) ressalta que, em muitos casos, a agregação é necessária, pois as matrizes disponíveis apresentam um número de setores e produtos bem superior ao objetivo do estudo.

Hirschman (1958) buscou determinar quais seriam os setores-chave, ou seja, os setores de maior impacto na economia, seja demandando seja sendo ofertando, por meio dos índices de ligações de Rasmussen-Hirschman. Tais índices mensuram o impacto de um setor na economia via oferta e demanda. Rodrigues et al. (2007) argumentam que, embora largamente utilizados na

literatura, os índices são criticados por não levar em conta diferentes níveis de produção em cada setor.

Guilhoto, Sonis e Hewings (1996) desenvolvem o modelo GHS ou modelo de índices de ligação puros que, além de determinar os setores chave, determina as fontes de mudança na economia por meio da separação do impacto de cada setor em vários componentes.

Guilhoto (2009, p.40) argumenta que é possível mensurar o impacto de qualquer componente da demanda final sobre produção total, emprego, salários, impostos, importações e valor adicionado através de uma análise de impacto. Essa análise pode ser apenas direta, por meio de coeficientes, ou direta e indireta, pelo uso de geradores. Coeficientes mensuram a relação entre os itens citados e a produção total do setor enquanto geradores mensuram o quanto é gerado de cada item, a partir de uma variação na demanda final. Guilhoto (2009, p.41) complementa com a análise de impacto de multiplicadores, ou seja, além da geração indireta e indireta há uma multiplicação do impacto da demanda final.

Para construção da matriz de insumo-produto convencional de âmbito nacional, Machado (2002), Hilgemberg (2005) e Casimiro e Guilhoto (2003) utilizam dados das Tabelas de Recursos e Usos (TRU's) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que são dados das Contas Nacionais do país.

Um problema que surge na coleta dos dados refere-se ao fato de que algumas das tabelas são disponibilizadas em preço básico enquanto outras são em preço ao consumidor, o que torna a compatibilização necessária. Paulani e Braga (2012) sugerem duas metodologias para tal: a tecnologia baseada na produção e a tecnologia baseada na indústria.

O *mix* de produção de um setor é a proporção pela qual um determinado setor divide sua produção. A metodologia que usa a tecnologia baseada no produto tem como pressuposto que o *mix* de produção de um setor não pode ser alterado, ou seja, a proporção com que cada produto é gerado é fixa; se o setor desejar aumentar sua produção, deve aumentar a produção de todos os seus produtos garantindo o seu *mix* inicial. Já a metodologia que usa a tecnologia baseada na indústria tem como pressuposto que o *market share* do setor não se altera, podendo em detrimento seu *mix* alterar. Machado (2002),

Hilgemberg (2005), Carvalho e Perobelli (2009) e Rodrigues et al. (2009) assumem a tecnologia baseada na indústria, visto as fortes restrições impostas pela tecnologia baseada no produto.

Leontief (1970) define a poluição como um *by-product*, ou seja, um produto gerado por um processo de consumo ou de produção na economia. Ele usa como exemplos a relação entre a quantidade de monóxido de carbono e a quantidade de gasolina usada nos veículos, e também a relação entre a quantidade de água poluída e a produção de metal, papel e outras indústrias que utilizam diretamente a água como insumo. Leontief (1970) assinala que esses *by-products*, também chamados de externalidades por ele, sendo desejáveis ou não desejáveis, são frequentemente não considerados ou não percebidos por estudos. Eles, porém, podem ser interpretados como resultado da produção dos setores aos quais estão relacionados e, por isso, deveriam ser considerados na matriz insumo-produto convencional, explica Leontief (1970).

Guilhoto (2009) ressalta que o modelo de insumo-produto pode ser estendido para análise de problemas relacionados à poluição, visto que muitas das emissões de poluentes resultam de atividade econômica e as inter-relações entre os setores determinam a magnitude desse impacto.

Muller e Blair (2009, p.400) contextualizam o uso da poluição na análise de insumo-produto. De acordo com eles, na década de 1960, a economia dos Estados Unidos estava crescendo aceleradamente, devido principalmente ao petróleo externo, vindo da Organização de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Ao mesmo tempo, existia uma preocupação pública com possíveis problemas ambientais decorrentes do aumento de uso de energia, especialmente a poluição do ar. Como a energia seria um fator crítico de produção para a maioria dos setores, os estudos da época começaram a ter seu foco em energia.

Leontief (1970) agrega energia ao seu modelo de insumo-produto, apenas internalizando o setor de poluição como um setor da economia. Muller e Blair (2009, p.400) afirmam que essa primeira metodologia de internalização da energia como setor apresenta diversas limitações, mas é útil quando os dados são limitados.

O modelo de insumo-produto de energia determina o total de energia utilizado para produção na economia, diretamente pelo processo de produção e indiretamente pela energia utilizada no processo de produção de insumos. A exigência direta de energia, então, pode ser definida como a energia utilizada como insumo; já a exigência indireta de energia seria a energia utilizada como insumo na produção dos insumos do produto final. A soma de ambas compõe a exigência total de energia (Muller e Blair, 2009, p.401), que também é chamada de intensidade energética.

Na matriz de insumo-produto convencional, a produção total é a mesma do ponto de vista da oferta e da demanda. Essa condição também é imposta na matriz energética, de modo que a energia não pode se perder no sistema. Para isso, são determinadas duas fontes de energia: as primárias, como petróleo bruto, carvão e energia solar, e secundárias, como eletricidade e petróleo refinado (Muller e Blair, 2009, p. 409). O total de intensidade de energia primária tem de ser igual ao total de intensidade de energia secundária mais perdas por conversão energética, como afirmam Carvalho e Perobelli (2009), visto que transformações energéticas não são completamente eficientes. Muller e Blair (2009, p.410) atribuem a essa condição o nome de estado de conservação de energia.

Muller e Blair (2009, p.401) introduzem, então, o modelo de unidades híbridas. Tal modelo é composto da análise de transações, medidas em valor, e da análise energética, medida em unidades físicas, como por exemplo, toneladas de gás (Muller e Blair, 2009, p.404). Quando terminado o modelo, a identidade obtida iguala a energia utilizada na produção de um setor com a energia utilizada na produção de todos os seus insumos (Muller e Blair, 2009, p.410).

Como *proxy* para poluição, Guilhoto (2009, p.48), Carvalho e Perobelli (2009), Hilgemberg e Guilhoto (2006), Muller, Mendelsohn e Nordhaus (2011), Machado (2002) e Hilgemberg (2005) utilizam a emissão de dióxido de carbono (CO₂), o que facilita a disponibilidade de dados.

Hilgemberg e Guilhoto (2006) definem coeficientes de conversão como uma composição de uma matriz de elasticidades intersetoriais da demanda em relação ao consumo final de energia. Com a matriz de insumo-produto de energia de CO₂, é possível estimar uma matriz de insumo-produto de emissões

decorrentes através de tais coeficientes de conversão, como é feito pelos autores.

Carvalho e Perobelli (2009) analisam a intensidade de emissões setoriais e na estrutura de exportações para o estado de São Paulo e para o restante do Brasil. Eles concluem que o crescimento da emissão de poluição foi maior para o restante do Brasil do que para o estado de São Paulo. Além disso, ao analisar 15 setores da economia, identificam como os mais intensivos em poluição os setores Siderurgia, Metalurgia Básica e Transportes. Os setores-chave identificados para o controle de CO₂ foram Agropecuária, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes. Outra conclusão importante do trabalho foi que a pauta exportadora brasileira é intensiva em poluição.

Hilgemberg e Guilhoto (2006) analisam a quantidade de emissões decorrentes de gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões brasileiras e avaliam os impactos de eventuais políticas de controle de emissão. As regiões analisadas foram: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, resto do Sudeste e Sul. A região Nordeste acaba por ser a maior impactada por um aumento de demanda final. Os autores frisam que tal aumento não significa que a região é a maior emissora de CO₂ diretamente, mas sim que ela é a mais afetada direta e indiretamente por um aumento de demanda final. Para comprovar tal ponto, foi observado que as regiões com maior emissão são São Paulo e resto do Sudeste. Então, foi feita uma análise setorial por região. As regiões Nordeste e Sul foram as únicas em que todos os setores tiveram sua emissão maior que a média do Brasil; nas outras regiões, apenas alguns setores apresentaram esse resultado. Finalmente, com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão para políticas, o estudo analisa o efeito nas emissões adicionais devido ao aumento de produção destinado à demanda final (efeito direto), ao consumo intermediário (efeito indireto) e ao consumo das famílias (efeito induzido) - (Hilgemberg e Guilhoto, 2006).

Muller, Mendelsohn e Nordhaus (2011) têm como objetivo estimar a poluição causada por cada setor dos Estados Unidos. Para isso, os autores analisaram comparativamente a relação entre o dano bruto externo e o valor adicional de produção causados pelo setor, como resultado de aumento de sua demanda. Os autores frisam que, mesmo que os danos sejam maiores que os aumentos de produção, isso não significa que o setor deveria ter sua atuação

interrompida. Podem ser feitas medidas de intervenção, e como exemplo eles discutem sobre regulação maior de níveis de emissão. Os dois setores que apresentam a maior relação danos/valor adicional foram Agricultura e Utilidades.

Machado (2002) avalia os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões por parte da economia brasileira. Os resultados mostram que o país é exportador líquido de energia e o resultado marginal de energia é maior na exportação do que na importação, em valor bruto. Esse resultado, porém, é frisado pelo autor que não é positivo. Isso porque as emissões ocorrem no momento da produção, então a exportação significa emissão no Brasil, enquanto importação significa emissão nos países exportadores. Como simulação, o autor “enobrece” a exportação brasileira, aumentando a participação de bens não energéticos (Artefatos Metálicos e Máquinas e Equipamentos de Transporte) e reduzindo a participação de bens da cadeia mineiro-metalúrgica (Extrativa Mineral, Ferro e Aço e Metais Não ferrosos e Outras Metalurgias). Tal simulação é um caso real do que aconteceu com Suécia e Japão. Os resultados são que, mesmo que a exportação de bens não energéticos aumentasse em 38,7%, seria possível mais do que compensar seus impactos sobre o uso de energia e as emissões associadas.

Hilgemberg (2005) quantifica as emissões de CO₂ na economia brasileira decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados do petróleo em nível nacional e em nível regional para auxiliar em possíveis tomadas de decisão quanto a políticas públicas. Os setores identificados como maiores contribuintes para emissões foram: Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia Não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo. Predominantemente nesses setores, o que os destacou foi o efeito indireto (consumo intermediário) e o efeito induzido (consumo das famílias). Foram feitas então, simulações de políticas públicas. Primeiro, o autor impõe uma restrição fixa à emissão. Os resultados mostram que o impacto em todos os setores é menor do que percentual de restrição, embora alguns setores como Comércio e Serviços, Alimentos e Bebidas, Administração Pública e Outros Produtos sejam duramente afetados em termos de produção. A segunda simulação é com um eventual imposto sobre emissões. Nesse

cenário, os setores mais afetados são os de Produção de Energia não Hidráulica e Transporte Rodoviário, em termos de preço.

Para construção de matrizes insumo-produto de energia, Carvalho e Perobelli (2009), Hilgemberg e Guilhoto (2006), Machado (2002) e Hilgemberg (2005) utilizam como base de dados o Balanço Energético Nacional (BEN).

Metodologia e base de dados

Matriz Insumo-Produto

A metodologia utilizada é a de Guilhoto (2009), em que foi construída a matriz de insumo-produto nacional. Para aplicação de tal metodologia, são coletadas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) as tabelas de Recursos e Usos (TRU's)

As TRU's, porém, apresentam uma divergência de medida: a tabela de usos é disponibilizada a preço do consumidor enquanto a de recursos é disponibilizada a preço básico (PB). Para compatibilizá-las, são necessários os conceitos de preço do consumidor (PC) e oferta global a preço do consumidor (OPC):

$$\begin{aligned} PC &= PB + MC + MT + \text{Impostos} \\ OPC &= ONPB + MC + MT + \text{Impostos} + M \end{aligned}$$

Em que MC representa margem de comércio, MT margem de transporte, ONPB oferta nacional a preço básico e M importações.

Guilhoto (2009) ressalta que, em geral, as análises de impacto são feitas com oferta nacional a preço básico. Por isso, a tabela de usos tem seus valores convertidos a preço do consumidor.

O IBGE, porém, disponibiliza apenas os valores agregados de cada item, sendo necessária a distribuição desses por setores, para obtenção do preço básico por setor. É feita então uma matriz de distribuição (D):

$$D_{ij} = \frac{\text{Consumo Intermediário } ij}{\text{Produção } j}$$

Os valores, então, podem ser apropriados entre os setores. Para as margens e impostos (exceto o de importação), multiplica-se D pelo valor da margem do setor. Como o valor agregado das margens tem de ser zero no final, a margem apropriada aos setores de comércio e transporte tem uma obtenção diferente dos demais, sendo igual ao valor negativo da coluna apropriada.

Já para importações e imposto de importação, é necessária outra matriz de distribuição (DI), pois as exportações não apropriam tais itens.

$$DI_{ij} = \frac{\text{Consumo Intermediário } ij}{(\text{Produção} - \text{Exportações})_j}$$

Então, os valores são apropriados da mesma maneira que antes (com o detalhe de a coluna de exportações ser preenchida com zeros pelo motivo já citado). Com isso, é obtida a matriz de oferta nacional a preço básico.

A matriz de ONPB é só o primeiro passo para a obtenção da matriz de insumo-produto. Tem de se obter a matriz de Consumo Intermediário com dimensão setor por setor, já que o objetivo é a relação intersetorial da economia, descrita por Leontief (1936).

Para agregar os produtos, pode-se adotar a tecnologia baseada no produto ou a tecnologia baseada na indústria. Nesse trabalho, adota-se a tecnologia baseada na indústria, visto as superiores limitações do outro modelo, como feito em Machado (2002) e Rodrigues *et al.* (2007). A tecnologia baseada na indústria utiliza as seguintes matrizes, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Definições da metodologia de tecnologia baseada na indústria

| Matriz/Vetor | Descrição |
|--|---------------------------------------|
| $U_{\text{produto} \times \text{setor}}$ | Oferta Nacional a Preço Básico |
| $V_{\text{setor} \times \text{produto}}$ | Tabela de Produção do IBGE |
| $E_{\text{produto} \times 1}$ | Demanda Final Agregada a Preço Básico |
| $Q_{\text{produto} \times 1}$ | Produção Total Agregada |
| $X_{\text{setor} \times 1}$ | Produção Total Agregada |
| $Y_{\text{setor} \times 6}$ | Demanda Final |

A partir da Tabela 1, a seguinte relação fica explícita:

$$Q = U \cdot I + E$$

E também são introduzidas duas relações no modelo:

$$B = U.(X^\wedge)^{-1}$$

$$D = V.(Q^\wedge)^{-1}$$

O que permite reescrever V, X e Q como:

$$V = D.Q^\wedge$$

$$X = D.Q$$

$$Q = B.X^\wedge.I + E$$

Para se chegar a seguinte relação:

$$D.E = (I - D.B).X$$

O modelo de Leontief diz que a Demanda Total é determinada pelo produto entre a Demanda Final e a matriz de Leontief:

$$X = (I - A)^{-1}.Y$$

Em que A representa a matriz de coeficientes técnicos diretos da Matriz de Insumo-Produto:

$$A = \frac{m_{ij}}{X_j}$$

Em que m são as relações intersetoriais da economia. Ao comparar a relação de Leontief com o modelo de tecnologia baseada na indústria, tem-se as seguintes aproximações necessárias:

$$A = DB$$

$$Y = DE$$

Matriz de Energia

O modelo é baseado em Muller e Blair (1985), em que foi construído o modelo de energia em unidades híbridas. Tal modelo fundamenta-se em três matrizes: uma de transações de energia, uma de requerimentos diretos de energia e uma de requerimentos totais de energia.

Assumindo que a energia consumida pela demanda final é dada por e_y , o consumo total de energia é dado por F e E é a matriz de fluxos de energia, pode ser definida a seguinte relação:

$$E + e_y = F$$

Ou seja, a soma da energia consumida pelos setores interindustriais mais o consumo da demanda final é o total de energia consumida na economia.

De posse da matriz E , tem de se adaptar o modelo de Leontief para unidades híbridas. Tal adaptação transforma os fluxos de energia monetária por fluxos de unidades físicas, obtidos na matriz E . Assim, na relação de Leontief:

$$X = Z.Y$$

Os elementos de fluxo de energia são substituídos da seguinte forma: em Z entram elementos de E ; em Y entram elementos de e_y ; em X entram elementos de F , de modo que é obtida uma nova equação com as novas matrizes em unidades híbridas:

$$X^* = Z^*.Y^* = (I - A^*).Y^*$$

Assim, Z^* representa os requerimentos por unidade de demanda final e A^* representa os requerimentos por unidade de produção. Para se obter a matriz de requerimentos diretos de energia e a matriz de requerimentos totais de energia, é necessária a extração das linhas do fluxo de energia de, respectivamente, A^* e Z^* .

Para a definição da matriz de intensidade energética, tem de se continuar a substituição dos elementos do fluxo de energia para definição da matriz de fluxos de energia, representada por F^* . Essa matriz é composta por todos os setores da economia, porém apenas os setores de energia estariam representados, por elementos de F ; o restante dos setores teria seu valor zerado.

Então, com a matriz de fluxos de energia, é definida a matriz de localização de setores energéticos por $F^* \cdot (X^*)^{-1}$.

Assim, após multiplicar a matriz de localização pelos requerimentos determina os coeficientes de energia, ou seja, a intensidade de energia:

$$\begin{aligned}\delta &= F^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot A^* \\ \alpha &= F^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot (I - A^*)^{-1} \\ \gamma &= F^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot ((I - A^*)^{-1} - A^*)\end{aligned}$$

Com as matrizes de intensidade de energia, basta apenas converter a energia utilizada no processo de produção em emissão de gás carbônico, através de uma matriz de coeficientes c . É feita, então, uma pré-multiplicação das matrizes de intensidade por c para obter matrizes de intensidade de emissão:

$$\begin{aligned}\delta^{CO2} &= cF^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot A^* \\ \alpha^{CO2} &= cF^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot (I - A^*)^{-1} \\ \gamma^{CO2} &= cF^* \cdot (X^*)^{-1} \cdot ((I - A^*)^{-1} - A^*)\end{aligned}$$

São ressaltadas, enfim, premissas do modelo. Uma delas é a relação direta entre as emissões de gás carbônico com os requerimentos de energia. Outra é premissa é a manutenção do estado de conservação de energia. Miller e Blair (1985) afirmam que tal manutenção é o que determina a qualidade de um modelo de energia.

Setores-chave para produção

A metodologia utilizada é a de Guilhoto (2009), em que são feitas análise de impacto, análise de geradores e multiplicadores e também a de Casimiro e Guilhoto (2003), em que são feitas análises de indicadores de Rasmussen-Hirschman.

A análise de impacto é feita retomando a equação de Leontief:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y$$
$$\Delta X = (I - A)^{-1} \cdot \Delta Y$$

Ou seja, uma variação na Demanda Final leva a uma variação na produção total. A análise de impacto decompõe os diferentes efeitos dos diferentes componentes de Y, de modo que:

$$\Delta V = \frac{V^{\wedge}}{X} \cdot \Delta X$$

Em que V são os componentes de Y, ou seja, Consumo das Famílias, Gastos do Governo, Investimentos, Exportações etc. A análise também pode ser ampliada para um escopo setorial, em que é observado o efeito de cada componente da demanda final por setor e seus efeitos sobre a produção dos demais setores, inclusive ele mesmo.

O coeficiente direto, então, é determinado por:

$$v = \frac{V}{X}$$

A partir dos coeficientes diretos, pode ser introduzido o conceito de gerador na economia. Os geradores medem o impacto direto e indireto sobre uma variável (emprego, importações, impostos, salários etc.) a partir de uma variação na demanda final:

$$GV = \sum Z_{ij} v_i$$

A partir dos geradores diretos e indiretos, é introduzido o conceito de multiplicador na economia. O multiplicador mede o impacto direto e indireto sobre uma variável a partir de uma variação em outra variável (não a demanda final como no caso dos geradores):

$$MV = \frac{GV}{v}$$

Tal sequência de análises demonstra o nível de encadeamento da economia. Uma mudança na demanda final aumenta a produção total, que impacta uma variável direta e indiretamente. Esse impacto se multiplica em outras variáveis, inclusive nela mesma.

Os índices de Hirschman-Rasmussen, conforme explicam Casimiro e Guilhoto (2003), identificam e analisam o grau de integração setorial de uma determinada economia, ou seja, a inter-relação de setores como ofertantes e demandantes. Esses, respectivamente, são os índices de ligação para frente e para trás da economia.

Para calcular o índice para frente, parte-se da seguinte definição:

$$U_i = \frac{\frac{\sum Z_i}{n}}{\frac{\sum Z}{n^2}}$$

Em que é comparado a ligação para frente de um setor com a média dos setores da economia. O índice para trás é calculado de forma simétrica:

$$U_j = \frac{\frac{\sum Z_j}{n}}{\frac{\sum Z}{n^2}}$$

Para ambos os indicadores, um valor acima de 1 (um) classifica o setor como setor-chave da economia. Um setor-chave para frente é demandado, mais que a média, por outros setores, ou seja, a economia depende dele para

seu crescimento. Já um setor-chave para trás demanda, mais que a média, de outros setores, ou seja, ele depende da economia para seu crescimento.

Setores-chave para emissão de gás carbônico

A metodologia utilizada é a de Hilgemberg (2005), que utilizou a metodologia introduzida por Alcántara e Padilha (2003).

É feita uma analogia à metodologia de Casimiro e Guilhoto (2003). Para aplicar tal relação, é necessário definir a elasticidade para o modelo de unidades híbridas.

Hilgemberg (2005) começa pela definição de um escalar Φ , que representa o total de energia usada pelo sistema produtivo, e φ um vetor do uso de energia por unidade de produto setorial. A partir do modelo de Leontief, então, é definida a seguinte equação:

$$\Phi = \varphi \cdot X = \varphi \cdot (I - A)^{-1} \cdot Y$$

E, como o uso de energia depende da demanda final:

$$\Delta\Phi = \varphi \cdot \Delta X = \varphi \cdot (I - A)^{-1} \cdot Y \cdot \lambda$$

Em que λ é um escalar que representa o aumento proporcional na demanda final. Analogamente:

$$\Delta\Phi = \varphi \cdot (I - A)^{-1} \cdot X^{\wedge} \cdot s \cdot \lambda$$

Em que s representa um vetor de participação das demandas finais setoriais em suas produções. Então, é introduzido o vetor d , que representa a distribuição da energia final entre os setores. A partir dele, é obtida a relação:

$$\varphi = \Phi \cdot d' \cdot X^{\wedge -1}$$

O que permite a reformulação de $\Delta\Phi$ como:

$$\Phi^{-1}\Delta\Phi = d'.X^{\wedge^{-1}}.(I - A)^{-1}.X.s.\lambda$$

E, finalmente, diagonalizando o vetor d' e omitindo-se λ , obtém-se a matriz de elasticidades:

$$\Phi^y = d^{\wedge}.(I - A)^{-1}.s^{\wedge}$$

Em que cada termo da matriz expressa a percentagem de aumento no consumo de energia final de cada setor i em resposta a uma mudança de 1% na demanda final de cada setor j .

Alcántara e Padilha (2003), então, apresentam os conceitos de impacto. O impacto total é o aumento percentual no consumo de energia causado por um aumento de 1% na demanda final do setor j . Já o impacto distributivo é 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. Os valores medianos deles são denominados, respectivamente, de Φ_T e Φ_D .

A partir da mensuração do impacto, Alcántara e Padilha (2003) classificam os setores. Caso o setor apresente impacto total e impacto distributivo maiores que as medianas Φ_T e Φ_D , ele é considerado setor-chave por pressionar o consumo de energia e por ser pressionado a consumir.

Caso o setor apresente apenas impacto total maior que a mediana Φ_T , ele é um setor relevante do ponto de vista da sua demanda por ter alto conteúdo de energia, mas não afeta a distribuição do consumo de energia.

Caso o setor apresente apenas impacto distributivo maior que a mediana Φ_D , ele é um setor relevante do ponto de vista da demanda de outros setores por ele. Logo, apontam Alcántara e Padilha (2003), políticas de restrição de emissões a esses setores podem causar gargalos na economia.

Finalmente, os setores que possuem ambos os impactos total e distributivo menores que as medianas Φ_T e Φ_D são considerados setores não relevantes.

Preparação de dados

Para aplicação da metodologia de insumo-produto tradicional, coletou-se do IBGE as Tabelas de Recursos e Usos para o ano de 2013. Os setores disponíveis estão dispostos na Tabela 2.

Já para aplicação da metodologia de unidades híbridas, foram coletados dados do Balanço Energético Nacional para o ano de 2013. Os setores

Tabela 2 – Setores disponíveis nas Tabelas de Recursos e Usos disponíveis estão dispostos na Tabela 3.

| Setor |
|--|
| Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita |
| Pecuária, inclusive o apoio à pecuária |
| Produção florestal; pesca e aquicultura |
| Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio |
| Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração |
| Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos |
| Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca |
| Fabricação e refino de açúcar |
| Outros produtos alimentares |
| Fabricação de bebidas |
| Fabricação de produtos do fumo |
| Fabricação de produtos têxteis |
| Confecção de artefatos do vestuário e acessórios |
| Fabricação de calçados e de artefatos de couro |
| Fabricação de produtos da madeira |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel |
| Impressão e reprodução de gravações |
| Refino de petróleo e coquerias |
| Fabricação de biocombustíveis |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros |
| Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos |
| Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal |

| |
|--|
| Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos |
| Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos |
| Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos |
| Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos |
| Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores |
| Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores |
| Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas |
| Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades |
| Água, esgoto e gestão de resíduos |
| Construção |
| Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas |
| Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores |
| Transporte terrestre |
| Transporte aquaviário |
| Transporte aéreo |
| Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio |
| Alojamento |
| Alimentação |
| Edição e edição integrada à impressão |
| Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem |
| Telecomunicações |
| Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar |
| Atividades imobiliárias |
| Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas |
| Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D |

| |
|---|
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas |
| Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual |
| Outras atividades administrativas e serviços complementares |
| Atividades de vigilância, segurança e investigação |
| Administração pública, defesa e seguridade social |
| Educação pública |
| Educação privada |
| Saúde pública |
| Saúde privada |
| Atividades artísticas, criativas e de espetáculos |
| Organizações associativas e outros serviços pessoais |
| Serviços domésticos |

Tabela 3 – Setores disponíveis no Balanço Energético Nacional

| Setor |
|-------------------------------------|
| Setor Energético |
| Residencial |
| Comercial |
| Público |
| Agropecuário |
| Rodoviário |
| Ferrovário |
| Aéreo |
| Hidroviário |
| Cimento |
| Ferro-Gusa e Aço |
| Ferro-ligas |
| Mineração e Pelotização |
| Não ferrosos e outros da metalurgia |
| Química |
| Alimentos e Bebidas |
| Têxtil |
| Papel e Celulose |
| Cerâmica |
| Outros |

Como pôde ser visto nas tabelas 2 e 3, os setores disponibilizados são diferentes, então é preciso compatibilizar ambas as bases de dados para montagem do modelo híbrido. A compatibilização é feita do mais desagregado para o menos desagregado, ou seja, os setores do IBGE têm de ser agrupados em setores do BEN. Os setores compatibilizados, então, aparecem na Tabela 4.

Tabela 4 – Setores compatibilizados

| Setor Original | Setor Compatibilizado |
|--|------------------------------|
| Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita | Agropecuário |
| Pecuária, inclusive o apoio à pecuária | Agropecuário |
| Produção florestal; pesca e aquicultura | Agropecuário |
| Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos | Mineração e Pelotização |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | Setor Energético |
| Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração | Mineração e Pelotização |
| Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos | Mineração e Pelotização |
| Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca | Agropecuário |
| Fabricação e refino de açúcar | Alimentos e Bebidas |
| Outros produtos alimentares | Alimentos e Bebidas |
| Fabricação de bebidas | Alimentos e Bebidas |
| Fabricação de produtos do fumo | Química |
| Fabricação de produtos têxteis | Têxtil |
| Confecção de artefatos do vestuário e acessórios | Têxtil |
| Fabricação de calçados e de artefatos de couro | Têxtil |
| Fabricação de produtos da madeira | Cerâmica |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel | Papel e Celulose |
| Impressão e reprodução de gravações | Papel e Celulose |
| Refino de petróleo e coquerias | Setor Energético |
| Fabricação de biocombustíveis | Setor Energético |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | Química |

| | |
|--|-------------------------------------|
| Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos | Química |
| Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal | Química |
| Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos | Química |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | Papel e Celulose |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | Mineração e Pelotização |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | Ferro-Gusa e Aço |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | Não ferrosos e outros da metalurgia |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | Não ferrosos e outros da metalurgia |
| Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos | Outros |
| Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos | Outros |
| Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos | Outros |
| Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças | Outros |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | Outros |
| Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores | Outros |
| Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas | Cerâmica |
| Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos | Outros |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | Setor Energético |
| Água, esgoto e gestão de resíduos | Hidroviário |
| Construção | Cimento |
| Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas | Comercial |
| Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores | Comercial |
| Transporte terrestre | Rodoviário |
| Transporte aquaviário | Hidroviário |
| Transporte aéreo | Aéreo |
| Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio | Outros |
| Alojamento | Outros |
| Alimentação | Alimentos e Bebidas |

| | |
|--|-------------|
| Edição e edição integrada à impressão | Outros |
| Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem | Outros |
| Telecomunicações | Outros |
| Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação | Outros |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | Outros |
| Atividades imobiliárias | Residencial |
| Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas | Outros |
| Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D | Outros |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | Outros |
| Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual | Outros |
| Outras atividades administrativas e serviços complementares | Outros |
| Atividades de vigilância, segurança e investigação | Outros |
| Administração pública, defesa e seguridade social | Público |
| Educação pública | Público |
| Educação privada | Outros |
| Saúde pública | Público |
| Saúde privada | Outros |
| Atividades artísticas, criativas e de espetáculos | Outros |
| Organizações associativas e outros serviços pessoais | Outros |
| Serviços domésticos | Outros |

Com a definição dos novos setores, é preciso transformar o consumo de energia disponibilizado no Balanço Energético Nacional, cuja unidade é o tep (toneladas equivalentes de petróleo), em toneladas de carbono por tera joule (Tc/TJ). Para isso, é utilizado o índice de conversão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Por tal índice, 1 tep equivale a 20 Tc/TJ.

Resultados

Análise de matriz tradicional

O primeiro objetivo é identificar quais são os setores-chave do ponto de vista da produção. Como visto em seções anteriores, o método utilizado para determinar tais setores envolve indicadores de Rasmussen-Hirschmann.

Os indicadores para frente (FL) são significantes quando seu valor é maior que 1; os setores que obtiveram esse resultado estão representados na Tabela 5. Simetricamente, os setores que obtiveram indicadores para trás (BL) maior que 1 estão representados na Tabela 6.

Tabela 5 – Setores-chave para frente

| Setor | Ui |
|--|------|
| Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem | 1,86 |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | 1,55 |
| Impressão e reprodução de gravações | 1,52 |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | 1,50 |
| Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos | 1,47 |
| Transporte aquaviário | 1,43 |

| | |
|--|------|
| Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos | 1,42 |
| Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual | 1,42 |
| Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas | 1,42 |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | 1,41 |
| Atividades de vigilância, segurança e investigação | 1,38 |
| Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos | 1,36 |
| Refino de petróleo e coquerias | 1,36 |
| Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos | 1,31 |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | 1,29 |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | 1,28 |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | 1,27 |
| Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio | 1,26 |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | 1,22 |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | 1,21 |
| Outras atividades administrativas e serviços complementares | 1,19 |
| Fabricação de produtos da madeira | 1,18 |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel | 1,16 |
| Transporte terrestre | 1,16 |
| Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D | 1,15 |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | 1,13 |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | 1,11 |
| Transporte aéreo | 1,10 |
| Água, esgoto e gestão de resíduos | 1,07 |
| Produção florestal; pesca e aquicultura | 1,04 |
| Fabricação de biocombustíveis | 1,03 |

| | |
|--|------|
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | 1,01 |
| Fabricação de produtos têxteis | 1,01 |
| Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação | 1,00 |

Tabela 6 – Setores-chave para trás

| Setor | Uj |
|--|-----------|
| Construção | 3,27 |
| Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores | 2,55 |
| Refino de petróleo e coquerias | 2,21 |
| Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca | 1,76 |
| Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças | 1,71 |
| Administração pública, defesa e seguridade social | 1,65 |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | 1,61 |
| Outros produtos alimentares | 1,60 |
| Transporte terrestre | 1,52 |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | 1,34 |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | 1,31 |
| Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita | 1,27 |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | 1,21 |
| Alimentação | 1,20 |
| Telecomunicações | 1,17 |
| Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos | 1,17 |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | 1,16 |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | 1,11 |
| Organizações associativas e outros serviços pessoais | 1,07 |
| | |

| | |
|---|------|
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | 1,06 |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | 1,05 |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | 1,04 |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | 1,01 |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | 1,00 |

Nessa análise, por exemplo, para cada 1 u.m. produzida na economia, o setor de Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e de imagem é demandado 0,86x a mais que a média dos setores da economia. Analogamente, para cada 1 u.m. produzida na economia, o setor de Construção demanda 2,27x a mais que a média dos setores da economia.

Observa-se que alguns setores aparecem em ambas as tabelas 5 e 6. São eles: Extração de petróleo e gás, inclusive atividades de apoio, Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros, Outras atividades profissionais, científicas e técnicas, Refino de petróleo e coquerias, Energia elétrica, gás natural e outras utilidades, Fabricação de produtos de borracha e de material plástico, Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura, Fabricação de produtos de minerais não metálicos, Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais, Transporte terrestre, Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos, Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores, Intermediação financeira, seguros e previdência complementar, totalizando 13 setores ao todo.

Esses setores têm a capacidade de impulsionar a economia demandando todos os setores e também ofertando. Por isso é importante levá-los em consideração ao, por exemplo, conduzir uma política de fomento da economia.

É interessante o fato de que, dentre esses setores, cinco são siderúrgicos ou metalúrgicos e três são energéticos. A mesma consideração é válida para uma política de fomento da economia por determinadas indústrias.

A partir da determinação dos setores-chave, busca-se determinar seu impacto em outras variáveis da economia. Então, aplica-se a metodologia de

geradores, coeficientes e multiplicadores a esses setores para as variáveis remunerações, empregos e importações nas tabelas 7, 8 e 9.

| Setor | Coeficientes | | |
|--|--------------|----------|-------------|
| | Remunerações | Empregos | Importações |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | 0,10 | 0,36 | 0,06 |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | 0,07 | 0,78 | 0,26 |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | 0,13 | 6,43 | 0,04 |
| Refino de petróleo e coquerias | 0,02 | 0,08 | 0,20 |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | 0,08 | 0,81 | 0,06 |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | 0,20 | 5,22 | 0,14 |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | 0,12 | 1,41 | 0,10 |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | 0,20 | 7,99 | 0,06 |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | 0,12 | 2,37 | 0,14 |
| Transporte terrestre | 0,22 | 12,67 | 0,03 |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | 0,24 | 8,51 | 0,07 |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | 0,23 | 3,90 | 0,11 |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | 0,27 | 2,49 | 0,02 |

Tabela 8 – Geradores para os setores-chave para frente e para trás

| Setor | Geradores | | |
|---|--------------|----------|-------------|
| | Remunerações | Empregos | Importações |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | 0,32 | 6,89 | 0,14 |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | 0,29 | 7,72 | 0,40 |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | 0,52 | 17,93 | 0,12 |
| Refino de petróleo e coquerias | 0,52 | 13,78 | 0,44 |

| | | | |
|--|------|-------|------|
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | 0,34 | 8,95 | 0,16 |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | 0,36 | 12,38 | 0,24 |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | 0,36 | 9,64 | 0,20 |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | 0,40 | 15,54 | 0,15 |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | 0,32 | 7,53 | 0,26 |
| Transporte terrestre | 0,60 | 25,51 | 0,20 |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | 0,41 | 14,24 | 0,15 |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | 0,43 | 10,26 | 0,21 |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | 0,88 | 24,26 | 0,12 |

| Setor | Multiplicadores | | |
|--|-----------------|----------|-------------|
| | Remunerações | Empregos | Importações |
| Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio | 3,26 | 18,94 | 2,13 |
| Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros | 3,83 | 9,89 | 1,53 |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas | 4,12 | 2,79 | 2,98 |
| Refino de petróleo e coquearias | 24,17 | 168,15 | 2,21 |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades | 4,22 | 11,00 | 2,90 |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico | 1,84 | 2,37 | 1,78 |
| Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura | 3,02 | 6,84 | 2,06 |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos | 1,99 | 1,94 | 2,30 |
| Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais | 2,61 | 3,18 | 1,84 |
| Transporte terrestre | 2,70 | 2,01 | 5,72 |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | 1,72 | 1,67 | 2,06 |
| Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores | 1,88 | 2,63 | 1,90 |
| | | | |

| | | | |
|--|------|------|------|
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar | 3,30 | 9,72 | 7,11 |
|--|------|------|------|

Na tabela 7, determina-se a intensidade de cada setor em cada um dos itens (remunerações, empregos e importações). Assim, dos setores-chave, o mais intensivo em remunerações é o de Intermediação financeira, seguros e previdência complementar. O mais intensivo em empregos é o de Transporte terrestre. Já o mais intensivo em importações é o de Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros.

Na tabela 8, determina-se o impacto gerador de cada setor sobre cada item. Assim, o objetivo desse indicador é determinar qual setor tem maior sensibilidade ao item em questão. Para remunerações e salários, os setores mais intensivos são também os que mais geram, direta e indiretamente. Já para importações, o setor mais sensível é o de Refino de petróleo e coquerias. Uma aplicação numérica do indicador é, por exemplo, que a partir de um aumento de 1 u.m. na demanda total, o setor de intermediação financeiro gera 0,88 remunerações.

Na tabela 9, determina-se o impacto multiplicador de cada setor sobre cada item. Assim, tal indicador mensura o encadeamento da economia. Para remunerações, o setor com maior multiplicador é o de Refino de petróleo e coquerias. Para empregos, o de Refino de petróleo e coquerias também se destaca. Finalmente, para importações, o setor com maior relevância é o de Intermediação financeira, seguros e previdência complementar. Uma aplicação numérica do indicador é, por exemplo, que a partir de uma geração de 1 remuneração, o setor de Refino de petróleo e coquerias multiplica 24,17 remunerações na economia.

Análise de matriz híbrida

O primeiro objetivo é observar a distribuição do consumo final de energia entre os setores disponíveis no BEN. A alocação encontra-se presente na

Tabela 10 – Distribuição da energia final por setor

Tabela 10.

| Setor | % Consumo Energia Final |
|--------------|--------------------------------|
|--------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Setor Energético | 11% |
| Residencial | 10% |
| Comercial | 3% |
| Público | 2% |
| Agropecuário | 4% |
| Rodoviário | 32% |
| Aéreo | 2% |
| Hidroviário | 1% |
| Cimento | 2% |
| Ferro-Gusa e Aço | 7% |
| Mineração e Pelotização | 1% |
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 3% |
| Química | 3% |
| Alimentos e Bebidas | 10% |
| Têxtil | 0% |
| Papel e Celulose | 4% |
| Cerâmica | 2% |
| Outros | 3% |

Observa-se que o setor mais intensivo em energia final é o Rodoviário, com ampla diferença para os demais setores, absorvendo 32% do total de energia. Os setores Energético, Residencial e Alimentos e Bebidas o seguem com 11%, 10% e 10% da energia final, respectivamente.

Então, é obtida a participação da demanda final na produção total dos

Tabela 11 – Participação da demanda final na produção total por setor
setores, demonstradas na Tabela 11.

| Setor | Participação |
|-------------------------------------|---------------------|
| Setor Energético | 30% |
| Residencial | 86% |
| Comercial | 60% |
| Público | 98% |
| Agropecuário | 56% |
| Rodoviário | 35% |
| Aéreo | 34% |
| Hidroviário | 35% |
| Cimento | 84% |
| Ferro-Gusa e Aço | 21% |
| Mineração e Pelotização | 39% |
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 29% |
| Química | 38% |

| | |
|---------------------|-----|
| Alimentos e Bebidas | 73% |
| Têxtil | 73% |
| Papel e Celulose | 22% |
| Cerâmica | 62% |
| Outros | 52% |

É importante ressaltar as participações dos setores Público, Residencial e Cimento, que foram 98%, 86% e 85%, respectivamente. O primeiro é justificado pelo item Consumo do Governo, na demanda final. O segundo pelo Consumo das Famílias. O terceiro pela Formação Bruta de Capital Fixo.

Com as tabelas 10 e 11, então, é possível calcular a matriz de elasticidades, disponível nas tabelas 12.1, 12.2 e 12.3.

Tabela 12.1 – Matriz de elasticidades

| Matriz de Elasticidades | Setor Energético | Residencial | Comercial | Público | Agropecuário | Rodoviário |
|-------------------------------------|------------------|-------------|-----------|---------|--------------|------------|
| Setor Energético | 6% | 0% | 1% | 0% | 1% | 1% |
| Residencial | 0% | 9% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Comercial | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 0% |
| Público | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% |
| Agropecuário | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% |
| Rodoviário | 1% | 0% | 3% | 2% | 2% | 13% |
| Aéreo | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hidroviário | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cimento | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Ferro-Gusa e Aço | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Mineração e Pelotização | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Química | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Alimentos e Bebidas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Têxtil | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Papel e Celulose | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cerâmica | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

| | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| Outros | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
|--------|----|----|----|----|----|----|

Tabela 12.2 – Matriz de elasticidades

| Matriz de Elasticidades | Aéreo | Hidroviário | Cimento | Ferro-Gusa e Aço | Mineração e Pelotização | Não ferrosos e outros da metalurgia |
|-------------------------------------|-------|-------------|---------|------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Setor Energético | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| Residencial | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Comercial | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Público | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Agropecuário | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Rodoviário | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 0% |
| Aéreo | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hidroviário | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cimento | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 0% |
| Ferro-Gusa e Aço | 0% | 0% | 2% | 2% | 0% | 0% |
| Mineração e Pelotização | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% |
| Química | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Alimentos e Bebidas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Têxtil | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Papel e Celulose | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cerâmica | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outros | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Tabela 12.3 – Matriz de elasticidades

| Matriz de Elasticidades | Química | Alimentos e Bebidas | Têxtil | Papel e Celulose | Cerâmica | Outros |
|-------------------------|---------|---------------------|--------|------------------|----------|--------|
| Setor Energético | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Residencial | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Comercial | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Público | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Agropecuário | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Rodoviário | 1% | 3% | 1% | 0% | 0% | 4% |
| Aéreo | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hidroviário | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cimento | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Ferro-Gusa e Aço | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% |
| Mineração e Pelotização | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Química | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Alimentos e Bebidas | 0% | 8% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Têxtil | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Papel e Celulose | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 1% |
| Cerâmica | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |
| Outros | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% |

As matrizes de elasticidades são interpretadas do seguinte modo: na tabela 12.1, por exemplo, o setor Rodoviário tem seu aumento de consumo final de energia na ordem de 1% após um aumento de 1% no aumento da demanda final do setor Energético.

Com as elasticidades, foram então calculados os efeitos distributivos e totais dos setores na tabela 13.

Na análise do efeito total, os setores que causam maior variação de consumo de energia após um aumento em sua demanda final são os setores Rodoviário e Alimentos e Bebidas. O primeiro causa uma variação no total de energia na economia de 4,1%. Já o segundo aumenta a energia em 1,9%.

Tabela 13 – Efeito distributivo e efeito total, por setor

| | Distributivo | Total |
|-------------------------------------|--------------|-------|
| Setor Energético | 5% | 1% |
| Residencial | 1% | 1% |
| Comercial | 1% | 1% |
| Público | 0% | 1% |
| Agropecuário | 1% | 1% |
| Rodoviário | 19% | 4% |
| Aéreo | 1% | 0% |
| Hidroviário | 0% | 0% |
| Cimento | 0% | 1% |
| Ferro-Gusa e Aço | 5% | 0% |
| Mineração e Pelotização | 1% | 0% |
| Não ferrosos e outros da metalurgia | 2% | 0% |
| Química | 2% | 0% |
| Alimentos e Bebidas | 2% | 2% |
| Têxtil | 0% | 0% |
| Papel e Celulose | 3% | 0% |
| Cerâmica | 1% | 0% |

| | | |
|--------|----|----|
| Outros | 1% | 2% |
|--------|----|----|

Já na análise do efeito distributivo, os setores que tem maior variação em seu consumo após uma variação na demanda final da economia são os setores Rodoviário, Energético e Ferro-Gusa e Aço. Eles têm seu consumo de energia aumentado em 19%, 5% e 5%, respectivamente, após o aumento de 1% na demanda final da economia.

Visto que a mediana do efeito distributivo é de 1,3% e a do efeito total é de 0,5%, os setores são classificados de acordo com os valores apresentados. Os setores-chave são, então: Setor Energético, Residencial, Agropecuário, Rodoviário e Alimentos e Bebidas. Os que se destacam apenas pelo efeito distributivo foram: Ferro-Gusa e Aço, Não ferrosos e outros da metalurgia, Química e Papel e celulose. Os que se destacam apenas pelo efeito total foram: Comercial, Público, Cimento e Outros.

Análise geral de resultados

Do ponto de vista da produção, ou seja, da análise da matriz tradicional, 13 (treze) setores foram identificados como chave. Ao compatibilizar esses setores, 8 (oito) setores únicos são encontrados: Setor Energético, Química, Papel e Celulose, Ferro-Gusa e Aço, Mineração e pelotização, Não ferrosos e outros da metalurgia, Rodoviário e Outros.

Tais setores se destacam pelo seu efeito demandante e ofertante sobre a economia. Logo, é difícil considerar um rápido crescimento econômico sem investimentos nesses setores.

Ao mesmo tempo, tem de se considerar o efeito do crescimento desses setores sobre o meio ambiente. Dos 8 setores identificados como chave do ponto de vista da produção, o Setor Energético e o Rodoviário foram identificados como setores-chave do ponto de vista da poluição.

Ao se analisar também os indicadores de impacto, tais setores apresentam números relevantes. O Setor Energético se destaca nos quesitos remunerações e empregos, apresentam altos indicadores. Para geradores, os números obtidos são da ordem de 1,18 e 29,62, respectivamente. Já para multiplicadores, o primeiro é da ordem de 31,65 e o segundo de 198,09. Já o

Rodoviário se destaca no item de importações, sendo seu gerador da ordem de 0,20 sendo compensado pelo alto multiplicador da ordem de 5,72.

Ou seja, ambos os setores são importantes para o ritmo produtivo da economia, têm alto efeito sobre indicadores de remunerações, empregos e importações, mas, ao mesmo tempo, são coeficientes na poluição. É essencial que todas essas informações sejam sabidas em uma eventual tomada de decisão sobre políticas de promoção de desenvolvimento.

Outros setores são considerados chave do ponto de vista da produção, mas não têm tanta relevância do ponto de vista da poluição, como o setor de Mineração e pelotização. Outros setores também são compatíveis com essa definição, mas o setor em destaque foi escolhido devido a seus efeitos distributivos e totais serem não relevantes.

Ele, porém, não apresenta indicadores de impacto de destaque. Para remunerações, o gerador é da ordem de 0,40 enquanto o multiplicador é de 1,99. Para empregos e importações, os valores são de 15,54 e 1,94, e de 0,15 e 2,30, respectivamente.

Considerações finais

Nesse trabalho, foram construídos dois modelos de matriz insumo-produto analisando implicações de uma variação na demanda final da economia: uma produtiva e uma sobre o meio ambiente.

A partir do primeiro modelo foram identificados 13 setores-chave do ponto de vista da demanda e da oferta simultaneamente, através de índices de ligação Rasmussen-Hirschman.

Então, a matriz foi compatibilizada para construção matriz de intensidade de energia, convertido para emissão de gás carbônico. A partir dessa, foi construída a matriz de elasticidades, que permitiu identificar os setores-chave do ponto de vista da poluição através de seus efeitos distributivos e totais.

Nesse contexto, dois setores se destacaram como chaves nos dois modelos: Setor Energético e Rodoviário. Tais setores apresentam um alto *trade-off* para o tomador de decisão, visto suas implicações positivas para a produção e negativas para o meio ambiente.

Ao mesmo tempo, foi encontrado o setor de Mineração e pelotização, que tem um impacto mínimo ao meio ambiente ao mesmo tempo em que é setor-chave do ponto de vista da produção. Tal setor traria o melhor *trade-off* para o tomador de decisão.

É possível, então, definir um setor para fomentar, com o objetivo de desenvolvimento econômico, a partir de sua elasticidade para o consumo de energia, o qual era o objetivo desse estudo.

Próximos estudos podem buscar a tomada de decisão via aumento na demanda final, como por exemplo, um subsídio para o aumento de exportações de um determinado setor. Ou também expandir o atual estudo para um modelo regional, visto a distribuição desigual do Brasil em termos econômicos quando comparada a geografia do país.

Bibliografia

GUILHOTO, J.J.M. *Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos*. 2009.

GUILHOTO, J.J.M; HILMGEMBERG, E.M. Uso de combustíveis e emissões de CO2 no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. *Nova Economia*, v.16, n.1, p.49-99. 2006.

LEONTIEF, W.W. *Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the Unites States*. *The Review of Economic and Statistics*, v.18, n.3, p-105-125. 1936.

MILLER, R; BLAIR, P. *Input-Output Analysis: foundations and extensions*. New Jersey: Prentice-Hall. 1985.

HILGEMBERG, E.M. *Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto*. São Paulo, 2005.

LEONTIEF, W.W. *Environmental Repercussions and the Economic Structure: an Input-Output Approach*. The Review of Economic and Statistics, v.52, n.3, p.262-271. 1970.

CARVALHO, T.S.; PEROBELLI, F.S. Avaliação da intensidade de emissões de CO2 setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/Restante do Brasil. Economia Aplicada, v.13, n.1, p.99-124. 2009.

MACHADO, G.V. Meio Ambiente e comércio exterior: impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono no país. UFRJ, Rio de Janeiro. 2002.

HIRSCHMAN, A.O. *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press, 1958.

GUILHOTO, J.J.M; SONIS, M.; HEWINGS, G.J.D.; MARTINS, E.B. Índices de Ligação e setores-chave na economia brasileira. Pesquisa e Planejamento Econômico, v.24, n.2, p.287-314. 1994.

RODRIGUES, R.L.; PARRÉ, J.L.; MORETTO, A.C.; ALVES, A.L. Transformações na Estrutura produtiva da economia paranaense nos anos 80 e 90. Economia Aplicada, v.11, n.1, p.73-93. 2007.

LEONTIEF, W.W. *Technological Advance, Economic Growth, and the Distribution of Income*. Population and Development Review, v.9, n.3, p.403-410. 1983.

LEONTIEF, W.W. *Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States*. The Review of Economics and Statistics. V.18, n.3, p. 105-125, 1936.

MULLER, N; MENDELSON, R; NORDHAUS, W. *Environmental Accounting for Pollution in the United States Economy*. American Economic Review. V.101, n.5, p. 1649-1675, 2011 .