

# CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE INSUMO-PRODUTO HÍBRIDA PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO E AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA E DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> SETORIAL

**Nayana Ruth Manguiera de Figueiredo**  
Doutoranda em Economia pelo PIMES/UFPE

**Ignácio Tavares de Araújo Júnior**  
Professor do Mestrado em Economia CME/UFPE

**Fernando Salgueiro Perobelli**  
Professor do Mestrado em Economia Aplicada FEA/UFJF

**RESUMO:** Neste artigo, analisa-se a estrutura do setor energético pernambucano de 1999, através da construção da matriz insumo-produto híbrida. O presente trabalho apresentará resultados para 14 setores produtivos. A primeira parte da pesquisa será composta por uma análise exploratória do setor via a utilização dos indicadores clássicos de insumo-produto (setor-chave, análise dos multiplicadores de emprego, renda e valor adicionado). Na segunda seção, a análise tomará por base o modelo híbrido de insumo-produto. Por fim, quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, calculando a intensidade de emissões de dióxido de carbono para 14 setores, identificando a parcela de emissões totais, diretas e indiretas devido a um aumento na demanda final. Os resultados indicaram que os setores-chave para a economia pernambucana foram Química e Outras Indústrias, tanto na ligação para trás como para frente. Os resultados para a matriz híbrida de energia mostraram que os setores que mais exerceram pressão sobre o setor energético foram Siderurgia e o próprio Setor Energético. Além disso, foram calculados os setores chave nas emissões de CO<sub>2</sub>, identificando os setores Transporte e o próprio Setor Energético, além do setor de Construção Civil e Alimentos e Bebidas, como a atividades intensivas em poluição.

**Palavras-chave:** Insumo-Produto. Energia. Dióxido de Carbono. Pernambuco.

**ABSTRACT:** In this work, we analyze the structure of the Pernambucano energy sector of 1999, through the construction of a hybrid input-output table. The present work will present resulted for 14 productive sectors. The first part of the research will be composed by an analysis of the input-output table of Pernambuco without the energy sector, using the classic multipliers (value added, income, and employment). In the second section, the analysis will focuses on the hybrid input-output model. The hybrid model allows to verify which are the direct, indirect and total energy requirements in each sector. Finally to quantify the CO<sub>2</sub> emissions of the energy fuel consumption, calculating the intensity of emissions of carbon dioxide for 14 sectors, identifying the parcel of total, direct and indirect emissions had to an increase in the final demand. The results had indicated that the sector-key for the economy of Pernambuco had been Chemical and Other Industries. The results for the hybrid matrix of energy had shown that the sectors that had more exerted pressure on the energy sector had been Siderurgy and the Energy Sector. Moreover, the sectors had been calculated key in the CO<sub>2</sub> emissions, identifying the sectors Transport and Energy Sector, beyond the sector of Civil Construction and Foods and Drinks, as the intensive activities in pollution.

**Key-works:** Input-Output. Energy. Carbon Dioxide. Pernambuco.

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é construir uma matriz híbrida de insumo-produto para o estado de Pernambuco que permita avaliar questões inerentes ao consumo setorial de energia e questões inerentes às emissões de CO<sub>2</sub>.

A escolha do tema deveu-se, principalmente, às discussões sobre a atual necessidade de um melhor planejamento energético de Pernambuco, dado a perspectiva de o estado receber, num futuro próximo, investimentos públicos e privados que certamente transformara a estrutura da economia local.

A exemplo disso, destacam-se os investimentos anunciados para o estado de Pernambuco através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) estimado em R\$ 20 bilhões. Entre os projetos em maturação e em negociação estão: a Transnordestina; integração de bacias para a ampliação da oferta de água para consumo e irrigação; a duplicação da BR 101; a implantação do terminal marítimo. Entre os projetos produtivos em implantação estão o estaleiro – em condições de construir plataformas off-shore, navios petroleiros, graneleiros e gazíferos, com elevado efeito irradiador para a economia pernambucana, e a Refinaria Abreu e Lima - investimento de US\$ 2,5 bilhões com impacto a montante para bens e serviços de alta tecnologia e integração a jusante com pólo poliéster. O Pólo de poliéster é o encadeamento da fábrica de PET com planta para produção de Ácido Teraftálico Purificado (PTA) de US\$ 500 milhões, matéria-prima para a produção de poliéster, com encadeamento a jusante com a refinaria e a montante na produção de filamentos de poliéster texturizado (fios) para o segmento têxtil (BUARQUE, 2008).

Diante dessas perspectivas de investimentos, surgem as perguntas: qual o impacto desses novos investimentos na economia pernambucana? A capacidade atual de infraestrutura, geração, transporte e distribuição de energia são suficientes para atender a demanda após o início do funcionamento da refinaria e do estaleiro? Que novos investimentos seriam necessários para comportar a nova matriz energética do estado? Uma forma de responder tais questionamentos é analisando os potenciais efeitos dessas mudanças através da matriz de insumo-produto de Pernambuco que contemple o uso de recursos energéticos, como gás natural, energia elétrica, bicomustíveis e os derivados de petróleo na produção de bens e serviços pelas atividades econômicas. Uma matriz de insumo-produto pode ser utilizada para avaliar os efeitos de mudanças na demanda final sobre a economia, sejam elas provocadas por políticas públicas ou por mudanças no ambiente econômico devido a ação de agentes privados.

Uma preocupação crescente é com os riscos e as incertezas ambientais decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro. Dentre os riscos, pode-se destacar a probabilidade de alteração climática devido ao “efeito estufa” causado por gases emitidos na atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis; e a poluição do ar urbano pelas indústrias, também devido a estes gases de efeito estufa (GEE). O acúmulo de CO<sub>2</sub> e de outros gases na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta. Isto pode fazer com que o nível do mar, nos próximos anos, se eleve ao ponto de inundar muitas cidades situadas em litorais e deltas de rios, e também pode causar enormes transtornos à produção agrícola.

Portanto, essa pesquisa pretende contribuir para a solução do seguinte problema em Pernambuco: Como se comporta a demanda por energia, computadas pelas medidas de intensidade de uso energético, e as consequentes emissões de CO<sub>2</sub>, no contexto de uma nova perspectiva de crescimento econômico?

Esta pesquisa procura preencher a lacuna, analisando as interações, em termos setoriais, no Estado de Pernambuco no que concerne ao consumo de energia. A análise será feita

usando-se um modelo regional híbrido. No modelo de insumo-produto híbrido, as tabelas de consumo intermediário são representadas por valores nominais e o consumo de energia é medido em unidades físicas, por meio da qual são computadas medidas de intensidade de uso energético, conhecidas como requerimentos de energia. Essas medidas permitem, por exemplo, avaliar o grau em que a produção de cada setor de atividade dentro de Pernambuco impacta o consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> dentro do estado.

Cabe ressaltar, que a instabilidade do setor energético brasileiro é um problema antigo e persistente. Nesse contexto, o desenvolvimento de ferramentas para auxiliar o planejamento energético assume um importante papel no momento de definir a estrutura da matriz energética brasileira e de suas regiões. Um instrumento útil seria a matriz de insumo-produto que contemple o setor de energia.

Praticamente todo o refino de petróleo da região Nordeste é realizado na Bahia, responsável por 51 dos 52 m<sup>3</sup>/dia refinado pela região, o resto é refinado no Ceará. O estado de Pernambuco não produz petróleo, gás natural, carvão mineral e reduziu sua produção de energia elétrica e álcool em -14,9% e -17,9% entre 2005 e 2006 respectivamente segundo dados do BEN (2006), mas tem o segundo maior consumo de energia elétrica residencial e de gás liquefeito de petróleo da região, perdendo apenas para a Bahia.

A revisão da literatura sobre as várias aplicações da matriz de insumo-produto para a economia brasileira ajuda a esclarecer a importância do método para análise da economia de uma região. Na literatura pelo menos quatro trabalhos merecem destaque, por aplicarem a mesma metodologia para outros estados brasileiros.

Perobelli et al. (2006) analisaram, de forma agregada, as interações energéticas entre o Estado de Minas Gerais e o restante do Brasil. Para tanto, utilizou um modelo inter-regional de insumo-produto com incorporação de um setor de energia. O modelo foi construído a partir de uma tabela híbrida de insumo-produto regional, onde as informações de vendas do setor de energia aos demais setores foram registradas em unidades físicas (toneladas equivalentes de petróleo) e não monetárias. Os resultados encontrados mostraram que os setores econômicos dentro de Minas Gerais exercem maior pressão sobre o setor de energia do estado do que os respectivos setores econômicos fora do estado. A análise comparativa dos requerimentos intra- e inter-regionais indicou que, dentro de Minas Gerais, os setores Ferro e Aço, Transporte, Energético e Outras Indústrias apresentam um peso significativo no consumo de energia dentro do estado. Porém, embora o setor Outras Indústrias, em particular, se mostre o último da lista dos setores importantes, a sua baixa relação requerimentos diretos versus indiretos indica que o mesmo exerce pressões potenciais mais significativas do que aparenta sobre o setor de energia no estado. Os setores situados fora de Minas Gerais com maior peso na demanda sobre o setor de energia do estado foram Energético, Transporte, Outras Indústrias, e Ferro e aço. Esses setores também apresentam uma baixa relação requerimentos diretos versus indiretos, sobretudo o setor Outras Indústrias

Firme e Perobelli (2008) utilizaram as matrizes de insumo-produto brasileira, agregadas em 14 setores produtivos, utilizando unidades híbridas (tep), para os anos de 1997 e 2002, no intuito de comparar as variações ocorridas no setor energético. Verificou-se que, mesmo havendo uma diminuição global nos multiplicadores de produção, renda e emprego, no período analisado, o setor energético apresentou crescimento nos índices de todos os seus multiplicadores. Uma hipótese levantada foi a de que os investimentos realizados no setor visando evitar novos racionamentos de energia elétrica tenham contribuído para tais resultados. Os resultados dos requerimentos de energia do setor energético apontaram para uma diminuição generalizada dos requerimentos totais de uma ordem de mais de 44% de 1997 para 2002. O único setor que aumentou seus requerimentos foi justamente o setor energético.

Guilhoto e Hilgemberg (2006) aplicaram a metodologia para estudar a emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil para o ano de 1999. 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. Note-se que não se está afirmando que a região Nordeste seja a que mais emite CO<sub>2</sub> por si só, mas, sim, que a variação na produção da região Nordeste para atender à variação na demanda final faz que com ela demande uma produção adicional dos demais setores da sua região e das outras regiões. Esse aumento no produto desses setores é que exerce impacto relativamente mais intenso sobre as emissões.

Carvalho e Perobelli (2008) quantificaram as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, considerando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido para São Paulo e o restante do Brasil, utilizando a matriz de 1996. Calcularam a intensidade de emissões de dióxido de carbono para 15 setores, identificando a parcela de emissões totais devida à demanda final e ao consumo intermediário. Além disso, foram calculados os setores chave nas emissões através do cálculo das elasticidades, identificando os setores de Agropecuária, Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes nas duas regiões analisadas. Também foi verificada a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada nas exportações, mostrando que a pauta de exportações brasileira é em grande parte intensiva em poluição.

Este artigo está dividido em 4 capítulos, além desta introdução. No primeiro capítulo, abordam-se aspectos gerais da economia pernambucana no período recente, como também a revisão da literatura. No segundo capítulo, a fundamentação teórica da matriz híbrida de insumo-produto. Em seguida um capítulo sobre a metodologia de cálculo das principais análises que podem ser feitas a partir da matriz de insumo-produto híbrida. E, por fim, os resultados da pesquisa e a conclusão.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA**

### **2.1 Base de Dados**

A base de dados necessária para implementação do modelo de insumo-produto em unidades híbridas é formada por dois tipos de dados: a) matriz de insumo-produto e b) balanço energético. O presente trabalho fez uso da matriz de insumo-produto para o estado de Pernambuco resultado de um projeto desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Sociais Aplicadas (IPSA). Os cálculos desta matriz são relativos ao ano de 1999.

A matriz de insumo-produto de Pernambuco (MIP-PE) desenvolvida por Costa *et al.* (2005) contempla 36 grupos de atividades econômicas e 63 grupos de produtos. A escolha das atividades e produtos que compõem o modelo foi realizada observando a participação de cada um deles no contexto econômico pernambucano da época e os setores relacionados são aqueles de maior representatividade da economia de Pernambuco.

Os dados de uso setorial de energia estão disponíveis no Balanço Energético do Estado de Pernambuco 1993-2002 (BE-PE, 2004). Para a construção da matriz híbrida foram utilizados apenas os dados do ano de 1999.

É importante salientar que a agregação setorial da matriz de insumo-produto para o Estado de Pernambuco é diferente da estrutura setorial apresentada nos balanços energéticos. Portanto, o primeiro passo dado foi a compatibilização setorial. A matriz inter-regional de insumo-produto Pernambuco estava estruturada para 35 setores e o balanço energético de Pernambuco fornece dados desagregados de consumo de energia para 17 setores. A compatibilização levou a uma matriz com 14 setores.

## 2.2 *Requerimentos de Energia*

O modelo de energia em unidades híbridas é um conjunto de matrizes análogo ao do modelo convencional baseado em uma matriz de transações ou fluxo de energia (medida em unidades físicas). Na matriz de insumo-produto de energia usaremos como medida de energia tonelada equivalente de petróleo (*tep*).

Na matriz de insumo-produto híbrida buscamos um jogo análogo de matrizes para  $Z$ ,  $A$ , e  $(1 - A)^{-1}$ . Com apenas uma mudança secundária no modelo de transações interindustriais da estrutura de insumo-produto básica, podemos construir a matriz de insumo-produto híbrida.

Segundo Bullard e Herendeen (1975), Miller e Blair (1985) e Casler e Blair (1997), o modelo de insumo-produto em unidades híbridas é a formulação mais consistente para aplicação de modelos de insumo-produto de natureza físico-econômica envolvendo uso de energia. Hawdon e Pearson (1995) e Zhang e Folmer (1998) apontam algumas vantagens no uso da estrutura de insumo-produto para analisar questões relativas ao setor energético: a) permite uma desagregação setorial maior do que os modelos de otimização dinâmica e os modelos macroeconômicos; b) permite a incorporação de fluxos de energia intersetoriais tanto em termos físicos quanto monetários e c) possibilita implementar análises de impacto. Entretanto, esses modelos também apresentam algumas limitações, quais sejam: a) coeficientes fixos de insumo-produto; b) retornos constantes de escala e c) demanda final determinada exogenamente.

A matriz de insumo-produto é uma estrutura útil para delinear o uso de energia. As primeiras tentativas de estender a estrutura da matriz de insumo-produto de Leontief com esse objetivo foram de Ayres e Kneese (1969), Bullard e Herendeen (1975b), Grifo (1976), Cumberland (1966), e muitos outros contribuíram com esses desenvolvimentos.

Nesta pesquisa examinaremos como a matriz de insumo-produto é estendida para descrever os fluxos de energia interindustrial. A estrutura matemática desta extensão reflete o modelo clássico de Leontief discutido no capítulo anterior. O modelo de insumo produto híbrido apresentado nesta seção é proveniente das abordagens utilizadas por autores como Miller e Blair (1985) e Hilgemberg (2004), porém adaptado para um contexto regional, visto que estes autores utilizaram matrizes inter-regionais.

A utilização de unidades híbridas considera tanto a energia consumida no processo de produção de uma indústria quanto a energia empregada na produção dos insumos utilizados por ela. É realizada uma *análise de processo*, a qual rastreia os insumos até os recursos primários usados na sua produção. O primeiro *round* dos insumos de energia revela os *requerimentos diretos de energia*. Os *rounds* subsequentes de insumos energéticos definem os *requerimentos indiretos de energia*. Logo, a soma desses dois requerimentos é o *requerimento total de energia*, cujo cálculo é algumas vezes chamado de *intensidade de energia*.

A construção de um modelo de insumo-produto tem início com uma matriz de fluxos de energia em unidades físicas. Numa economia composta por  $n$  setores, dos quais  $m$  são setores de energia, a matriz de fluxos de energia será  $E$  ( $m \times n$ ). Assumindo-se que a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) é representada por  $E$ , e consumo de energia total na economia é representado por  $F$  ( $E_y$ , e  $F$  são ambos os vetores de coluna com  $m$ -elementos), e  $i$  é um vetor ( $n \times 1$ ), cujos elementos são todos números “um” e dado por:

$$E_i + E_y = F. \quad (2.1)$$

Isto é, a soma de energia (de cada tipo descrito pelas filas de  $E$ ) consumida pelos setores interindustriais mais o consumo da demanda final é a quantia total de energia consumida (e produzida) pela economia.

$$E = \begin{bmatrix} tep & tep & tep & tep \\ tep & tep & tep & tep \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Com a matriz  $E$  construída, é possível construir uma matriz de transações interindustriais em unidades híbridas. O procedimento consiste em substituir na matriz de transações interindustriais ( $Z$ ) as linhas que representam os fluxos de energia em unidades monetárias pelas linhas que representam os fluxos *físicos* de energia, obtidos com base na matriz  $E$ . Após a substituição temos a nova matriz de fluxos interindustriais ( $Z^*$ ), a qual representa os fluxos interindustriais de energia em unidades físicas e os demais fluxos em unidades monetárias.

Considere, por exemplo, o caso de quatro setores onde o primeiro setor é um setor de energia:

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

Será substituída pela matriz de transações interindustriais híbrida descrita por:

$$Z^* = \begin{bmatrix} tep & tep & tep & tep \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

Conseqüentemente, obtêm-se:

$$Z_i^* = \begin{cases} Z_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ E_k & \text{para linhas que são fluxos de energia} \end{cases}$$

$$Y_i^* = \begin{cases} Y_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ e_{kj} & \text{para linhas que são fluxos de energia} \end{cases}$$

$$X_i^* = \begin{cases} X_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para linhas que são fluxos de energia} \end{cases}$$

$$F_i^* = \begin{cases} 0 & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para linhas que são fluxos de energia} \end{cases}$$

O mesmo procedimento deve ser usado para a produção total ( $X$ ) e demanda final ( $Y$ ) por setor:

$$X^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix}, \quad Y^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

A matriz de coeficientes técnicos ( $A$ ), pode ser representada matricialmente como:

$$A = Z^* \left( \hat{X} \right)^{-1}. \quad (2.6)$$

Logo,

$$A^* = Z^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{tep}{tep} & \frac{tep}{\$} & \frac{tep}{\$} & \frac{tep}{\$} \\ \frac{tep}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{\$}{tep} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tep}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tep}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

As matrizes correspondentes,  $A^* = Z^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1}$  e  $(I - A^*)^{-1}$ , seguiram diretamente destas definições. Porém, algumas das características destas matrizes diferem do modelo tradicional de Leontief. Por exemplo, a soma da coluna  $A^*$  não é necessariamente menor que a unidade como no modelo tradicional.

Na estrutura da matriz de insumo-produto, o cálculo dos requerimentos de energia total, às vezes chamados intensidade de energia, é análogo ao cálculo da exigência total em unidades monetárias da indústria do modelo tradicional de insumo-produto de Leontief.

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

Para obter a *matriz de requerimentos diretos de energia* e a *matriz de requerimentos totais de energia* extrai-se, respectivamente, as linhas dos fluxos de energia de  $A^*$  e  $(I - A^*)^{-1}$ .

Para isso é necessário criar a matriz  $F_i^*$  com dimensão  $n \times n$ , na qual os elementos de  $F^*$  que representam fluxos de energia são colocados ao longo da diagonal principal, e os demais elementos são zero.

$$F^* = \begin{bmatrix} tep & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.8)$$

A matriz  $F^*$  teria  $n$  elementos (representando o número de setores da economia, inclusive os setores energéticos) em que os elementos representativos dos setores de energia ( $m$  de  $n$  elementos) significariam o total produzido de energia (em unidades físicas) por esses setores, e os demais elementos seriam zero.

Isolando a energia podemos construir primeiro a matriz do produto  $F^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1}$ ; os elementos de  $F^*$ ,  $F_i^*$ , definido como os elementos de não zero de  $F^*$  é idêntico aos valores correspondentes em  $X^*$ , o resultado deste produto é um vetor de um e zeros, os uns denotam as localizações do setor de energia. Pós multiplicando as matrizes de requerimentos diretos e de requerimentos totais de energia por  $F^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1}$  recuperam-se apenas a intensidade de energia. Logo, os coeficientes  $\delta$  representam os requerimentos diretos e  $\alpha$  os requerimentos totais.

$$\delta = F^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} A^*. \quad (2.9)$$

$$\alpha = F^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} (I - A^*)^{-1}. \quad (2.10)$$

Os requerimentos indiretos de energia são obtidos da diferença entre  $\delta$  e  $\alpha$ :

$$\gamma = F^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} \left[ (I - A^*)^{-1} - A^* \right]. \quad (2.11)$$

### 2.3 Emissão de CO<sub>2</sub>

Assumindo que as emissões de CO<sub>2</sub> 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  $c$  a matriz dos coeficientes que convertem a utilização de energia em emissões, tal que os elementos da diagonal principal sejam os coeficientes de conversão para cada setor e os demais sejam zero. Podemos reescrever a matriz  $F^*$  como sendo:

$$c = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

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

$$\delta_{CO_2} = cF^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} A^*. \quad (2.13)$$

$$\alpha_{CO_2} = cF^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} (I - A^*)^{-1}. \quad (2.14)$$

$$\gamma_{CO_2} = cF^* \left( \hat{X}^* \right)^{-1} \left[ (I - A^*)^{-1} - A^* \right]. \quad (2.15)$$

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

O impacto total na economia, contudo, depende de como os demais setores serão capazes de lidar com a queda na demanda do setor que sofreu a restrição. Pode-se imaginar que os demais setores serão capazes de redirecionar sua produção para a demanda final, fazendo com que o impacto na atividade econômica seja menor. Contrariamente, pode-se supor que a demanda final não será capaz de absorver a produção que antes era destinada ao setor afetado, situação que provocará um maior impacto na economia (CARVALHO; PEROBELLI, 2008).



### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

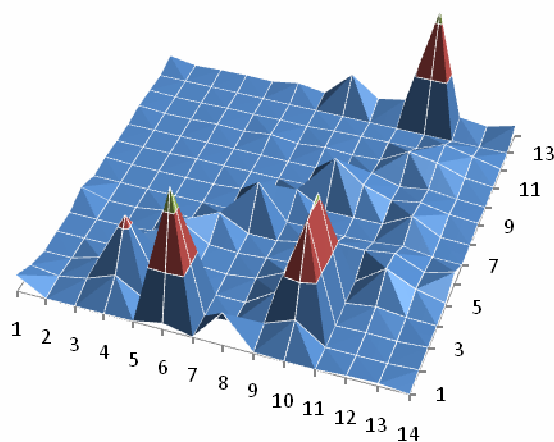
#### 3.1 Resultados Para a Matriz de Insumo-Produto de Energia

O modelo híbrido de insumo-produto permite computar informações bastante desagregadas sobre os padrões setoriais de interação energética de Pernambuco. Pode ser computado os requerimentos totais, podendo esses serem divididos em diretos e indiretos, obtendo um quadro que proporciona uma visão útil das interações setoriais do consumo de energia.

Para os cálculos dessa seção, também foram utilizadas as informações da matriz de insumo-produto de Pernambuco para o ano de 1999, por ser o ano mais recente com informações sobre o quadro de insumo-produto. Foram usados para o mesmo ano, os dados do Balanço Energético de Pernambuco.

Temos no Gráfico 1 a representação gráfica tridimensional de todos os requerimentos diretos de energia por unidade de produto. Pode-se concluir que os maiores requerimentos diretos de energia são dos setores Transporte e Alimentos e Bebidas, respectivamente. Sendo que os energéticos mais consumidos no setor de Transporte são óleo combustível e diesel, enquanto que no setor de Alimentos os energéticos mais consumidos são os produtos derivados da cana-de-açúcar e lenha.

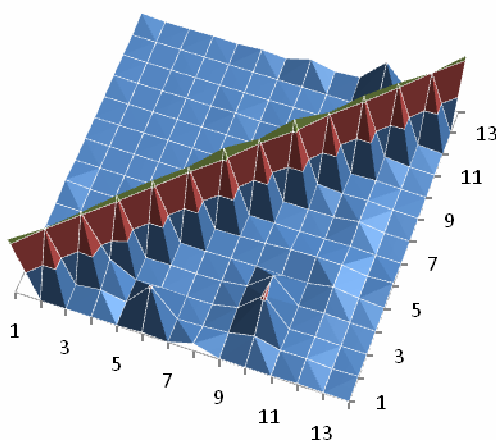
**Gráfico 1 Requerimentos Diretos de Energia por Unidade de Produto (Matriz A\*)**



Fonte: Resultados da Pesquisa.

No Gráfico 2, estão ilustrados todos os requerimentos diretos de energia por unidade de produto, todos os coeficientes técnicos gerados pela matriz inversa de Leontief. Os coeficientes técnicos indicam a quantidade de insumo de um setor  $i$  necessária para a produção de uma unidade de produto final do setor  $j$ .

**Gráfico 2 Requerimentos Totais de Energia por Unidade de Produto (matriz inversa de Leontief)**



Fonte: Resultados da Pesquisa

Para interpretar o Gráfico 2, deve-se considerar que quanto maior o valor do coeficiente técnico de produção maior é o pico no espaço tridimensional, cuja a dimensão é 14 linhas e 14 colunas e cada quadrado corresponde a um setor.

A diagonal da matriz representa os coeficientes técnicos de produção setorial de Pernambuco, desta forma observa-se que há uma alta interação entre os setores produtivos do Estado.

Algumas linhas de matrizes também têm picos mais evidenciados, isto ocorre com os setores que têm maior relacionamento com os demais. As linhas de matrizes inferiores mais evidenciados representam os coeficientes técnicos dos setores Agricultura, Indústria Extrativa e Siderurgia. Estes setores, por terem maior relevância para o sistema como um todo, são destacados no espaço tridimensional.

Os Gráficos 1 e 2 apenas ilustram a composição da matriz de insumo-produto de energia para Pernambuco, dando uma idéia geral do sistema. Para estudar o setor energético e como ele interage com os demais, são necessárias outras análises que estão fundamentadas na teoria e nos modelos de insumo-produto.

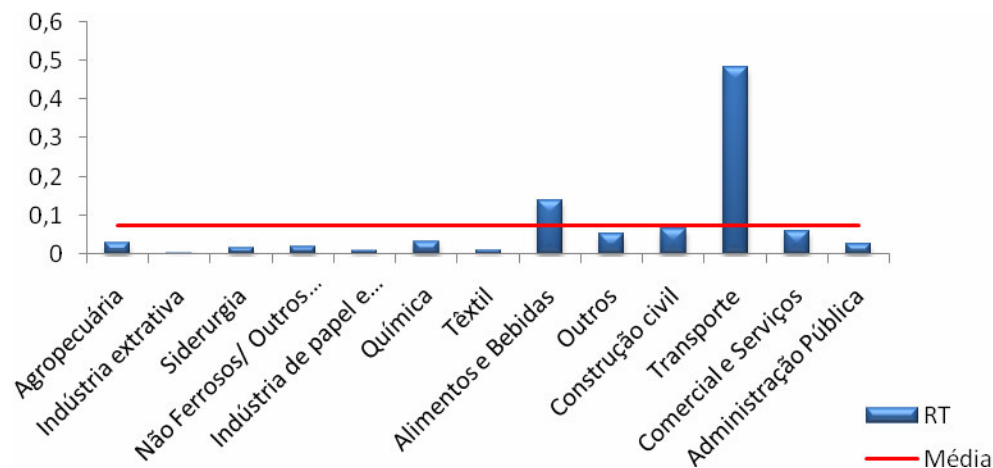
A utilização do modelo híbrido de insumo-produto gera resultados em unidades físicas (tep), com desagregação para 14 setores produtivos. Isto permitirá a mensuração, em unidades físicas, da pressão exercida, pelos 14 setores da economia, sobre o setor energético.

O Gráfico 3 apresenta os requerimentos totais de energia do setor energético, que cada setor obteve. Observando a Gráfico 3, pode-se perceber que a média de requerimentos totais de energia é 0,058. Isto quer dizer que os setores Transporte e Alimentos e Bebidas tem requerimentos diretos acima da média.

Através deste, pode-se concluir que o setor transporte e alimentos e bebidas apresentam os maiores índices de requerimento total, (0,49) e (0,14), respectivamente. Logo, são os setores com maior poder de pressionar o setor energético. Portanto, um crescimento nos transportes ou no setor de alimentos e bebidas deve ser acompanhado de investimentos em energia. No entanto, somente a análise da composição dos requerimentos (diretos e indiretos) é que fornecerá o verdadeiro indício da capacidade de pressão que estes setores podem exercer sobre o setor energético.

Cabe salientar também, que o maior índice de requerimentos totais, no período analisado, foi justamente o setor transporte. Isto significa que este é o setor que mais consome energia.

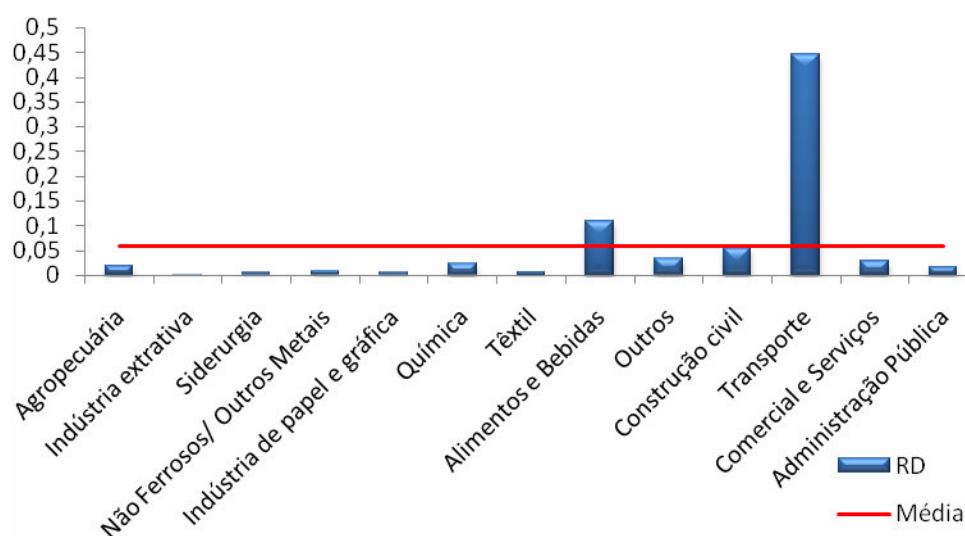
**Gráfico 3 Requerimentos Totais de Energia dos Setores Produtivos de Pernambuco**



Fonte: Resultados da Pesquisa

Ao analisar os requerimentos diretos de energia, Gráfico 4, nota-se que, os setores transporte e alimentação e bebida mais uma vez apresentaram seus índices de requerimentos diretos acima da média. Com (0,44) e (0,11), respectivamente. Outros setores apresentaram índices de requerimentos diretos muito próximos da média, são eles: Construção Civil (0,054), Comercial e Serviços (0,029), Química (0,023), Agropecuária (0,019), Extrativa Mineral (0,16) e (0,11) e Químico (0,12) também têm capacidade de gerar efeitos diretos sobre o setor energético, porém com menos intensidade.

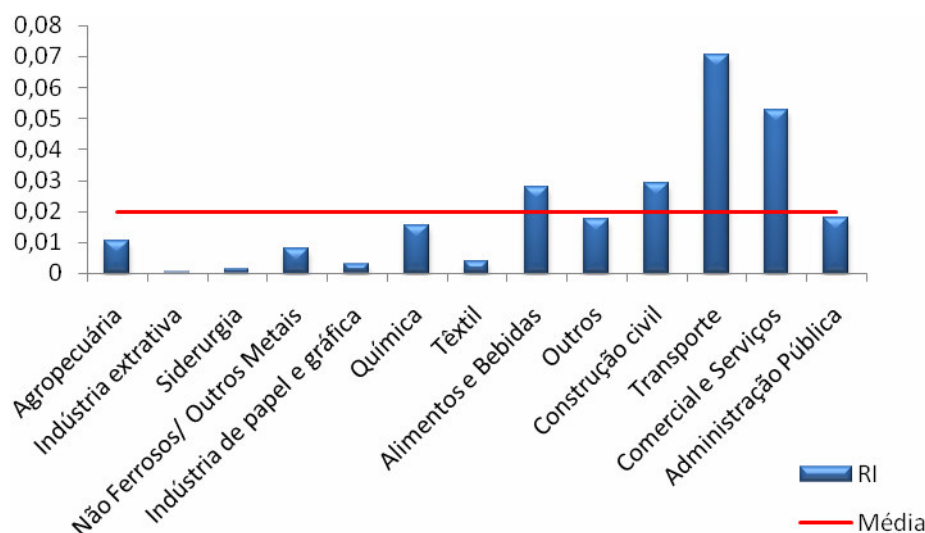
**Gráfico 4 Requerimentos Diretos de Energia dos Setores Produtivos de Pernambuco**



Fonte: Resultados da Pesquisa.

Analisando os requerimentos indiretos, Gráfico 5, percebe-se uma mudança no ordenamento dos setores. Mais uma vez o setor transporte despontou, apresentando um elevado índice de requerimentos indiretos (0,07). Os setores de Comercial e Serviços, Construção Civil e Alimentos e Bebidas, que apresentaram os maiores índices de requerimentos totais e diretos, também apresentaram importância elevada quando se trata de requerimentos indiretos. Pode-se observar que a maioria dos demais setores exerce uma pressão intermediária sobre os requerimentos indiretos do setor energético.

**Gráfico 5 Requerimentos Indiretos de Energia dos Setores Produtivos de Pernambuco**



Fonte: Resultados da Pesquisa.

Analisando a composição dos requerimentos de energia em termos de efeitos diretos e indiretos produzidos sobre os setores de energia da região estudadas pode-se inferir que quanto menor a relação *requerimentos diretos versus indiretos*, maior o poder de multiplicação que a atividade de um dado setor exerce sobre o consumo de energia. Setores com alto peso na demanda de energia e que ao mesmo tempo apresentam uma baixa relação requerimentos diretos versus indiretos tendem a produzir as mais fortes pressões de demanda sobre o setor de energia. No extremo oposto, estariam setores com baixo peso na demanda de energia e com alta relação requerimentos diretos versus indiretos, que, neste caso, produziriam pequenas pressões sobre o setor de energia. Isso significa que um aumento na demanda final desses setores aumentariam ainda mais os requerimentos de energia, do que um aumento de igual magnitude em outro setor com um menor poder de pressão sobre o setor energético. Entre ambos os extremos, configuram-se setores com graus variados, intermediários, de importância na pressão que exercem.

A Tabela 10 apresenta a decomposição percentual dos requerimentos em seus componentes direto e indireto. A estrutura setorial dos requerimentos em termos da composição direto-indireto se mostra bastante diversificada por setor em Pernambuco. Há um setor com participação dos efeitos diretos abaixo de 20% (Siderurgia e Não Ferrosos/ Outros Metais) e três setores com participação acima de 70% (Transporte, Construção Civil e Alimentos e Bebidas).

É importante ressaltar que para Pernambuco o setor de Siderurgia, que tem peso significativo no consumo total de energia do estado, apresenta uma baixíssima relação requerimentos diretos versus indiretos, indicando que exerce forte pressão sobre o setor de energia de Pernambuco.

O setor Transporte também tem peso significativo sobre o consumo energético, mas apresenta alta relação requerimentos diretos versus indiretos, indicando que exerce pouca pressão sobre o setor de energia, do mesmo modo para o setor de Alimentos e Bebidas.

**Tabela 1 Participação Percentual no Requerimento Líquido Total de Energia**

Setores	Direto	Indireto	Total
Agropecuária	55,77	44,23	100
Indústria extrativa	43,23	56,77	100
Siderurgia	16,78	83,22	100
Não Ferrosos/ Outros Metais	22,74	77,26	100
Indústria de Papel e Gráfica	54,69	45,31	100
Química	68,21	31,79	100
Têxtil	53,08	46,92	100
Alimentos e Bebidas	75,03	24,97	100
Outros	48,95	51,05	100
Construção Civil	72,54	27,46	100
Transporte	90,79	9,21	100
Comercial e Serviços	40,31	59,69	100
Administração Pública	53,99	46,01	100
Setor Energético	4,42	95,58	100

Fonte: Resultados da Pesquisa.

### 3.2 Resultados Para a Matriz de Insumo-Produto Para Emissão de CO<sub>2</sub>

Para os cálculos dessa seção também foram utilizadas as informações da matriz de insumo-produto de Pernambuco para o ano de 1999 e do Balanço Energético de Pernambuco.

O primeiro passo foi fazer a conversão dos coeficientes de energia em emissão de CO<sub>2</sub> causada pelo consumo dos combustíveis pelos vários setores da economia. Para isto, aplicaram-se os coeficientes de conversão encontrados no Balanço de Carbono, que representam a quantidade total de dióxido de carbono, medido em toneladas de carbono por tera joule (tC/TJ) emitidas na atmosfera de acordo com os coeficientes apresentados na Tabela 11.

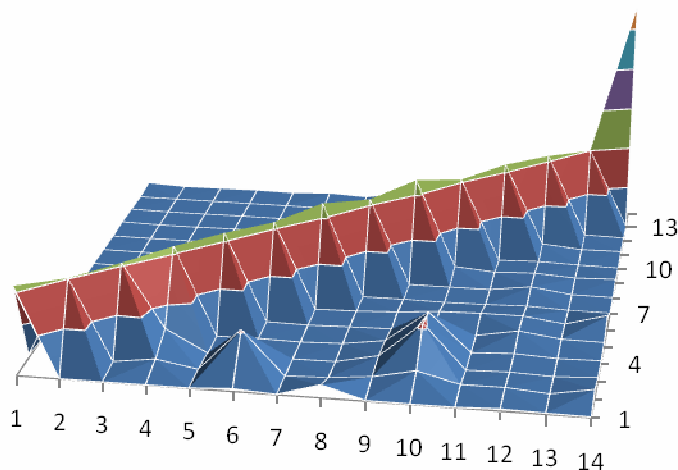
**Tabela 2 Tabela de Conversão (tC/TJ) do Consumo de CO<sub>2</sub>**

Produtos	Coefficiente de Conversão
Óleo Diesel	20,2
Óleo Combustível	21,1
Gasolina	19,2
GLP	17,2
Nafta	20
Querosene	19,55
Gás Cidade	18,2
Coque	30,6
Carvão Vegetal	29,9
Álcool Etílico	14,81
Outros Energéticos de Petróleo	20

Fonte: Balanço de Carbono do Ministério da Ciência e Tecnologia

A análise das emissões é feita a partir de uma estrutura econômica definida no Gráfico 6. Ali pode-se observar, por meio do consumo intermediário, a distribuição inter-setorial da economia, a qual evidencia a maior vigor relativo das transações interindustriais existentes.

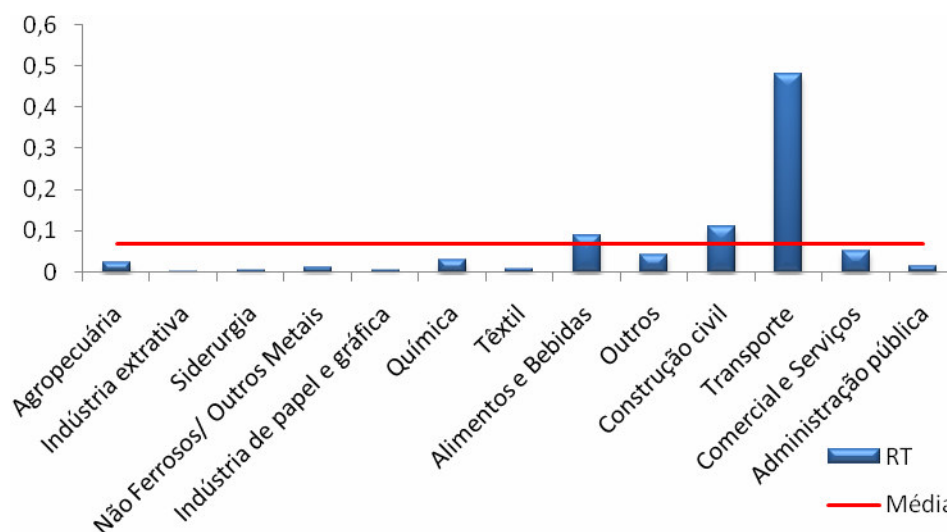
**Gráfico 6 Emissões Totais de CO<sub>2</sub> por Unidade de Produto (matriz inversa de Leontief)**



Fonte: Resultados da Pesquisa.

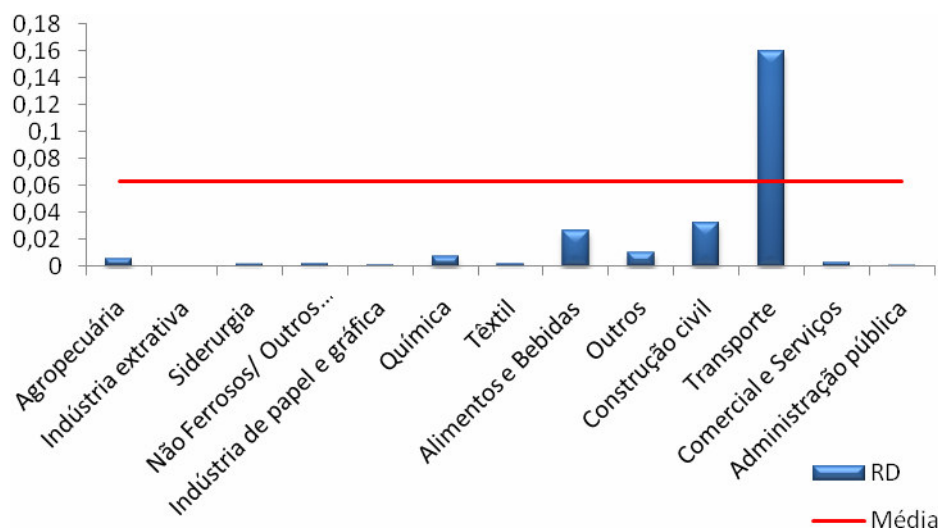
A análise do Gráfico 6 é bastante simples, mostra o impacto sobre as emissões, medidas em toneladas de carbono lançadas na atmosfera, que cada setor exercerá para satisfazer os requerimentos totais (diretos e indiretos) necessários para atender a um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final. Os resultados seguir mostram as emissões totais, diretas e indiretas originadas de cada setor. Deste modo, todos os setores que apresentarem valor positivo estará contribuindo para a elevação do valor médio das emissões totais daquele setor.

Os resultados mostrados no Gráfico 7 indicaram que as emissões totais estão concentradas nos setores de Transporte, Construção Civil e Alimentos e Bebidas. São esses setores que contribuem mais intensamente para a elevação das emissões, com emissões acima do valor médio. Outros setores que tem elevada emissão são Outras Indústrias (0,054), Siderurgia (0,026) e Agropecuária (0,025).

**Gráfico 7 Requerimentos Totais de Emissão de CO<sub>2</sub> para o Consumo de Energia**

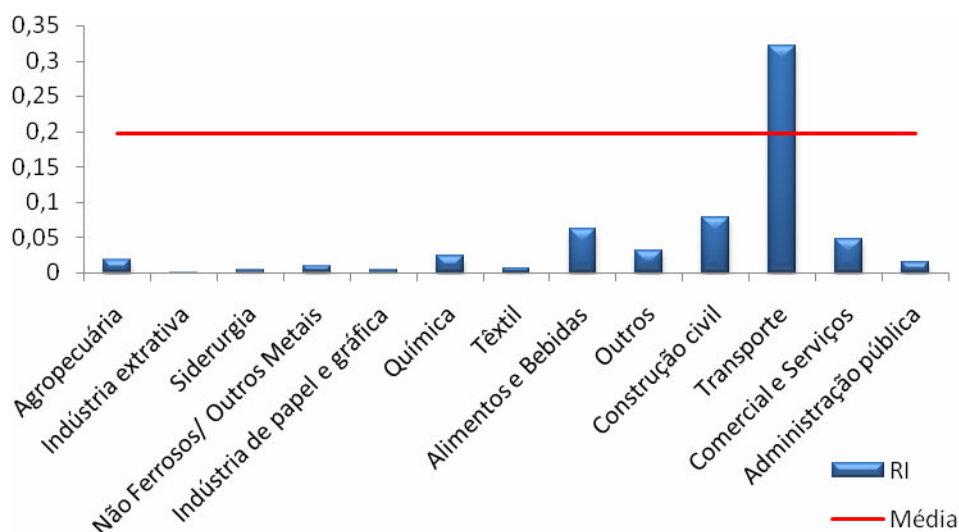
Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os resultados mostrados no Gráfico 8 indicaram que as emissões diretas estão concentradas nos setores de Transporte. Esse setor é o que contribui mais intensamente para a elevação das emissões, com emissões acima do valor médio. Outros setores que tem elevada emissão são a Construção Civil (0,031) e Alimentos e Bebidas (0,026).

**Gráfico 8 Requerimentos Diretos de Emissão de CO<sub>2</sub> para o Consumo de Energia**

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os resultados mostrados no Gráfico 9 indicaram que as emissões indiretas também estão concentradas no setor de Transporte. Isso demonstra que o setor que mais emite poluentes em Pernambuco é o setor de Transporte contribuindo para a elevação das emissões, com emissões acima do valor médio. Outros setores que tem elevada emissão são a Construção Civil (0,078) e Alimentos e Bebidas (0,062).

**Gráfico 9 Requerimentos Indiretos de Emissão de CO<sub>2</sub> para O Consumo de Energia**

Fonte: Resultados da Pesquisa.

## 4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa analisou os requerimentos de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> do Estado de Pernambuco. Para tanto, foi utilizado um modelo de insumo-produto com incorporação de um setor de energia. O modelo foi construído a partir de uma tabela híbrida de insumo-produto, onde as informações de vendas do setor de energia aos demais setores foram registradas em unidades físicas (tep) e não monetárias.

A metodologia baseada na matriz híbrida de insumo-produto permitiu identificar os setores mais relevantes para a demanda de energia que incide sobre o setor energético de Pernambuco. Essa identificação foi feita a partir dos coeficientes de requerimento de energia e também com base nas relações de requerimentos diretos versus indiretos presentes na decomposição daqueles coeficientes.

O resultado para a decomposição dos requerimentos de energia apontou que o setor com o maior poder de pressão sobre o setor energético é o de Siderurgia. E que apesar de ter altos requerimentos de energia o setor de Transporte apresenta pouca pressão sobre o setor energético. Setores como siderurgia e transportes são os setores que mais requerem energia. Como destacaram Perobelli et al (2006), esta análise deve ser aprofundada em requerimentos diretos e indiretos para que se possa traçar um perfil dos setores que realmente têm grande poder de pressão sobre o setor energético. Em primeira análise pode-se destacar o setor de transportes como grande responsável por tal pressão sobre o setor energético, seguido pela siderurgia.

O setor siderúrgico apresenta elevado índice de requerimentos totais, bem divididos em diretos e indiretos. Portanto, é um dos setores que apresentam maior poder de pressão sobre o setor energético. Mesmo resultado encontrado para o Brasil por Firme e Perobelli (2008). Investimentos realizados na siderurgia devem ser efetuados de forma planejada, visando minimizar ou conter possíveis pressões de demanda de energia.

Neste trabalho buscou-se também quantificar a intensidade de CO<sub>2</sub> nos diversos setores da economia pernambucana. As emissões consideradas são decorrentes do uso de



combustíveis energéticos. Uma avaliação dos setores mais poluentes torna-se necessária para possíveis políticas ambientais que tenham o objetivo de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub>. Os resultados para o modelo indicaram que o efeito de um aumento na demanda final é mais intenso no setor Transporte exercendo um impacto maior sobre as emissões.

O setor de Transportes foi considerado responsável por emissões acima da média, Transporte é considerado setor-chave para o controle de carbono em Pernambuco, corroborando os resultados encontrados por Hilgemberg (2004).

É importante saber se os custos dessas emissões recaem inteiramente sobre a economia pernambucana, sob a forma de danos à saúde humana, à propriedade e aos ecossistemas, ou se esses custos são repassados a outros estados.

Apesar de a metodologia ter permitido traçar um retrato relativamente refinado das interações energéticas de Pernambuco, uma vez que foram analisados 14 setores de atividade, é possível avançar bastante com ela em termos de detalhamentos e desagregações, o que abre interessantes perspectivas para estudos futuros. Por exemplo, o setor de energia pode ser desagregado por tipo de energia produzida (petróleo, gás natural, eletricidade, carvão mineral e vegetal, etc.), como também uma maior desagregação dos setores do balanço energético e a possibilidade de incorporar outras regiões com a construção de um modelo inter-regional.

Esses esforços de pesquisa podem ser frutíferos em trazer informações mais relevantes tanto para os planejadores regionais/estaduais como para o próprio planejador nacional. Os ganhos decorrentes serão subsídios de informação para uma gestão mais eficiente do suprimento de energia pela sociedade com a conseqüente diminuição dos riscos de se comprometer o crescimento econômico.

## REFERÊNCIAS

BE-PE - BALANÇO ENERGÉTICO DE PERNAMBUCO, 1993/2002. Secretaria de Infra-Estrutura. Recife, 2004.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Sistema de Informações Estatísticas do Setor de Energia Elétrica (SIESE), 2005.

BUARQUE, S. *Pernambuco 2020: perspectivas de um novo ciclo de crescimento econômico*. Apresentação de estudo do SEBRAE-PE com o apoio técnico do consultor. Recife, 2008.

BULLARD, C. W e HERENDEEN, R. A. The energy cost of goods and services. *Energy Policy*, 3 (4): 268-278, 1975.

CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. *Avaliação da intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil*. Aracajú: ENABER, 2008.

CASLER, S. D e BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. *Ecological Economics*. 22: 19-27. 1997.

COSTA, E. F.; ARAÚJO JÚNIOR, I. T.; BEZERRA, J. F.; MELO, M. V. Matriz de Insumo-Produto de Pernambuco para 1999: Metodologia de Cálculo e Subsídios ao Planejamento Regional. *Revista Economia Aplicada*. São Paulo, v. 9, n. 4, p. 01-27, 2005.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia*, vol. 16, p. 70-75, 2005.

CUMBERLAND, J. H. A regional interindustry model for analysis of development objectives. *Regional Science*. Berlin, 1966.

FIRME, V. A. C.; PEROBELLI, F. S. *Evolução estrutural do setor energético brasileiro entre 1997 e 2002*. Aracajú: ENABER, 2008.

GUILHOTO, J. J. M. *Análise de insumo-produto: teoria e fundamentos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

GUILHOTO, J. J. M.; HILGEMBERG, E. M. *Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto*. Belo Horizonte: Nova Economia, 2006.

HAWDON, D.; PEARSON, P. J. *Input-Output Simulations of Energy, Environment, Economy Interactions in the UK*. Energy Economics, 1995.

HIRSCHMAN, Albert O. *Estratégia do Desenvolvimento Econômico*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

HILGEMBERG, E. M. (2004). *Quantificação e Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de CO<sub>2</sub> Decorrentes do Uso de Gás Natural, Álcool e Derivados de Petróleo no Brasil: Um modelo Inter regional de Insumo-Produto*. Tese de Doutorado em Economia Aplicada apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP.

LEONTIEF, W. *A economia do insumo-produto*. São Paulo: Abril cultural, 1983.

LIMA, J. P. R.; KATZ, F. J. *Qualificando o marco: a economia de Pernambuco e a questão tecnológica*. In: 43ª reunião anual da SBPC, 1991, Rio de Janeiro. Anais da 43ª reunião anual da SBPC, 1991.

MILLER, E. R & BLAIR, D. P. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. New Jersey: Prentice Hall, 1985.

PEROBELLI, F. S.; MATTOS, R. S.; FARIA, W. R. A interdependência energética entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo-produto, 2006.

PDNE. *Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Nordeste: desafios e possibilidades para o nordeste do século XXI*. Recife, 2006.

RASMUSSEN, P. N. *Studies in intersectoral relations*. Amsterdam: North-Holland, 1956.

SICSÚ, A. B.; LIMA, J. P. R.; PADILHA, M. F. F. G. *Economia de Pernambuco: transformações recentes e perspectivas no contexto regional globalizado*. Recife, 2008.

WACHSMANN, U., SCHAEFFER, R., TOLMASQUIM, M. T. *Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO<sub>2</sub> no Brasil entre 1970 e 1996: uma análise de decomposição estrutural*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.

**Anexo Tabela 3 Compatibilização da Matrizes de Pernambuco e de energia**

Nível MIP PE		Nível BEN PE		Nível MIPH PE	
Código Atividade	Descrição Atividade	Código Atividade	Descrição Atividade	Código Atividade	Descrição Atividade
01	Agropecuária	12.2.5	Agropecuário	01	Agropecuária
02	Indústria extrativa	12.2.7.3	Mineração/Pelotização	02	Indústria extrativa
04	Siderurgia	12.2.7.2	Ferro Gusa e Aço	03	Siderurgia
03	Minerais não-metálicos	12.2.7.4	Não Ferr. / Outros Metais	04	Não Ferrosos/ Outros Metais
05	Metalurgia dos não-ferrosos				
06	Fabricação de outros produtos metalúrgicos				
11	Indústria de papel e gráfica	12.2.7.8	Papel e Celulose	05	Indústria de papel e gráfica
13	Indústria química	12.2.7.5	Química	06	Química
14	Refino de petróleo e indústria petroquímica				
15	Fabricação de produtos farmacêuticos e de perfumaria				
17	Indústria têxtil	12.2.7.7	Têxtil	07	Têxtil
18	Fabricação de artigos do vestuário e acessórios				
19	Fabricação de calçados e de artigos de couro e peles				
20	Indústria do café	12.2.7.6	Alimentos e Bebidas	08	Alimentos e Bebidas
21	Beneficiamento de produtos de origem vegetal, inclusive fumo				
22	Abate e preparação de carnes				
23	Resfriamento e preparação do leite e laticínios				
24	Indústria do açúcar				
25	Óleos vegetais e gorduras para alimentação				
26	Outras indústrias alimentares e de bebidas				
07	Fabricação e manutenção de máquinas e tratores	12.2.7.10	Outros	09	Outros
08	Material elétrico e eletrônico				
09	Autoveículos, peças e acessórios				
10	Madeira e mobiliário				
12	Indústria da borracha				
16	Indústria de transformação de material plástico				
27	Indústrias diversas				
28	Serviços industriais de utilidade pública				
29	Construção civil	12.2.7.1 12.2.7.9	Cimento Cerâmica	10	Construção civil
31	Transporte	12.2.6 12.2.6.1 12.2.6.2 12.2.6.3	Transportes Total Rodoviário Ferroviário Aéreo	11	Transporte
30	Comércio	12.2.3	Comercial e serviços	12	Comercial e Serviços
32	Comunicações				
33	Instituições financeiras				
34	Serviços prestados às famílias e empresas, inclusive aluguel				
35	Administração pública	12.2.4	Público	13	Administração pública
				14	Setor Energético

